

# **ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ - 2021**

**(электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика,  
математическое моделирование и информационные технологии в  
производстве, микроэлектроника и оплотехника)**

**XI МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**28-29 октября 2021 г.**

**СБОРНИК ТРУДОВ  
ТОМ 1**

**СЕКЦИИ 1,2,3,4**

**СМОЛЕНСК  
2021**

УДК 621.31+621.3+536+621.1+62.003+621.38  
Э78

**Р е ц е н з е н т ы :**

Доктор технических наук, профессор Кавченков В.П.  
Кандидат технических наук, доцент Галковский В.А.  
Кандидат технических наук, доцент Рожков В.В.  
Кандидат технических наук, доцент Фомченков В.П.  
Доктор технических наук, доцент Беляков М.В.  
Доктор технических наук, доцент Якименко И.В.

**ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2021**  
(электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве, микроэлектроника и оптотехника). Сб. трудов XI -ой Межд. науч.-техн. конф. В 2 т. Т 1. – 2021. – 616 с.

ISBN 978-5-91412-476-9

В сборнике публикуются труды участников XI Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2021», состоявшейся 28-29 октября 2021 г. в филиале ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, в которых изложены результаты оригинальных научно-технических работ в области энергетики, электротехники, теплоэнергетики, математического моделирования технических систем и информационных технологий в производстве, микроэлектроники и оптотехники.

Издание предназначено для научных работников и преподавателей вузов, магистров и аспирантов, осуществляющих исследования в указанных областях.

ISBN 978-5-91412-476-9

© Авторы  
© «Универсум»  
© филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. 2021

**Научный симпозиум  
«ЛОГИСТИКА И ЭКОНОМИКА РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ И  
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ(ЛЭРЭП)»,  
посвященный Академику РАН Валерию Павловичу Мешалкину**

*В.П. Кавченков, д. т. н., проф.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске),  
Е.В. Кавченкова (ООО «Электросеть – Смоленск»).*

**МОДЕЛЬ ДОЛГОСРОЧНОГО РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ  
АВСТРАЛИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧ-  
НИКОВ ЭНЕРГИИ**

История развития мировой электроэнергетики как большой и сложной технической системы берет свое начало с конца XIX века со времени создания русским ученым М.О. Доливо-Добровольским трехфазной системы. Сегодня ей принадлежит одна из главных ролей в глобальном процессе мирового развития. При этом важно иметь возможность предсказания будущего глобальных процессов мирового развития с использованием простых математических моделей, объективно отражающих сложные процессы взаимодействия экономики, экологии, демографии и научно-технического прогресса. Авторы в своих предыдущих работах подробно рассмотрели методологические аспекты таких исследований и возможность их описания с использованием дифференциальных и интегральных моделей и обобщения методами теории подобия [1-3].

Предметом настоящего исследования является описание и долгосрочное прогнозирование процессов производства электрической энергии в Австралии с учетом существенных изменений технологических процессов производства и потребления электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и в тесной связи с ростом численности населения.

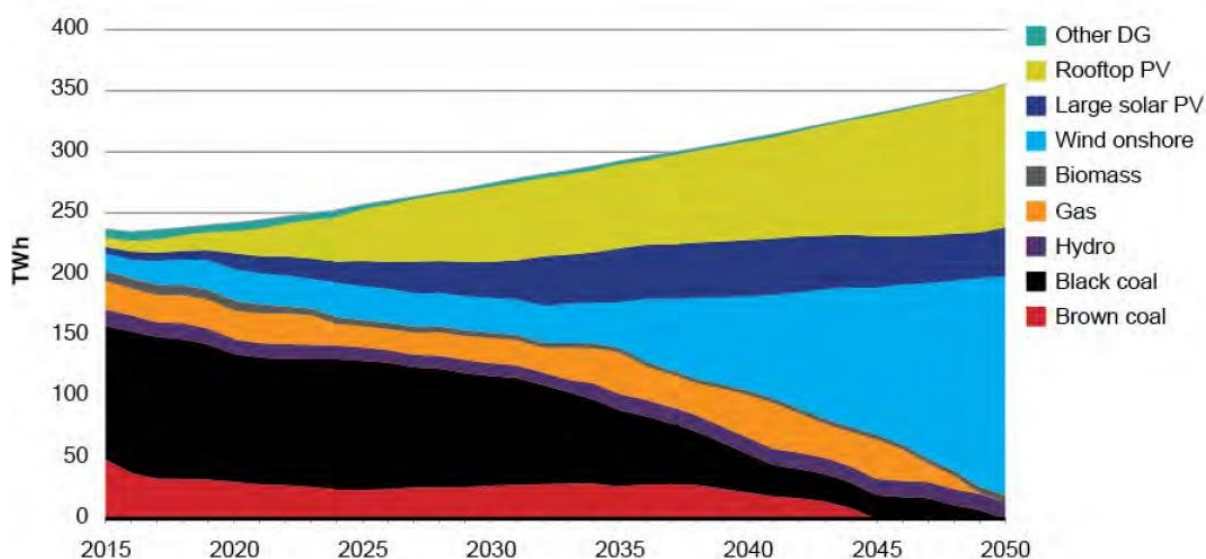


Рис. 1. Динамика использования различных видов энергии для производства электрической энергии в Австралии [4].

В 2020 году население Австралии составило 25,7 млн. человек и было произведено 265 млрд. кВт\*ч электроэнергии, в том числе 24% с использованием ВИЭ. По этому показателю Австралия является одним из мировых лидеров использования ВИЭ для производства электрической энергии [4,5]. В целом, в стране планируется полностью перейти на использование ВИЭ к 2050 году. Динамика этого перехода показана на рис.1.

Полная декарбонизация электроэнергетической системы Австралии должна благоприятно пройти для потребителей и энергетических предприятий благодаря новому подходу, когда потребитель становится активным участником энергетического рынка. Сегодня Австралия является лидером распределенной энергетики. Планируется, что к 2050 году на ВИЭ - генераторах, принадлежащих потребителям, будет производиться от 30% до 50% электроэнергии [4].

Используя статистические данные производства электрической энергии в Австралии за 50 лет с 1970 по 2020 год, а также динамику роста численности населения этого региона, построим математические модели, описывающие эти процессы с целью их использования в задачах долгосрочного прогнозирования. Общая интегральная модель описания указанных процессов во времени имеет следующий вид [3]:

$$Y_t = Y_0 \cdot \exp \left\{ \left( \frac{A}{\beta} \right) \cdot [1 - \exp(-\beta \cdot (t - t_0))] \right\}, \quad (1)$$

где  $Y_t$  и  $Y_0$  – значения искомого параметра в заданный и начальный момент времени  $t$  (год),  $t_0$  – год начала отсчета,  $A$  – начальное значение темпов роста исследуемого параметра и  $\beta$  – темп его затухания.

В свою очередь, интегральная модель (1) является решением дифференциального уравнения:

$$\frac{dY_t}{dt} = A \cdot Y_t \cdot \exp(-\beta \cdot t) \quad (2)$$

На рис.2 показаны значения рядов динамики и описывающих их моделей для исследуемых процессов производства электроэнергии в Австралии с 1970 по 2020 годы, роста численности ее населения и валового производства электроэнергии в расчете на душу населения. На графиках рис. 2 видно, что каждый процесс характеризуется определенным трендом, на который накладывается периодическая составляющая и случайные флуктуации, обусловленные переменчивостью экономической конъюнктуры, экономическими кризисами и природными катаклизмами. В таблице 1 приведены характерные параметры модели (1) для каждого процесса и их прогнозные значения на долгосрочную перспективу до 2050 года, которые хорошо согласуются с прогнозными значениями других исследований [4,6].



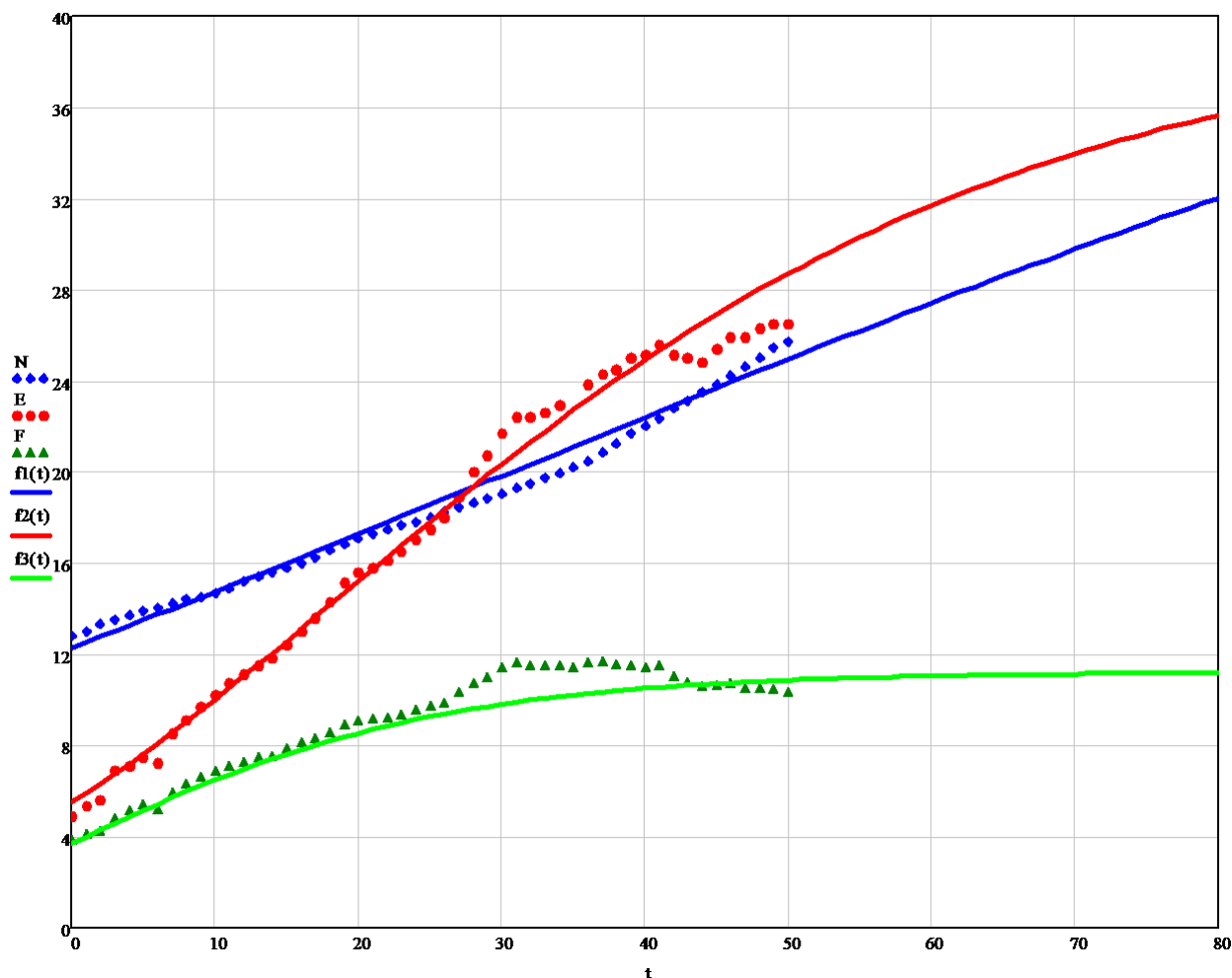


Рис. 2. Значения рядов динамики и описывающих их моделей исследуемых процессов:  $E$ ,  $f2(t)$  – производства электрической электроэнергии в Австралии с 1970 по 2020 годы (млрд. кВт\*ч\* $10^1$ ),  $N$ ,  $f1(t)$  - роста численности ее населения (млн. чел.) и  $F$ ,  $f3(t)$  - валового производства электроэнергии в расчете на душу населения (тыс. кВт\*ч).

Процесс производства электроэнергии в Австралии характеризуется быстрыми темпами развития и высоким значением производимой электроэнергии с учетом валового производства на душу населения. По этому показателю Австралия входит в группу стран - мировых лидеров. На протяжении более 20 лет уровень валового производства электроэнергии на душу населения составляет в среднем около 10.5 тыс. кВт\*ч, что в 2 раза выше установленного мирового стандарта электропотребления в 5000 тыс. кВт\*ч [1]. Этот факт, а также высокий уровень экономического развития, географическое положение и природные ресурсы Австралии позволили широко использовать ВИЭ для производства электрической энергии и в перспективе к 2050 году провести полную реорганизацию электроэнергетической отрасли.

Таблица 1. Параметры математических моделей процессов производства электроэнергии в Австралии, роста численности ее населения и валового производства электроэнергии в расчете на душу населения

| Параметры моделей  | Производство электроэнергии | Рост численности населения | Валовое производство электроэнергии на душу населения |
|--|-----------------------------|----------------------------|---|
| Год начала отсчета   | 1970 г.                     | 1970 г.                    | 1970 г.   |
| Начальное значение параметра, $Y_0$                              | 55 млрд. кВт*ч              | 12,3 млн. чел              | 3,7 тыс. кВт*ч  |
| Начальный темп роста $A$ , год <sup>-1</sup>                     | 0.071                       | 0.019                      | 0.078   |
| Интенсивность затухания темпов роста $\beta$ , год <sup>-1</sup> | 0.036                       | 0.013                      | 0.070   |
| Точка перегиба математических моделей, год                       | 1989                        | 1999                       | 1972  |
| Прогнозное значение параметра в 2050 году                        | 356,45 млрд. кВт*ч          | 32,02 млн. чел             | 11.14 тыс. кВт*ч                                      |

Таким образом, получены новые математические модели для описания и прогнозирования процессов производства электроэнергии в Австралии с учетом широкого использования ВИЭ и тесной взаимосвязью с ростом численности ее населения. Рассмотренную методику построения моделей прогнозирования целесообразно использовать при исследовании различных глобальных процессов с учетом современного этапа энергоинформационного устойчивого развития мировой системы.

#### Литература

1. *Kavchenkov V., Kavchenkova E., Chernenkov I.* Criteria model of sustainable development of global processes. Electric power consumption // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok. 2019. P. 1–5. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934223.
2. *Kavchenkov V., Kavchenkova E., Chernenkov I.* Modeling of the Dynamics of World Electric Power Production // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok. 2019. P. 1–6. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8933879.
3. *Кавченков В. П., Кавченкова Е. В., Черненко И. Д.* Моделирование взаимосвязи процессов роста населения Земли и производства электрической энергии // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 4. С. 110–122. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-4-110-122.
4. Австралия претендует на мировое лидерство в области ВИЭ // <https://www.eprussia.ru/news/base/2019/158604.htm>. (дата обращения 20.09.2021.)
5. Статистический обзор мировой энергетики // BP Statistical Review of World Energy 2021. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>. (дата обращения: 10.09.2021).
6. Население стран Мира // <https://www.ru.wikipedia.org>. (дата обращения 10.10. 2021)

*С.А. Шунаев, ст. пр.; Д.А. Иванов, студ.; Н.С. Питерский, студ.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОГО ТРАНСПОРТА**

В настоящее время в регионах страны более 40% троллейбусного парка является устаревшим и требует усовершенствования. Основной парк электрифицированного транспорта находится в ведомственной ответственности муниципальных городских предприятий. Основой финансирования МУПов являются дотации из регионального бюджета, однако, существует стимулирующий механизм, подталкивающий такого рода организации быть самоокупаемыми, поэтому чем более экономичным будет расход энергоресурсов, тем эффективнее хозяйствование и, следовательно, потенциально больший премиальный фонд для сотрудников. В связи с этим для МУПов актуальной задачей является постоянная оптимизация своего парка электрифицируемого транспорта.

В ходе анализа технической документации, конструктивных особенностей троллейбуса, а также правовых норм и регламентов его эксплуатации, были выделены области электропотребления и категории электроприемников в которых возможна та самая оптимизация. Было выяснено, что возможность оптимизации существует только за счёт периферийных устройств, наиболее энергоёмкими из которых являются устройства отопления салона. Обогрев салона осуществляется за счет установленных под сиденьями тепловых трубчатых электронагревателей, эффективность которых при внешних температурах от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $-35^{\circ}\text{C}$  сводится к 10–15 %, из-за того, что конструктивно не содержат вентилятора-нагнетателя и нагрев происходит за счет естественной конвекции воздуха, однако при раскрытии дверей происходит обширный воздухообмен и ТЭНы без вентиляторов не успевают нагреть общий объем. Проанализировав данные о количестве единиц троллейбусного транспорта, предоставленные МУП ГЭТ «УКТ» г. Калуги, в качестве модернизируемого образца была выбрана модель АКСМ-321 в связи с его количественным преобладанием (рисунок 1).

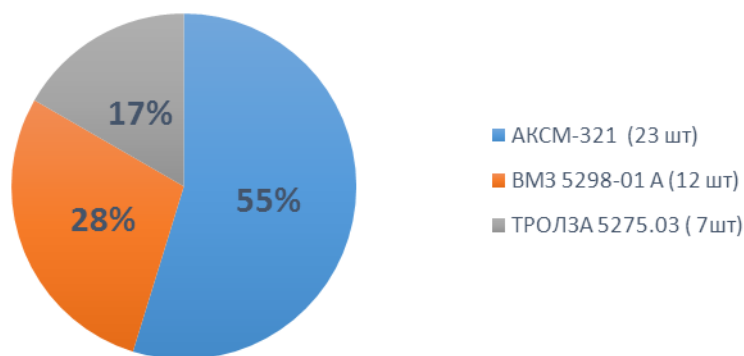


Рисунок 1 – Количество единиц транспорта

Одним из возможных вариантов оптимизации системы отопления может быть применение процессинговых устройств, получивших в последнее время большую популярность в рамках спекулятивных тенденций на рынке элек-

тронных валют. Тепловая энергия, выделяемая таким оборудованием в процессе эксплуатации и рассеиваемая в пустую в виде теплоты в окружающую среду, считается неотъемлемыми экономическими издержками, при условии использования оборудования по прямому назначению. Исходя из этого предлагается заменить обогреватели, находящиеся под сидениями троллейбуса на оборудование для синтезирования блок-чейн базы данных. В переводе с английского *application-specific integrated circuit (ASIC)* означает «интегральная схема специального назначения». Это оборудование, которое сделано с целью решения конкретной задачи - добычи криптовалюты, в нашем случае *Bitcoin (BTC)*.

В качестве оборудования для майнинга предлагается выбрать – *ASIC BITMAIN ANTMINER S17+ 67TH/s*. Сегодня *ASIC*-майнинг остается самым выгодным по соотношению мощности к энергозатратам. Благодаря высокому хешрейту, оборудование быстрее функционируют. Данная модель имеет высокую доходность и быстрые сроки окупаемости. Технические характеристики данного оборудования проиллюстрированы в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики *ASIC BITMAIN ANTMINER S17+ 67TH/s*

|                    |         |
|--------------------|---------|
| Хэшрейт            | 67Th/s  |
| Алгоритм           | SHA-256 |
| Вес                | 9500 г  |
| Вольтаж            | 12 В    |
| Количество кулеров | 4       |
| Чип                | BM1397  |
| Энергопотребление  | 2900 Вт |
| Тепловыделение     | 2300Вт  |

В троллейбусе АКСМ 321 для обогрева используются трубчатые нагревательные ТЭНы, которые вырабатывают тепловую мощность, рассчитанную в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет тепловой мощности, вырабатываемой ТЭНами

| Показатель  | Значение |
|---|----------|
| Количество ТЭНов ( <i>N</i> )                       | 48 шт    |
| Тепловая мощность одного ТЭНа ( <i>P</i> )          | 0,4 кВт  |
| Суммарная тепловая мощность ТЭНов ( $P_C = P * N$ ) | 19,2 кВт |

Предположим, что вырабатываемой тепловой мощности хватает для нагрева троллейбуса. Следовательно, для поддержания должного уровня температуры необходимо чтобы *ASIC* вырабатывали такое же количество теплоты, как и ТЭНы. Так как один *ASIC* при работе выделяет  $P_A = 2.3 \text{ кВт}$  энергии, то для сохранения температурного режима понадобится:

$$M = \frac{P_C}{P_A} = \frac{19.2 \text{ кВт}}{2.3 \text{ кВт}} = 9 \text{ шт.}$$

На данный момент цена одного ASIC BITMAIN ANTMINER S17+ 67TH/s составляет 330000 рублей. Результаты расчета прибыльности показаны в таблице 3.

Таблица 3 - Расчет прибыльности для одного ASIC

|   |                 |
|---|-----------------|
| Чистая прибыль в месяц                                      | 37 012,72 р     |
| Окупаемость   | 9,19 месяцев    |
| Доходность, руб/мес.  | 50 730,88 р/мес |
| Доходность, % в месяц                                       | 10,89 %         |
| Доходность, % годовых:                                      | 130,63 %        |
| При цене электричества 6.57р за кВт/ч и курсе BTC= 33 890\$ |                 |

Для того, чтобы оценить эффективность вложения денежных средств от использования ASIC в качестве источника обогрева троллейбусов, рассчитывается чистый дисконтированный доход (ЧДД).

При расчете чистого дисконтированного дохода использовались следующие исходные данные, представленные в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные для расчетов

| Показатели (обозначение)   | Единицы измерения | Значения |
|--|-------------------|----------|
| Доход с одного ASIC ( $D_{asic}$ )   | тыс. руб.         | 624      |
| Стоимость покупки одного ASIC ( $S_{asic}$ )   | тыс. руб.         | 340      |
| Стоимость электроэнергии в первом отчетном году ( $S_0$ ) (в данном случае $S_{0i}=S_0$ , т.к. $i=1$ ) | руб. за кВт/ч     | 6,57     |
| Ставка дисконтирования (СД)  | %                 | 7        |
| Коэффициент инфляции (КИ)  | %                 | 5        |
| Рабочее время троллейбуса ( $t_r$ )  | час               | 15       |
| Количество дней в году, которые нужно отапливать ( $n_1$ )   | день              | 243      |
| Время работы ASIC ( $t_{asic}$ )   | час               | 24       |
| Количество дней в году, в которые работает ASIC ( $n_2$ )  | день              | 243      |
| Количество ASIC в одном троллейбусе ( $q$ )  | штука             | 9        |
| Количество лет в исследуемом периоде ( $k$ )   | год               | 30       |

Количество дней в году ( $n_1$ ) было выбрано исходя из средне климатических статистических данных по региону. Время работы ASIC ( $t_{asic}$ ) было выбрано с учетом максимизации прибыли, поскольку наибольшая прибыль достигается, если устройства работают круглосуточно.

ЧДД при отоплении троллейбуса ТЭНами рассчитывался по формуле:

$$ЧДД_T = (I_T - E_T) * \alpha, \quad (1)$$

где  $I$  – доход при отоплении троллейбуса ТЭНами (в данном случае равен 0 в любом из исследуемых годов);  $E$  – расход при отоплении троллейбуса ТЭНами;  $\alpha$  – дисконтный множитель.

При вычислении ЧДД для варианта с ASIC применялась формула (1). Для подведения итогов после всех проделанных расчетов необходимо посчитать сумму за весь исследуемый период ЧДД для двух вариантов отопления трол-

лейбуса. Результаты всех вычислений можно свести в таблицу 5 для более наглядно представления информации.

Таблица 5 – Результаты расчетов

| Год,<br>i | Отопление троллейбуса ТЭНами |          |          |                            | Отопление троллейбуса ASIC |                          |          |                            |
|-----------|------------------------------|----------|----------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|----------|----------------------------|
|           | Ит,<br>руб.                  | Ет, руб. | $\alpha$ | ЧДД <sub>т</sub> ,<br>руб. | I <sub>asic</sub> , руб.   | E <sub>asic</sub> , руб. | $\alpha$ | ЧДД <sub>asic</sub> , руб. |
| 1         | 0                            | 23 947,7 | 0,935    | -22 381                    | 5 616 000                  | 3 098 316,240            | 0,935    | 2 352 975,477              |
| 2         | 0                            | 25 145   | 0,873    | -21 963                    | 5 616 000                  | 45 232,052               | 0,873    | 4 865 724,472              |
| 3         | 0                            | 26 402,3 | 0,816    | -21 552                    | 5 616 000                  | 46 722,128               | 0,816    | 4 546 189,703              |
| 4         | 0                            | 27 722,4 | 0,763    | -21 149                    | 5 616 000                  | 48 808,234               | 0,763    | 4 247 183,943              |
| 5         | 0                            | 29 108,5 | 0,713    | -20 754                    | 5 616 000                  | 50 998,646               | 0,713    | 3 967 769,054              |
| 6         | 0                            | 30 563,9 | 0,666    | -20 366                    | 5 616 000                  | 53 298,578               | 0,666    | 3 706 662,836              |
| 7         | 0                            | 32 092,1 | 0,623    | -19 985                    | 5 616 000                  | 55 713,507               | 0,623    | 3 462 666,978              |
| 8         | 0                            | 33 696,7 | 0,582    | -19 612                    | 5 616 000                  | 58 249,183               | 0,582    | 3 234 661,577              |
| Итог      |                              |          |          | -167 762                   | Итог                       |                          |          | 30 383 834,038             |

Из результатов проделанных расчетов видно, что ЧДД при отоплении троллейбусов ASICами составит 30 383 834,038 рублей, это больше чем при отоплении троллейбусов ТЭНами (-167 762 рубля). Помимо этого, ASICи себя окупают в первый год эксплуатации, что видно из расчетов выше. Это объясняется тем, что при отоплении АКСМ 321 ASICами генерируется дополнительный доход денежных средств, основанный на добыче BTC, что при ТЭНах этого не наблюдается. Следовательно, наиболее перспективным и выгодным можно считать вариант отопления оборудованием для майнинга криптовалюты. Данный вариант, исходя из расчетов выше, является наиболее экономичным и целесообразным, так как помимо предоставления транспортных услуг (в том числе и отопления салона транспорта) будет одновременно осуществляться добыча BTC, что принесет дополнительную финансовую прибыль.

В данной статье были рассмотрены исключительно экономические вопросы отопления троллейбуса ASIC, а технические аспекты, которые возникнут при внедрении данного оборудования, следует рассматривать в контексте отдельной работы. Стоит отметить, что разработанное оптимизационное решение может быть мультиплицировано на других троллейбусах, а не только внедрено для модели АКСМ-321, следовательно, может быть получен наибольший суммарный эффект от внедрения одного конструктивного решения.

Литература:

1. Максимов А.Н. Городской электротранспорт. Троллейбус: учебник для нач. проф. образования. М. : Издательский центр «Академия», 2004. 256 с.
2. Троллейбус пассажирский модели 32102. Руководство по эксплуатации АКСМ-32102-000000.000 РЭ/ Минское государственное производственное предприятие «Белкоммунмаш»

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Отечественные и зарубежные теплоэнергетики всегда интересовались вопросами, связанными с эффективностью использования топлива при создании электро- и теплоэнергии, формированием рациональных схем транспорта и потреблением энергетических ресурсов.

Сейчас работа систем теплофикации сопряжена с рядом трудностей, связанных с незначительным участием государства в регулировании отраслей энергетики, ростом тарифов на топливно-энергетические ресурсы, низкой эффективностью функционирования энергетических источников, высоким процентом износа систем транспорта энергетических ресурсов, отсутствием в необходимом объёме инвестиций на реконструкцию и техническое перевооружение, а также несоответствием традиционных технологий, применяемых для энергообеспечения потребителей современным требованиям научно-технического прогресса и экономики. Наиболее остро стоит вопрос в бесперебойном и качественном обеспечении необходимыми энергетическими ресурсами потребителей в период отопления, когда температура наружного воздуха опускается до  $-30^{\circ}\text{C}$  и ниже.

Климатические условия месторасположения объекта исследования определяют теплоснабжение как наиболее социально значимый сектор экономики.

Одним из уязвимых мест централизованной системы теплообеспечения считается система транспортировки энергетических ресурсов.

Во многих муниципальных городах теплосети централизованного теплоснабжения являются негодными, что оказывает сильное влияние на надёжность теплоснабжения потребителей. Увеличение расхода топлива может зависеть от перегрева помещений в централизованных системах теплоснабжения особенно в осеннем и весеннем периодах.

Для того, чтобы уменьшить потери теплоэнергии в длинных теплосетях и повысить надёжность теплоснабжения необходимо уменьшить протяжённость тепловых сетей за счёт внедрения тепловых энергетических источников малой мощности. Вследствие чего увеличивается количество тепловых станций, но уменьшаются протяжённость теплосетей и потери теплоэнергии при передаче её по теплосетям, а также снижается суммарное топливопотребление в рассматриваемом муниципальном округе.

Так, например, в г. Сафоново используются автономные системы теплоснабжения. Здесь наблюдается минимальная протяжённость теплосетей потому, что автономные источники тепла обслуживают определенных потребителей.

Рассмотрим систему теплоснабжения одной из котельных города Сафоново.



В котельной находятся три водогрейных котла «Турботерм-Оптима-3000» изготовитель ГК «РЭМЭКС» производительностью 3,0 МВт каждый с горелками CIB Unigas.

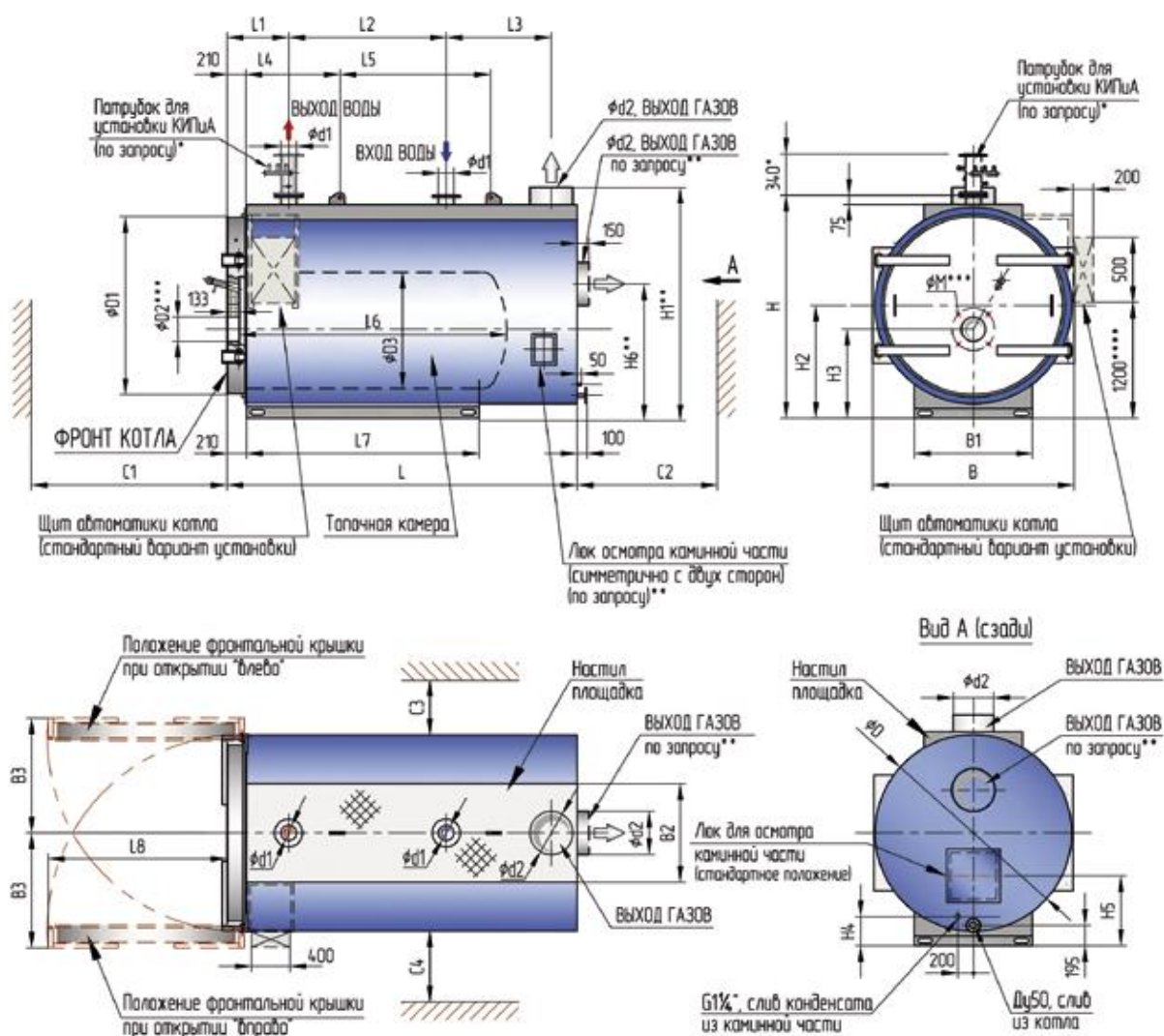


Рисунок 1 - Схема водогрейного котла «Турботерм-Оптима-3000»

Система теплоснабжения – закрытая. Теплоноситель – вода с расчетной температурой до  $95-70^{\circ}\text{C}$ . Топливо – природный газ, теплоспособностью  $Q = 36 \text{ МДж/м}^3$ . Требуемое давление топлива перед горелкой котлов не более 300 мбар. Снабжение котельной водой происходит от водопроводной сети. ; горячее водоснабжение 1,48 Гкал/ч; потери в теплосетях и собственные нужды котельной 1,12 Гкал/ч.

Для определения эффективности работы и ее повышения необходим анализ данной установки и ее цикла работы. Необходимо выяснить какое влияние оказывают отдельные процессы, совершаемые в элементах установки – котлоагрегате, в теплообменнике и т.п. Одним из важнейших показателей увеличения эффективности работы котельной является уменьшения удельного расхода топлива на отданную тепловую энергию.



Максимальный расход газа на котельную составляет 1056 нм<sup>3</sup>/ч, минимальный – 59 нм<sup>3</sup>/ч, расход газа на котел 352 нм<sup>3</sup>/ч.

Из-за большой протяженности теплосетей в централизованной системе показатель надежности работы систем теплоснабжения оказался самым низким ( $R=0,578$ ). В то время, как автономные системы теплоснабжения обладают высоким показателем надежности ( $R=0,83$ ) в результате сокращения протяженности теплосетей.

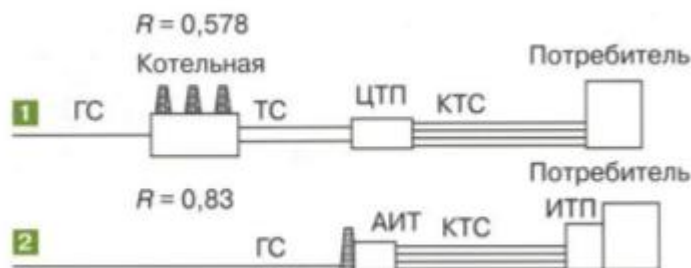


Рисунок 2 - Показатель надежности (R) работы систем теплоснабжения

Невыдерживание температурных графиков приводит к экономическому ущербу, который связан с растратой теплоэнергии (перетопом) в начале и конце сезона отопления, что ведет к пережегу топлива.

Из-за отсутствия автоматизации абонентских вводов и отопительных приборов в отечественных системах теплоснабжения местное и индивидуальное регулирование теплонагрузки практически не применяется. Самой распространенной схемой в России является зависимая с элеваторным присоединением системы отопления, которая не дает применять местное регулирование теплонагрузки системы отопления. Это связано с тем, что чем меньше расход воды через элеватор, тем больше вероятность прекращения циркуляции в системе.

Центральное качественное регулирование теплонагрузки производится по средней температуре воздуха снаружи за несколько часов при отсутствии местного регулирования на абонентском вводе. У наиболее дальних потребителей может быть запаздывание изменения температуры сетевой воды из-за протяженности теплосетей, а также длительности времени хода сетевой воды. Температура сетевой воды не удовлетворяет меняющуюся температуру наружного воздуха, суточные колебания которой могут достигать до 20 °С.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что автономная система теплоснабжения является экономичнее централизованной. Для того, чтобы снизить расход топлива нужно снизить теплопотери, связанные с износом тепловых сетей, а также следует увеличить распространение местного индивидуального регулирования теплонагрузки, обеспечив автоматизацию абонентских вводов и отопительных приборов.

Для примера произведем расчет целесообразности автономного источника теплоснабжения.

Произведем расчет автономной системы теплоснабжения на примере котельной с установленными в ней двумя котлами «Турботерм-Оптим-3000» изготовитель ГК «РЭМЭКС» производительностью 3,0 МВт каждый.

Расход газа –  $352 \times 2$  шт. =  $704 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Расход электрической энергии -  $4,51 \text{ кВт} \cdot \text{час}$ .

Допустим нам как раз хватает 6 МВт на нужды отопления жилого района.

Тогда за отопительный период 2020-2021 гг. (начался с 22 сентября и был завершен 12 мая), что составило 228 суток или 5472 часа, при максимальном потреблении  $704 \text{ м}^3/\text{час}$  мы израсходуем  $3852288 \text{ м}^3$  газа. При стоимости  $1 \text{ м}^3$  природного газа – 4,904 (оптовая цена) мы заплатим за потреблённое количество  $18\,891\,326$  рублей.

Так же проведём расчёты для потребляемой электроэнергии. Стоимость  $1 \text{ кВт} \cdot \text{час}$  – 4.26 руб. (Цены за отопление и электроэнергию взяты для населения, тарифы для предприятий, при закупке оптом, буду на 20-30% ниже). Итого мы израсходуем  $29\,700 \text{ кВт}$  и заплатим за это  $83\,920$  рублей.

Итого за отопительный период работы нашей котельной расходы составят  $18\,975\,246$  рублей.

Тарифы на отопление от централизованной системы теплоснабжения в г. Сафоново составляют  $2511 \text{ руб./Гкал}$ .

За отопительный период 2020-2021 гг. мы используем  $28230,4 \text{ Гкал}$  и заплатим за это  $70\,886\,534$  рублей, против  $18\,975\,246$  рублей, если мы пользуемся автономной системой теплоснабжения.

За период работы автономной системы отопления наши расходы составляют  $18\,891\,326$  рублей, против  $70\,886\,534$  рублей при централизованной.

При стоимости котлоагрегата «Турботерм-Оптима-3000»  $1\,894\,680$  руб. и стоимости монтажных работ и пусконаладочных работ – 50 % стоимость котельной с двумя котлоагрегатами составит  $\sim 6\,000\,000$  рублей. Окупаемость такой котельной составит 1 сезон, если не учитывать затраты на обслуживание и ремонт.

#### Литература

1. Соколов Е.Я. теплофикация и тепловые сети: учебник – 3-е изд., перераб. М. – Издательство МЭИ. 2001 – 472 с.
2. Отчет о выполнении научно-исследовательской работы «Анализ практики применения пониженных температурных графиков в теплоснабжении в зарубежных странах и оценка перспектив использования в системах теплоснабжения, включающих источники комбинированной выработки электрической и тепловой энергии, режимов с пониженными температурными графиками в целях повышения энергоэффективности и качества предоставляемых услуг по теплоснабжению» / А.Н. Давыдов, С.В. Пагин, Г.В. Томаров, А.А. Шипиков, Е.А. Бузоверов, Н.В. Певчева. М.: 2014 – 199 с.
3. [https://rek.admin-smolensk.ru/files/344/tarif\\_ts\\_18-21.pdf](https://rek.admin-smolensk.ru/files/344/tarif_ts_18-21.pdf)
4. <https://ак-сервис.рф/p231531321-stalnoj-vodogrejnij-kotel.html>

*С.В. Панченко, д.т.н., проф., Т.В. Широких, к.т.н., доц., С.М. Докучаев, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ЭКОНОМИКИ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕ- РЕЖЕНИЯ**

Согласно модели Леонтьева выработка продукции по видам может быть представлена вектором  $y$ . Связь между выпусками продукции в стоимостном выражении, затратами полупродуктов и промежуточными продуктами других отраслей производства  $x$  выражается матричным соотношением:

$$y = Bx, \quad (1)$$

где  $B$  – матрица, которая имеет вид:

$$B = E - A, \quad (2)$$

$E$  – единичная матрица,  $y, x$  – вектор-столбцы,  $A$  – матрица удельных расходов ресурсов.

### Анализ влияния энергоресурсосбережения на структуру технологий и взаимосвязь отраслей производства

При использовании ресурсосберегающих технологий элементы матрицы  $B$  получают возмущение, что сказывается на значениях векторов  $x$  и  $y$ . Исходное матричное соотношение преобразуется к виду

$$y + \Delta y = (B + \Delta B)(x + \Delta x), \quad (3)$$

где  $\Delta x$  – приращение вектора  $x$ ,  $\Delta y$  – приращение вектора  $y$ ,  $\Delta B$  – матрица приращений элементов матрицы  $B$ .

Для неизменных объемов выпуска продукции можно записать:

$$y = (B + \Delta B)(x + \Delta x) \quad (4)$$

Из теории матриц следует соотношение между нормой матрицы и собственными значениями матрицы:

$$\|B\| \geq \max |\lambda_B|, \quad (5)$$

где  $\| \cdot \|$  – знак нормы матрицы или вектора.

Для нормы обратной матрицы

$$\|B^{-1}\| \geq \max \left| \frac{1}{\lambda_B} \right| = \frac{1}{\min |\lambda_B|}. \quad (6)$$

Из соотношения  $B\bar{x} = \lambda\bar{x}$ , представляющего задачу на собственные значения,

$$\text{следует } \frac{1}{\lambda} \bar{x} = B^{-1}\bar{x} \quad (7)$$

Используя зависимости (3-7) можно провести оценку взаимовлияния ресурсосбережения на изменение объемов или потоков полупродуктов. Между нормой приращения вектора  $x$ , векторов  $x$  и  $y$  и матрицы  $B$ , можно получить соотношение:

$$\|\Delta x\| = \frac{\|x\| \sigma_B}{\lambda - \sigma_B \|\Delta B\| \|B\|} \left( \frac{\|\Delta B\|}{\|B\|} + \frac{\|\Delta y\|}{\|y\|} \right), \quad (8)$$

где  $\sigma_B$  – число обусловленности матрицы.

При неизменных производительностях в отраслях для приращения вектора  $x$  будет справедливо упрощенное выражение

$$\|\Delta x\| \leq \frac{\|x\| \sigma_B \|\Delta B\|}{\|B\| - \sigma_B \|\Delta B\|}, \quad \|\Delta y\| = 0, \quad (9)$$

где

$$\sigma \leq \|B^{-1}\| \|B\|, \quad \sigma = \max |\lambda_B| / \min |\lambda_B|$$

Таким образом, полученное последнее выражение (9) дает верхнюю оценку изменения структуры сопредельных производств при изменении удельных расходов в отдельных отраслях. Полученные выражения справедливы и для

отдельно взятого предприятия. Используя энергосберегающие технологии можно оперативно оценивать с учетом взаимовлияния экономику сопредельных производств или технологий для предприятия.

### Анализ распределения ресурсов в условиях их ограниченности

Рассмотрим задачу распределения ресурсов при условии их ограниченности.

По-прежнему матрица полных затрат ресурсов

$$B_3 = (E - A)^{-1} > 0, \quad (10)$$

При этом вектор полупродуктов:

$$\mathbf{x} = (E - A)^{-1} \mathbf{y} = B_3 \mathbf{y}, \quad (11)$$

$b_{3ij}$  - доля  $i$ -го продукта (ресурса, сырья) в  $j$ -том конечном продукте

Если энергоресурсы ограничены, то производство может обеспечить выпуск продукции только в объеме, который позволяют имеющиеся энергоресурсы:

$$(E - A) \mathbf{x} = \mathbf{y}, \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n e_j x_j \leq R, \quad (13)$$

где  $e_j$  - энергоемкость единицы  $j$ -го продукта;  $R$  – объем имеющихся ресурсов.

При заданной структуре спроса с вектором  $\mathbf{y}^s$ , имеющим единичную норму  $\|\mathbf{y}^s\| = 1$ , можно использовать весовой множитель  $\xi$ . Тогда максимальный выпуск продукции при существующей структуре  $\xi \mathbf{y}^s$  будет при максимальном  $\xi$ ,  $\xi \rightarrow \max$ .

Векторная форма задачи имеет вид:

$$(E - A) \mathbf{x} \geq \xi \mathbf{y}^s, \quad (14)$$

$$\bar{e} \mathbf{x} \leq R, \quad (15)$$

$$\mathbf{x} \geq 0, \quad \xi > 0.$$

В этой задаче  $(n+1)$  переменная  $(x_1, \dots, x_n, \xi)$ ,  $\mathbf{e} = (e_1, \dots, e_n)$

Целевая функция задачи может быть представлена в виде:

$$Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j + c_{n+1} \xi, \quad c = (0, \dots, 0, 1). \quad (16)$$

Система ограничений имеет вид

$$\begin{pmatrix} \dots & \dots & \dots & y_1^s \\ \dots & (E - A) & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & y_n^s \\ e_1 & e_2 & \dots & e_n & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_n \\ \xi \end{pmatrix} \leq \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ 0 \\ R \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Двойственная задача линейного программирования запишется для стоимостных показателей:

$$\sum_{j=1}^n f_j p_j + f_{n+1} p_e \rightarrow \min, \quad (18)$$

$$f = (0, \dots, 0, 1)$$

$$\begin{pmatrix} \dots & \dots & \dots & e_1 \\ \dots & (E - A)^T & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & e_n \\ y_1^S & \dots & y_n^S & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 \\ \dots \\ p_n \\ p_e \end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (19)$$

где

$\mathbf{p} \geq 0, p_e \geq 0$ ;  $\xi, p_e$  - скаляры;  $(E - A)^T$  - транспонированная матрица.

Если матрица  $A$  неразложима,  $\lambda_A < 1$ , то прямая задача имеет допустимое решение.

Если  $\xi = 1$ , тогда, в силу неразложимости  $A$  и  $\lambda_A < 1$ , уравнение

$$(E - A)\mathbf{x} = \mathbf{y}^S$$

имеет неотрицательное решение  $\mathbf{x}^S \geq 0$ . Поскольку  $R > 0, \mathbf{e} > 0$ , то существует такое

$g > 0$ , что  $g \sum_{j=1}^n x_j^S e_j \leq R$ , поэтому вектор  $(g x_1^S, \dots, g x_n^S, g)$  является допустимым

решением прямой задачи.

Матричная форма двойственной задачи:

$$R p_e \rightarrow \min$$

$$p_e \mathbf{e} \geq \mathbf{p}(E - A),$$

$$\mathbf{p} \mathbf{y}^S \geq 0$$

$$\mathbf{p} \geq 0, p_e \geq 0,$$

где  $\mathbf{p}, \mathbf{e}$  - векторы-строки цен и удельных энергозатрат.

Поскольку вектор  $\mathbf{p}$  - вектор двойственных оценок (теневых цен) материальных ресурсов, а скаляр  $p_e$  - двойственная оценка энергозатрат (тариф),  $R$  - потребление ресурсов в отрасли. Поэтому  $p_e \mathbf{e}$  - вектор-строка затрат на энергоресурсы на единичные отраслевые выпуски;

$\mathbf{p}(E - A)$  - вектор-строка оценок конечных выпусков продукции, соответствующих единичным валовым выпускам.

Для неразложимой матрицы  $A$  любой допустимый вектор  $(\mathbf{x}, \xi)^T$  прямой задачи содержит  $\mathbf{x} > 0$ .

Из продуктивности модели и неразложимости матрицы  $A$  вытекает, что

$$\mathbf{x} = (I - A)^{-1} \xi \mathbf{y}^S > 0,$$

$$\text{т.к. } \xi > 0, \mathbf{y}^S > 0, (I - A)^{-1} > 0.$$

Поскольку оптимальное решение прямой задачи имеет положительное значение  $(\mathbf{x}, \xi)^T$ , то по теореме двойственности задачи все ограничения выполняются как равенства

$$p_e \mathbf{e} = \mathbf{p}(E - A), \mathbf{p} \mathbf{y}^S = 1,$$

$$\mathbf{p} = p_e \mathbf{e}(E - A)^{-1} = p_e \mathbf{e}^*,$$

где  $\mathbf{e}^* = \mathbf{e}(E - A)^{-1}$  - вектор полных энергозатрат, т.е. затрат энергоресурсов на единичные конечные выпуски отраслей, поскольку

$$\mathbf{e}^* \mathbf{y} = \mathbf{e}(I - A)^{-1}(I - A)\mathbf{x} = \mathbf{e}\mathbf{x} = R.$$

Т.е. стоимость товара пропорциональна полным затратам энергоресурсов с коэффициентом пропорциональности, равным тарифным ставкам. По основной теореме двойственности, оптимальные решения прямой и двойственной задач равны, т.е.  $\xi = p_e R$ . Поскольку  $p_e y^S = 1$ , то  $\xi = \xi p_e e^* y^S = p_e \xi e^* y^S$  т.е.  $\xi$  - полная стоимость конечного продукта в ценах  $p$ .

Для тарифных оценок справедливы соотношения в оптимальных условиях функционирования:

$$\frac{1}{\bar{y}^S} = p_e \bar{e}^*, p_e = \frac{1}{\bar{y}^S \bar{e}^*} = \frac{\bar{p} \bar{y}^S}{\bar{e}^* \bar{y}^S}$$

В оптимальных условиях тариф на энергоресурсы равен отношению стоимости конечного продукта к его энергоёмкости. Отклонение от этих условий приведет к нестационарным переходным процессам в системе, т.е. к перераспределению выпусков продукции и ценообразованию по видам продукции.

Наконец при ограниченных поставках топлива особенно актуальным становится применение ВЭР и весьма важно определять приоритеты внедрения вторичных энергоресурсов исходя из затрат и экономического эффекта. При множественном выборе ресурсов и наличии нескольких потребителей задача сводится к максимальному вытеснению энергоресурса, дефицит которого наиболее очевиден.

Выводы.

1. Полученные из условий баланса производства соотношения позволяют провести оценку изменения структуры сопредельных производств при изменении удельных расходов в отдельных отраслях.
2. При ограничении ресурсов на производство продукции определена стратегия использования ВЭР.

#### Литература

1. Демин Г. А. Методы принятия управленческих решений/ Г. А. Демин; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2019. 88 с.
2. Бородачёв С. М. Теория принятия решений/ С. М. Бородачёв. - Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2014. - 124 с.
3. Яшин С. Н. Разработка и принятие решений в управлении инновациями/ С. Н. Яшин, И. Л. Туккель, Е. В. Кошелев, Ю. С. Коробова, Ю. В. Захарова. — Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2017. — 372 с.
4. Егоров А.А., Сотников В.В. Линейные модели принятия решений при управлении химическими процессами. Л., ЛГУ, 1989 –248с
5. Михлин Л.П., Тененбаум Д.Я. Оптимизация управленческих решений в рыбной промышленности. ВО Агро-промиздат. М.1989. –146с.

*А.А. Уткин, магистр; Е.В. Семионов, магистр; Р.В. Трушаков, к.т.н.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ЭНЕРГИЙ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА И СОЛНЦА**

Энергетика является индикатором уровня развития науки, производства и страны в целом.

Солнечная энергетика – это использование солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде. Солнечное излучение является доступным и экологически чистым источником энергии, оно не наносит вреда окружающей среде и не оставляет никаких вредных отходов. Солнечное излучение - практически неиссякаемый источник энергии, который доступен в любой точке планеты.

Солнечная энергетика сегодня представляет собой сферу значимых инвестиций в условиях снижения запасов нефти и газа.

О перспективах развития солнечной энергетики уже много лет ведутся различные споры и дискуссии. Большинство придерживаются такого мнения, что солнечная энергетика является энергетикой будущего. Многие страны стремительно развивают данную отрасль, вкладывая серьёзные инвестиции в строительство солнечных электростанций. Например, Германия, является мировым лидером в этой сфере, хотя не считается солнечной страной. Также Китай основательно занимается разработками в области энергии Солнца, гигантскими темпами развивает производство кремниевых фотоэлементов. Но есть меньшинство, которое считает, что затраты, требующиеся для изготовления солнечных батарей во много раз превышают прибыль от электроэнергии, которая производится Солнечными электростанциями.

Современный человек посвящает много времени тому, чтобы усовершенствовать систему использования природной энергии. Поэтому, солнечная энергетика имеет хорошие шансы на перспективное развитие. Исследования специалистов обнадеживают, что в скором времени, природный ресурс будет использован в полной мере, тем самым обеспечивая неограниченное получение энергоносителей.

Многие специалисты заверяют, что к 2100 году одним из доминирующих источников энергии на планете станет Солнце. Специалисты из Международного энергетического агентства (МЭА) прогнозируют, что солнечная энергетика будет обеспечивать 20-25% мировых потребностей в электроэнергии уже к 2050 году.

Для человека, солнечная энергия является универсальным инструментом для удовлетворения собственных нужд и потребностей. Одно из преимуществ, это то, что солнечное излучение можно относительно несложно преобразовать в механическую энергию, электрическую энергию, тепловую энергию, а также солнечное излучение могут использовать в химических и биологических процессах. По сложности преобразования и использования солнечного излучения, технологические процессы могут сильно отличаться. Также к основным отличиям солнечных энергетических установок относятся их размеры. Одни могут достигать размеров источников питания микрокалькуляторов, а другие в свою очередь могут достигать высоты 100 м и веса в сотни тонн.

Для общества развитие этой отрасли имеет большое преимущество по нескольким причинам:

- минимум затрат на оборудование;
- общедоступная стоимость;

- безвредность для окружающей среды;
- экологическая чистота получаемого продукта;
- возможность пользования природными ресурсами для получения энергии.

Инновационное развитие и технические возможности – отличные перспективы для разработки оборудования, которое преобразует солнечную энергию, используя минимум затрат на работу.

Имеет большое значение и то, что солнечные установки не требуют больших усилий в сборке и при эксплуатации. Их не сложно ремонтировать, видоизменять и подстраивать под собственные нужды. Фотопреобразователи монтируют на крышах зданий, при этом они занимают минимум места и способны накапливать энергию в плохую погоду.

Исследовательские наблюдения показали, что количество солнечного света, который попадает на поверхность Земли за одну неделю значительно превышает энергию, которая получена от природных ископаемых (дерево, газ, уголь). Это означает, что человек за неделю может получить столько энергии, сколько могут дать, например, несколько тонн угля. Учитывая возможности, которые даёт рассеянный солнечный свет, нет сомнения в утверждении, которое делают международные специалисты. Можно удостовериться в этом на обычном примере: для того, чтобы получить одну тонну угля потребуются огромные затраты (время, человеческий труд, использование специального оборудования). Не составит труда рассчитать, в какую стоимость обходиться каждая тонна материала для страны.

Но, существует одна из значительных проблем в Солнечной энергетике - потребность в аккумуляторах. Обычно солнечные электростанции вырабатывают электроэнергию днём, но огромная потребность в электричестве возникает, в основном в вечернее время. Следовательно, без аккумуляторов солнечные электростанции не будут продуктивными. В связи с этим приходится использовать альтернативные источники энергии. В дневное время часть традиционных электростанций придётся отключить, а часть будет находиться в резерве на случай плохой погоды. В итоге, традиционные генерирующие мощности находятся в резерве и теряют в прибыли.



Рисунок 1 - Автономное обеспечение объекта (с аккумуляторами)



Крупные СЭС по мере выработки, продают электроэнергию в распределительные сети, а в вечернее и ночное время электроэнергию вырабатывают обычные электростанции.

В настоящее время экономически выгодное солнечное электричество получают с использованием солнечных поликристаллических панелей, в то время как остальные способы намного дороже. Сегодня эксплуатация солнечной энергии и СЭС могут быть полезны только в тех регионах, где невозможно осуществить подключения к электросетям.

Генерирование солнечной энергии в производственных масштабах рассматривается как возможность экономии относительной части традиционного топлива в дневные часы, так как в ночное время СЭС не способна взять на себя такую нагрузку, а выступает в качестве дополнительного источника энергии.

Для экономической оценки электростанции проведём небольшой расчёт.

Допустим в сентябре наше энергопотребление составляет 121 кВт\*ч, за сутки выходит 121 (кВт\*ч): 30 (дней) = 4,1 кВт\*ч за сутки.

Для расчёта площади солнечных панелей нам необходимо знать значение солнечной инсоляции в г. Смоленск. При оптимальном градусе наклона в 41° солнечная инсоляция будет равна 3,24 кВт\*ч/м<sup>2</sup>. Посчитаем площадь панелей 4,1\*3,24=13,3 м<sup>2</sup>. Размеры и мощность подходящих нам панелей составляет:

Размеры - 1720\*1135\*720 мм;

Количество – 4 штуки;

Стоимость – 73960 тысяч рублей.

Далее нам необходимо выбрать аккумуляторные батареи.

Для этого нам необходимо суточное потребление электроэнергии умножить на 12 В:

$$4,1 \text{ кВт*ч} * 12 \text{ В} = 341,6 \text{ Ач}$$

То есть, нам необходимо 4 аккумуляторные батареи с мощностью 100 Ач.

Стоимость АКБ будет равна 36000 тысяч за 4 штуки.

Выберем инвертор-преобразователь.

Для этого нам необходимо рассчитать общую мощность бытовых приборов за сутки:

$$W_x - \text{мощность холодильника } 300 \text{ Вт} * 8 \text{ ч} = 2400 \text{ Вт}$$

$$W_{\text{ч}} - \text{мощность электрического чайника } 700 \text{ Вт} * 15 \text{ мин} = 250 \text{ Вт}$$

$$W_{\text{т}} - \text{мощность телевизора } 80 \text{ Вт} * 8 \text{ ч} = 640 \text{ Вт}$$

$$W_{\text{н}} - \text{мощность насоса } 450 \text{ Вт} * 4 \text{ ч} = 1800 \text{ Вт}$$

$$W_{\text{м}} - \text{мощность микроволновой печи } 900 \text{ Вт} * 1 \text{ ч} = 900 \text{ Вт}$$

$$W_{\text{ст.м}} - \text{мощность стиральной машины } 500 \text{ Вт} * 1 \text{ ч} = 500 \text{ Вт}$$

$$W_{\text{общ}} = W_x + W_{\text{т}} + W_{\text{н}} + W_{\text{м}} + W_{\text{ст.м}} + W_{\text{ч}}$$

$$W_{\text{общ.сут}} = 6490 \text{ Вт} = 6,4 \text{ кВт*ч/сут}$$

$$\text{В месяц } W_{\text{общ.мес}} = 194,7 \text{ кВт*ч/мес}$$

Нам подходит инвертор-преобразователь мощностью  $W_{\text{max}} = 4 \text{ кВт}$ , стоимостью 35125 тысяч рублей.

Рассчитаем экономию в год:

Стоимость в месяц  $194,7 * 4,26 = 829,4$  рубля (4,26 рублей за кВт\*ч тариф в г. Смоленск)

Стоимость в год составит 9953,1 рубля.

Общая стоимость установки с учётом установки и монтажа составит 188000 рублей, срок окупаемости такой станции составит 16,1 года. Если дом будет подключён к централизованной сети энергообеспечения, то данная установка затратная, но если дом находится в месте не подключённом к централизованной системе энергообеспечения, то это экономически и экологически выгодный вариант. Солнечная установка может не только подавать и преобразовывать электроэнергию, но также выступать в виде нагревателя для воды и отопления дома. Цена возрастёт, но в перспективе такая солнечная установка будет выгоднее, чем подключение к централизованной системе, также к плюсам можно отнести бесперебойность работы такой установки.

В мире дальнейшее развитие солнечной энергетики рассматривается как существенный вклад в энергетическую систему и технологии в целом. За последние годы специалистам в данной области удалось существенно повысить качество «приёмников» солнечной энергии и повысить их КПД. В результате нам становятся доступны солнечные батареи повышенной мощности, отличающиеся сроком эксплуатации, надёжностью, простотой установки и малыми габаритами.

Альтернативные источники энергии помогут человечеству решить экологические проблемы, возникшие в связи с использованием традиционных ископаемых, а также помогут сохранить залежи природных ископаемых.

#### Литература

1. Возобновляемая энергетика / В. В. Елистратов. — Санкт-Петербург: Издательство политехнического университета, 2016. — 421 с.
2. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Солнечная энергетика: учебное пособие / В. А. Волчок. — Гродно : ГрГУ им. Я. Купалы, 2017. — 55 с.
3. Стребков, Д. С. Солнечные электростанции: концентраторы солнечного излучения : учебное пособие для вузов / Д. С. Стребков, Э. В. Тверьянович ; под редакцией Д. С. Стребкова. — 2-е изд., испр. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 265 с.
4. Тимошкин С. Е. Солнечная энергетика и солнечные батареи. М., 2016, с. 163-194

*В.В. Федотов, студ., В.В. Рожков, к.т.н., доцент  
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)*

## **ПРЕДПОСЫЛКИ К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЗИЦИОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ**

Требования к точности и динамическим свойствам систем электроприводов, в особенности позиционных и следящих, непрерывно возрастают. В настоящее время качественные электроприводы включают в себя замкнутую систему управления. Особенностью замкнутых систем управления является наличие обратных связей, обеспечивающих регулирование объекта управления – двигателя, в широком диапазоне.

При проектировании систем управления электроприводов наибольшее применение получили системы с общим суммирующим усилителем и с подчиненным регулированием координат, содержащие в своем составе ПИД-регуляторы. От правильности рассчитанных коэффициентов таких регуляторов зависит качество управления электроприводом.

Для того чтобы спроектировать быстродействующий прецизионный электропривод, отвечающий высоким требованиям к точности позиционирования или отработки заданной траектории, необходимо правильно рассчитать применяемые в системе управления коэффициенты ПИД-регуляторов. На практике они не всегда обеспечивают оптимальные режимы работы электропривода, поэтому при несоответствии, после установки рассчитанных параметров в дальнейшем производят их подстройку для выполнения высоких требований к точности и быстродействию электропривода.

Из-за отсутствия точной информации о параметрах схемы замещения двигателя возникают проблемы настройки системы автоматического регулирования даже при использовании стандартных инженерных методик синтеза. В связи с этим, расчет этих параметров производят по различным эмпирическим способам, которых существует достаточно много, и, как правило, результаты расчетов дают большую погрешность.

Наибольшую сложность представляет собой синтез системы электропривода для позиционных или следящих электроприводов степеней подвижности промышленного робота. Продемонстрируем вначале на примере разработанной модели в MatLab (рисунок 1) указанные выше возникающие проблемы и наметим пути их решения. Система управления асинхронным двигателем построена по векторному принципу с использованием стандартных настроек регуляторов.

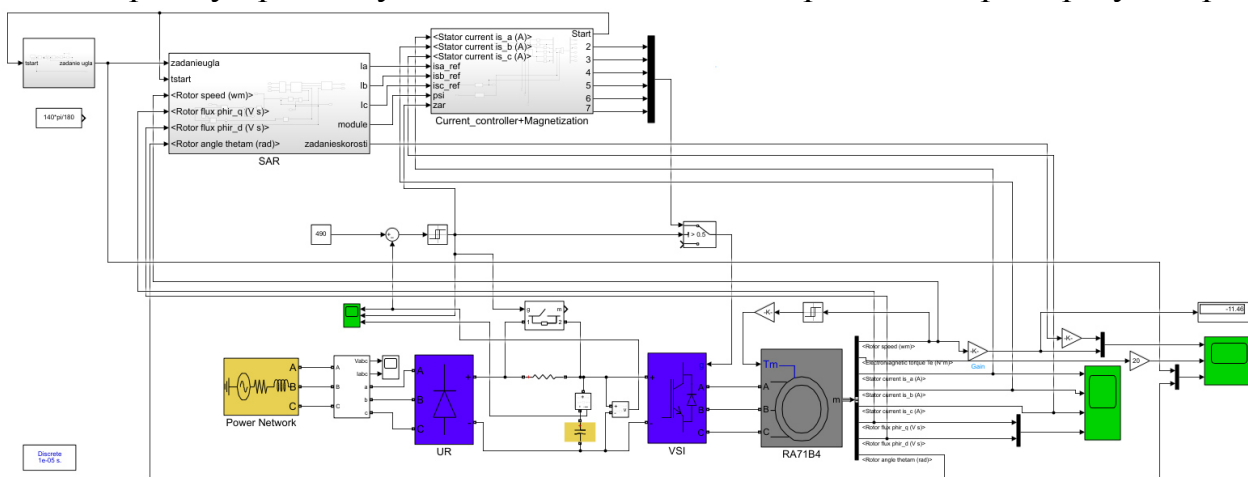


Рисунок 1 – Модель векторного управления асинхронным двигателем одной из степеней подвижности робота

Настройку регуляторов производим по [1].

На рисунке 2 показаны осциллограммы переходных процессов отработки электроприводом заданной траектории работы качательной степени подвижности робота для рассчитанных коэффициентов ПИД-регулятора, на рисунке 3

показаны осциллограммы при корректировке коэффициентов для достижения необходимых режимов работы.

На рисунках желтые линии соответствуют сигналам задания, а синие – измеренным датчиками. На верхних осциллограммах анализируются скорости двигателя (об/мин), на осциллограммах, расположенных посередине представлены электромагнитные моменты двигателя (Нм), а на нижних – угол поворота выходного вала редуктора, измеряемый в радианах.

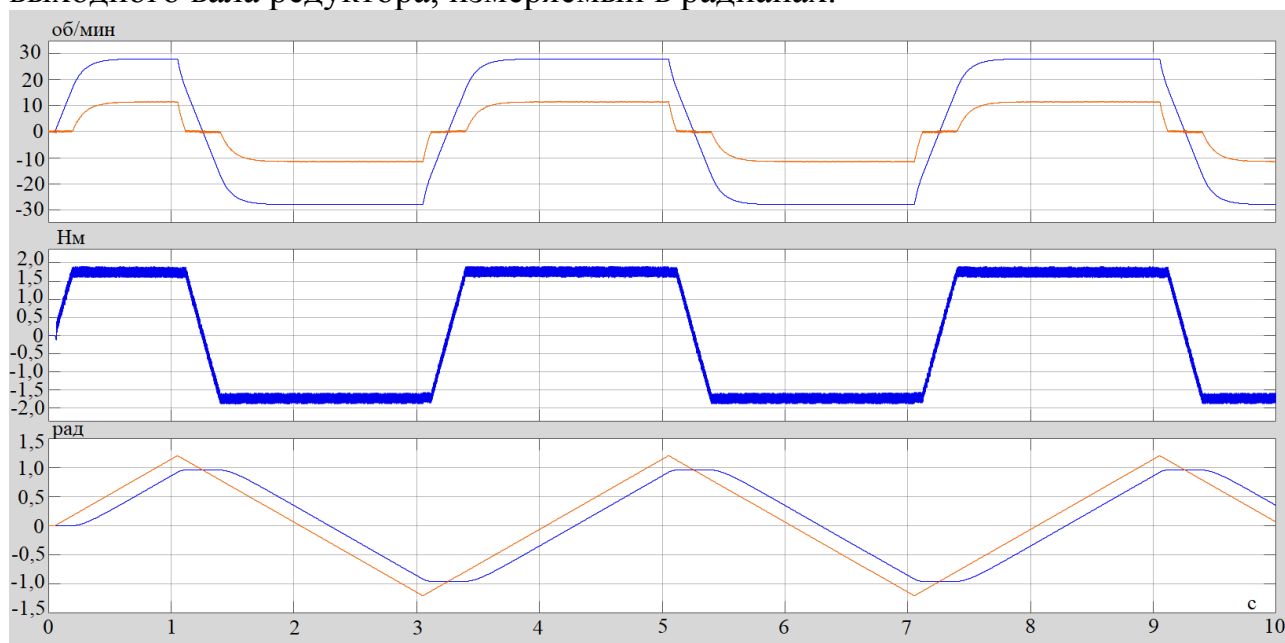


Рисунок 2 – Отработка угла с коэффициентами, рассчитанными по формулам

Этим экспериментом доказывается необходимость дальнейшей подстройки коэффициентов для выхода на необходимый режим работы электропривода.

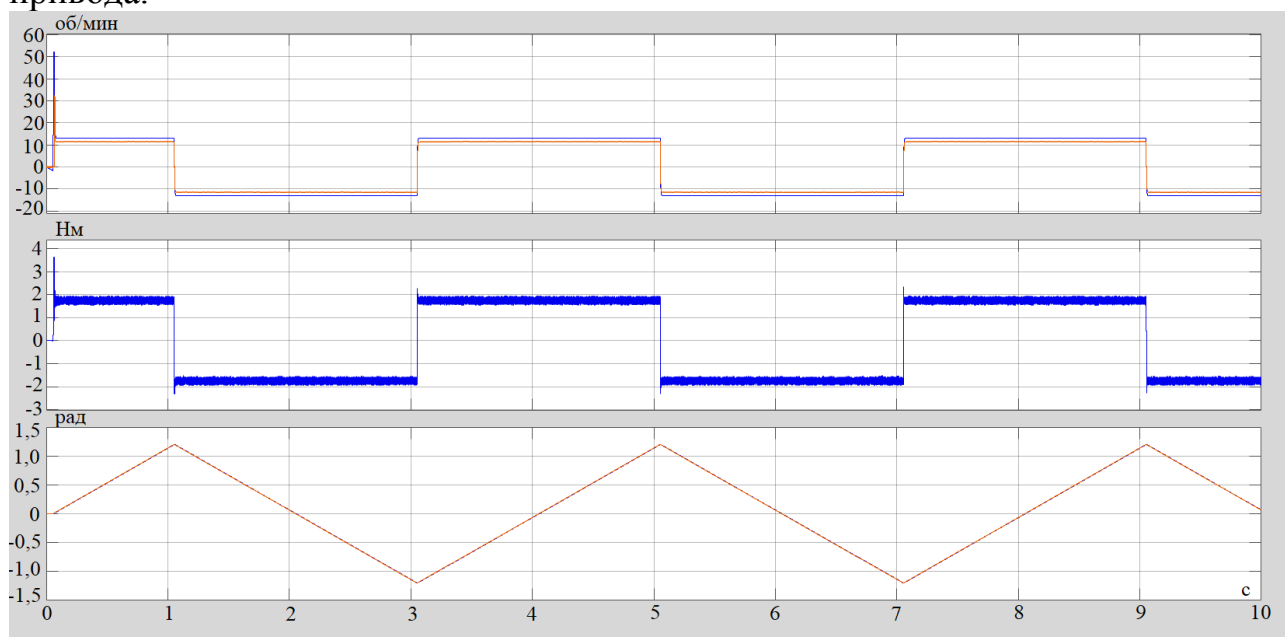


Рисунок 3 – Отработка угла с коэффициентами, подобранными средствами компьютерного моделирования

В противовес существующим инженерным методикам с «классическими» ПИД-регуляторами, для управления электроприводом перспективно использование элементов искусственного интеллекта, в частности, применение машинного обучения. Машинное обучение активно развивается и проникает во все сферы жизни общества и технологий, поэтому целесообразно рассмотреть его применение и в задачах электропривода. К тому же регулирование коэффициентов происходит порой в очень узком диапазоне, что подчеркивает лишний раз преимущества использования вычислительных комплексов взамен человека.

Целью данной статьи является рассмотрение возможности синтеза позиционной системы электропривода с применением машинного обучения.

Данная технология используется для получения необходимых коэффициентов регуляторов, соответствующих требованиям прецизионных электроприводов промышленных роботов, без явного участия человека в этом процессе. Отсутствие влияния человеческого фактора может существенно снизить вероятность ошибок при подстройке коэффициентов.

В машинном обучении выделяют как минимум три методики, а именно: обучение без учителя, обучение с учителем и машинное обучение с подкреплением.

Наибольший интерес для выполнения поставленной цели представляет машинное обучение с подкреплением. Поиск методом проб и ошибок и отложенное вознаграждение – являются наиболее важными отличительными чертами обучения с подкреплением [2].

Основными элементами такого обучения являются: окружающая среда, агент и вознаграждение. Окружающая среда и вознаграждение поступают на входы агента, а на выходе агента формируется действие, которое поступает в окружающую среду. Таким образом, система получается замкнутой и на основании полученного вознаграждения, которое является показателем успешности реального действия по отношению к желаемому, система должна стремиться получить наибольшее вознаграждение из возможных.

Цель обучения с подкреплением – научить агента выполнять задачу в неизвестной среде.

Обучение с подкреплением включает в себя обучение агента оптимальному поведению через многократное взаимодействие с окружающей средой (управляющими и возмущающими воздействиями) методом проб и ошибок без участия человека [3].

Техническая реализация подобных технологий, как и любых других, является не простой задачей. Для упрощения этой задачи необходимо построить математическую модель, на основе которой в дальнейшем можно будет проводить различного рода эксперименты. Для реализации данной модели планируется использование программы MatLab.

MatLab предоставляет необходимые ресурсы для построения математических моделей, в которых применяются технологии машинного обучения с подкреплением [4]. Для этих целей в библиотеке Reinforcement Learning добавлен блок RL Agent, изображенный на рисунке 4. Данный блок имеет три входа

(observation, reward, isdone) и один выход (action). На вход observation заводятся управляющие и возмущающие воздействия. На вход reward подается рассчитанное вознаграждение, которое зависит от полученного рассогласования. На вход isdone закладывается условие для прекращения симуляции. На выходе action формируется выходное воздействие для приведения исследуемого параметра к необходимой величине.

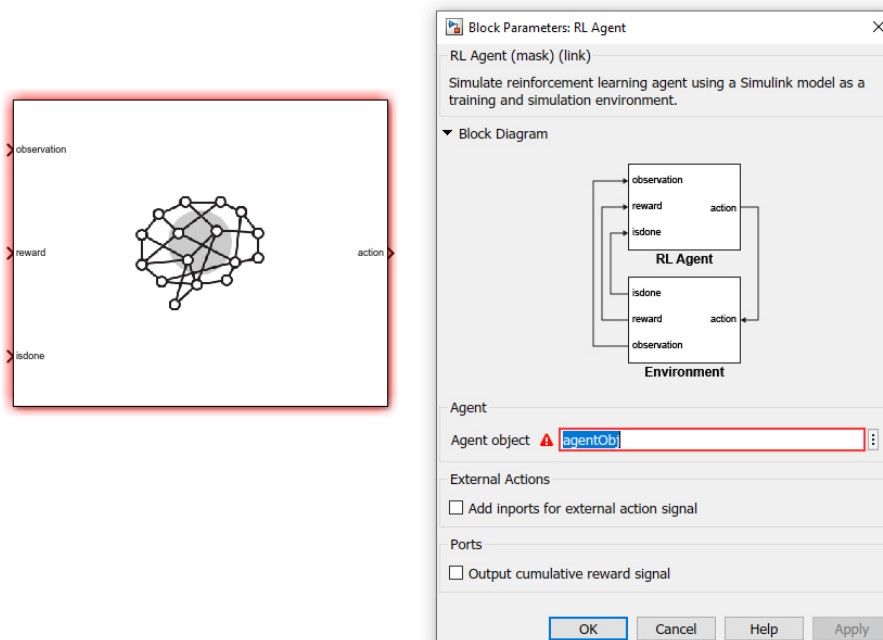


Рисунок 4 – Блок RL Agent в MATLAB

После создания модели в среде Simulink необходимо обучить агента. Для этих целей в MatLab существует большое количество команд, которые необходимо прописать в командной строке [5].

После обучения агента, если полученные результаты моделирования удовлетворительны, то программные средства MatLab поддерживают возможность конвертации алгоритма обучения агента в код C++. Наличие данного кода позволяет реализовать с использованием микроконтроллера данную технологию машинного обучения с подкреплением.

Таким образом, видно, что используя средства MatLab, можно строить замкнутые системы управления с применением машинного обучения с подкреплением для задач автоматизированного электропривода.

Применение данной методики обучения облегчит процесс настройки необходимых коэффициентов ПИД-регуляторов для обеспечения высокой точности позиционирования электропривода промышленного робота. При этом сама собой отпадает необходимость расчета параметров схемы замещения двигателя. Существенным минусом применения машинного обучения с подкреплением является обязательное наличие высокопроизводительных вычислительных аппаратов, ведь скорость обучения напрямую зависит от их производительности.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2020-0019.

## Литература

1. Управление частотно-регулируемым электроприводом: Конспект лекций по курсу «Специальные разделы теории электропривода». /Данилов П.Е., Крутиков К.К., Рожков В.В. – 2-е изд., испр. – Смоленск, 2012. – 100 с.
2. Бринк Хенрик, Ричардс Джозеф, Феверолф Марк Машинное обучение. – СПб.: Питер, 2017. – 336 с.: ил. – (Серия «Библиотека программиста»).
3. Саттон Р.С., Барто Э. Дж. Обучение с подкреплением: Введение. 2-е изд. / пер. с англ. А. А. Слинкина. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 552 с.: ил.
4. User's Guide Reinforcement Learning Toolbox™ MATLAB R2021a URL: [https://www.mathworks.com/help/releases/R2021a/pdf\\_doc/reinforcement-learning/rl\\_ug.pdf](https://www.mathworks.com/help/releases/R2021a/pdf_doc/reinforcement-learning/rl_ug.pdf) (Дата обращения 23.09.2021)
5. Reference Reinforcement Learning Toolbox™ MATLAB R2021a URL: [https://www.mathworks.com/help/releases/R2021a/pdf\\_doc/reinforcement-learning/rl\\_ref.pdf](https://www.mathworks.com/help/releases/R2021a/pdf_doc/reinforcement-learning/rl_ref.pdf) (Дата обращения 24.09.2021)

*О.В. Булыгина, к.э.н., доцент, доцент  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ГИБРИДНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ПРОЕКТОВ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ**

В последние годы одним из приоритетных направлений национальной политики является импортозамещение, которое связано с производством стратегически важной продукции, которая ранее только импортировалась. В условиях постоянного ужесточения санкций многие промышленные предприятия стали активно заниматься реализацией проектов импортозамещения наукоемкой продукции, которые, в свою очередь, нередко получают государственную поддержку.

Сегодня основными направлениями импортозамещения в наукоемких отраслях российской экономики являются:

- промышленное оборудование и передовые технологии, используемые для производства наукоемкой продукции внутри страны;
- сырье, материалы и комплектующие для производства наукоемкой продукции внутри страны;
- импорт эквивалентной замещающей продукции из «третьих» стран.

Важным этапом процесса разработки проектов импортозамещения наукоемкой продукции является оценка их осуществимости, которая должна выполняться с учетом различных рисков ситуаций, которые могут возникать в ходе их реализации. Анализ таких рисков обычно проводится с учетом специфики предметной области и основывается на результатах исследования внутреннего и внешнего окружения проекта.

В отечественной и зарубежной литературе описано множество методов анализа проектных рисков для различных типов инноваций (технологических, продуктовых, организационных и т.п.), однако зачастую они не учитывают специфику проектов импортозамещения наукоемкой продукции [1].

Во-первых, такой проект лишь отчасти является инновационным, поскольку направлен на создание «замещающей» продукции или технологии.

Основное отличие же заключается в мотивации: одним из инвесторов проекта импортозамещения обычно является государство, поскольку затрагиваются стратегические отрасли экономики или обороноспособность страны.

Во-вторых, инновационный проект обычно хорошо спланирован по всем аспектам, в то время как проект импортозамещения является ответом на внезапное появление разных внешнеэкономических или политических угроз.

В-третьих, реализацию проектов импортозамещения наукоемкой продукции сопровождают специфические источники риска, которые связаны с:

1) потерей внешнего поставщика наукоемкой продукции (сырья, материалов, оборудования и т.п.);

2) невозполнимой потерей временных ресурсов.

Ключевой проблемой при исследовании рисков проектов импортозамещения наукоемкой продукции является необходимость одновременного учета большого количества разнообразных показателей, для анализа которых используется статистическая, казистатистическая или экспертная информация, что снижает адекватность получаемой оценки интегрального риска проекта. В качестве решения указанной проблемы предлагается использовать интеллектуальные методы, которые позволяют успешно проводить анализ даже в условиях слабой структурированности информации и недостатка статистических данных.

Обычно поиск вариантов импортозамещения наукоемкой продукции, которая попала под санкции, происходит по трем направлениям [2]:

- замена «санкционного» продукта на импорт из «третьей» страны;
- разработка продукта, полностью заменяющего импортный;
- разработка замещающего продукта и новой системы, в состав которой войдет этот продукт, если полный аналог не получилось приобрести или произвести внутри страны.

По каждому направлению может быть найдено до нескольких десятков вариантов, среди которых нужно выбрать самые «перспективные».

Отбор «перспективных» проектов импортозамещения наукоемкой продукции основывается на детальном анализе факторов внутренней и внешней среды предприятий, которые будут их реализовывать. Для поддержки решений в этой области разработан специальный контроллер, который назначает «справедливые» приоритеты проектам-опциям. Он реализован в виде агентной программы, входящей в состав имитационной модели, созданной в системе моделирования *Actor Pilgrim* (рис. 1).

Генератор заявок actor (1) осуществляет формирование акторов-опций (проектов), которые поступают в узел key (2), где каждому из них назначается «справедливый» приоритет. Затем «заряженные» таким образом акторы-опции поступают в очередь queue (3), где они автоматически упорядочиваются уже по правилу относительных приоритетов. Постепенно в очереди queue (3) накапливается набор акторов-опций с наиболее высокими приоритетами. При поступлении каждого нового проекта происходит переадресация справедливых приоритетов всем акторам, находящимся в очереди queue (3).



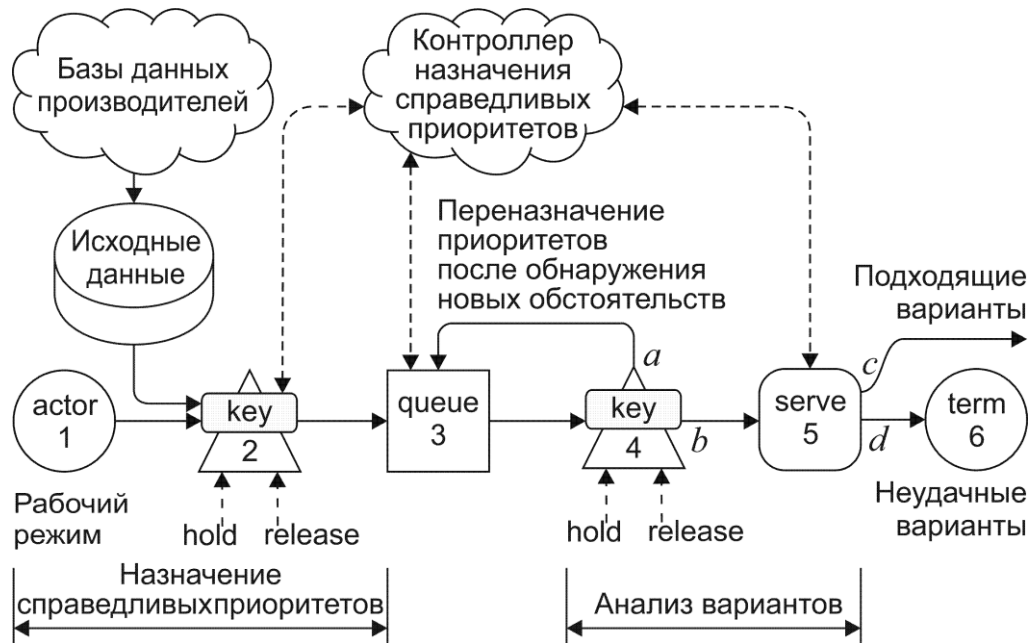


Рисунок 1 – Динамическое назначение «справедливых» приоритетов с помощью гибридной имитационной модели

После рассматривания всех опций (или при принятии решения о преждевременном завершении процедуры анализа проектов) подходящие варианты предоставляются экспертам, а остальные – удаляются.

Для успешной реализации приведенной модели разработан экономико-математический аппарат, который позволит проводить:

- исследование источников проектных рисков с помощью нейро-нечеткого классификатора [3];

- анализ количества значимой информации о каждом источнике риска с помощью коэффициента эмерджентности Хартли, на основе которого производится выбор инструментов формирования интегральной оценки [4];

- формирование интегральной оценки риска с помощью нечетко-логического вывода по алгоритму Мамдани (для простой комбинации небольшого числа источников) или нечетких пирамидальных сетей (в случае наличия большого числа взаимосвязанных источников) [5].

На основе результатов интегральной оценки проектного риска осуществляется переназначение «приоритетов» всем акторам-вариантам, находящимся в очереди при появлении нового актора.

Как представляется, использование предложенного подхода к оценке интегрального риска проекта импортозамещения позволит расставлять «справедливые» приоритеты всем вариантам замены санкционного наукоемкого продукта и, как следствие, экономить различные проектные ресурсы (временные, материально-технические и финансовые).

*Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации МК-1534.2020.9 «Методы моделирования сложных систем с использованием нечетко-сетевых алгоритмов и роевого интеллекта».*

#### Литература

1. Булыгина О.В., Емельянов А.А., Росс Г.В., Яшин Е.С. Инвестиции, инновации, импортозамещение: имитационное моделирование с элементами искусственного интеллекта в управлении проектными рисками // Прикладная информатика. 2020. Т.15. №1. С. 68-102.
2. Булыгина О.В., Емельянов А.А., Яшин Е.С. НЕ-факторы, темпоральная логика и нечетко-логические инструменты в гибридных моделях управления рисками импортозамещения // Прикладная информатика. 2020. Т.15. №4. С. 5-43.
3. Булыгина О.В., Иванова О.А. Инструменты анализа НЕ-факторов при управлении проектными рисками // Научный журнал «Мягкие вычисления и измерения». 2020. Т.33. №8. С.14-25.
4. Булыгина О.В., Емельянов А.А., Яшин Е.С. Управление рисками импортозамещения с учетом индикатора эмерджентности Хартли // Научное обозрение: теория и практика. 2020. Т.10. №7. С. 1348-1361.
5. Bulygina O.V., Ivanova O.A. Tools for intellectual support of project decisions based on analyzing uncertain factors of a different nature // Journal of Physics: Conference Series, 2021, vol. 1925.

*М.А. Василькова, студ., А.В. Зедаина, ст. преп.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Исследование выполнено в рамках государственного задания № FSWF-2020-0019, а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-01-00283

Применение интеллектуальных моделей различных бизнес-процессов дает организациям неоспоримые преимущества перед конкурентами за счет выявления глубинных закономерностей в доступных данных, недоступное для классических статистических методов [1]. Одним из актуальных вариантов применения интеллектуальных моделей и методов может служить прогнозирование ресурсопотребления городов, районов и других территориальных образований. Для ресурсоснабжающих организаций важно знать, какой объем поставляемого ресурса будет востребован через определенный промежуток времени. Это позволяет осуществлять эффективное планирование и предотвращать нежелательные перегрузки и аварийные ситуации. Особенно прогнозирование актуально для электроснабжающих организаций, так как электроэнергию нельзя складировать и избыток или недостаток этого ресурса приводит к значительным экономическим потерям. Такая характеристика электроэнергии как ресурса заставляет менеджеров ресурсоснабжающей организации более взвешенно подходить к задачам планирования и инвестирования в развитие, так как от обоснованности принимаемых инвестиционных решений во многом зависит успех мероприятий, направленных на увеличение генерирующих мощностей или сетей поставки.

Отмеченные аспекты определяют актуальность задачи проведенного исследования – применение интеллектуальных методов для прогноза потребления электроэнергии на основе современных вычислительных алгоритмов.

Авторами предложен метод прогнозирования потребления электроэнергии на основе совместного применения вейвлет-преобразования и одной из разновидностей интеллектуальной обработки данных – аппарата глубоких рекуррентных нейронных сетей (ГРНС).

Предложенная комбинация вейвлет-преобразования и ГРНС, как ожидалось, позволит получать прогнозы более высокой точности на значительно более длительные интервалы времени по сравнению с существующими подходами на основе регрессионных статистических моделей, а предложенный метод и разработанная на его основе программа даст инструмент повышения эффективности планирования за счет снижения ошибок прогноза. С целью конкретизации задачи прогнозирования, будем рассматривать потребление электроэнергии, историческое поведение которого можно отобразить в форме временного ряда.

Постановку задачи для прогноза потребления электроэнергии можно рассматривать как задачу регрессии для рекуррентной нейронной сети или задачу классификации для сверточной сети [2, 3]. В первом случае исходными данными будут выступать временные ряды, сгруппированные в таблицы данных, а во втором – изображения. Они могут быть полученные либо непосредственно с видеокамер, установленных и нацеленных на «технологические зоны», либо сигнатуры временных рядов или самих изображений, прошедших предварительную обработку.

Для получения сигнатур данных, представленных в форме временных рядов можно использовать различные методы: преобразование Фурье, адаптированные мел-кепстральные коэффициенты (по аналогии с преобразованием звука для распознавания сверточными сетями) и другие. Наиболее перспективным здесь можно назвать применение вейвлет-преобразования, способного формировать изображения, отражающие как низкочастотные составляющие в данных (усреднение), так и мелкие детали.

Вейвлет-преобразование, в отличие от Фурье-преобразования, хорошо отображает не только частотные локализации сигнала, но и временные. Что позволяет с его помощью хорошо выявлять особенности в нестационарных сигналах. Это обстоятельство особенно важно при использовании вейвлет-преобразования для анализа энергопотребления. Отметим, что для дискретных сигналов не существует базисных функций вейвлет-преобразования. В тоже время, алгоритм Малла, с применением концепции вейвлет-фильтров, может быть применен для вейвлет-преобразования дискретизированных на временной оси сигналов, к которым относятся и данные потребления электроэнергии на данный момент времени, поступающие из базы данных.

Прогноз потребления электроэнергии предлагается вести по нескольким каналам. Такой подход для энергонагруженных систем использовался для решения различных задач обработки данных, в том числе при создании цифровых двойников [4, 5]. Однако в данном случае применяется еще и канал с предварительным вейвлет-преобразованием данных – с помощью сетей CNN (convolutional neural network) обрабатывает изображения спектрограмм тех же

временных рядов, которые обрабатываются рекуррентными нейронными сетями LSTM (Long short-term memory).

Предложенный метод обработки информации о потреблении электроэнергии отражен структурой, показанной на рисунке 1.

Рассмотрим второй канал. Пусть данные о потреблении электроэнергии поступают непрерывно. При наличии  $k$  источников поступления получаем столько же временных рядов  $B_k(t)$ , содержащих данные о потреблении электроэнергии  $k$  различных потребителей,  $k=1, \dots, K$ , в текущий момент времени  $t$ . Эта информация фиксируется в дискретные моменты времени  $t = i \Delta t$ , где  $i = 0, 1, \dots, I$  – номер отсчета времени. Вся совокупность  $B_k(i\Delta t)$ , взятая за промежуток времени  $T$  образует матрицу  $B_T$ ,  $k$ -я строка которой представляет собой временной ряд, формальная модель которого представим в виде:

$$B_k(t) = B_{k,1}(t) + B_{k,2}(t) + \dots + B_{k,s}(t), \quad (1)$$

где  $B_{k,j}(t)$  – разномасштабные элементы с разной структурой, обладающие свойством ортогональности.

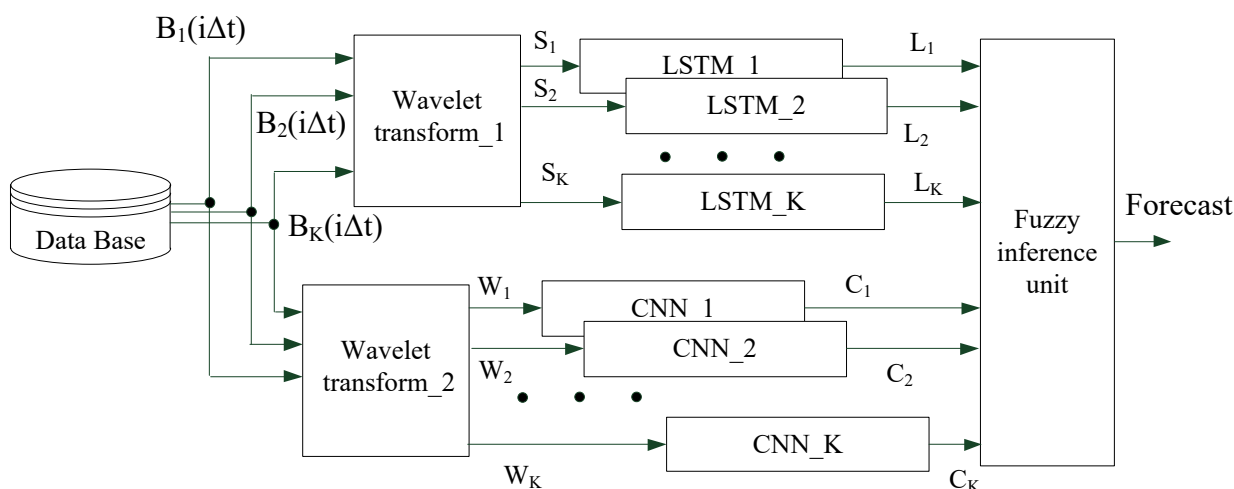


Рисунок 1 – Структура обработки информации

Для нестационарных временных рядов вейвлет-преобразование обладает рядом преимуществ по сравнению с Фурье-преобразованием. В разложении (1) компоненты могут изменяться в произвольные моменты времени, то есть, локализованные на оси времени.

При проведении вейвлет-анализа необходимо решить вопрос выбора базисной вейвлет-функции  $\Psi$ , так как результат отображения определяется ее свойствами, а выбор  $\Psi$  зависит от постановки задачи исследования. Чаще всего критериями, определяющими выбор  $\Psi$  являются минимизация количества аппроксимирующих компонент в (1) и минимизация погрешности аппроксимации.

Шумовая компонента, присутствующая в значениях временного ряда, может быть смоделирована как аддитивная составляющая:  $B(t) = y(t) + e(t)$ , поэтому можно записывать вейвлет-представление временного ряда как сумму вейвлет-разложения полезной составляющей и шума.

Рассмотренное преобразование выполняется для рекуррентных сетей LSTM и реализуется в блоке Wavelet transform\_1. Применение вейвлет-преобразования для шумоподавления в Wavelet transform\_1 позволяет снизить влияние шума на качество обучения LSTM. Для применения CNN используется преобразование временного ряда в вейвлет-скалограмму, представляющую собой двумерное представление одномерных данных. По оси абсцисс откладывается время, а по оси ординат – результат вейвлет-преобразования данных для момента времени, отложенного по оси абсцисс, что даёт дополнительную информацию о динамических свойствах сигнала, которое может быть распознано (классифицировано) CNN. На рисунке 2 показаны примеры временных рядов, взятых для разных интервалов времени  $T$  и соответствующие им скалограммы, полученные при использовании вейвлета Морзе. Из рисунка 2 видно, что скалограммы могут служить двумерным отображением особенностей поведения временного ряда на промежутке времени  $T$  и набор таких изображений может быть применен для обучения CNN.

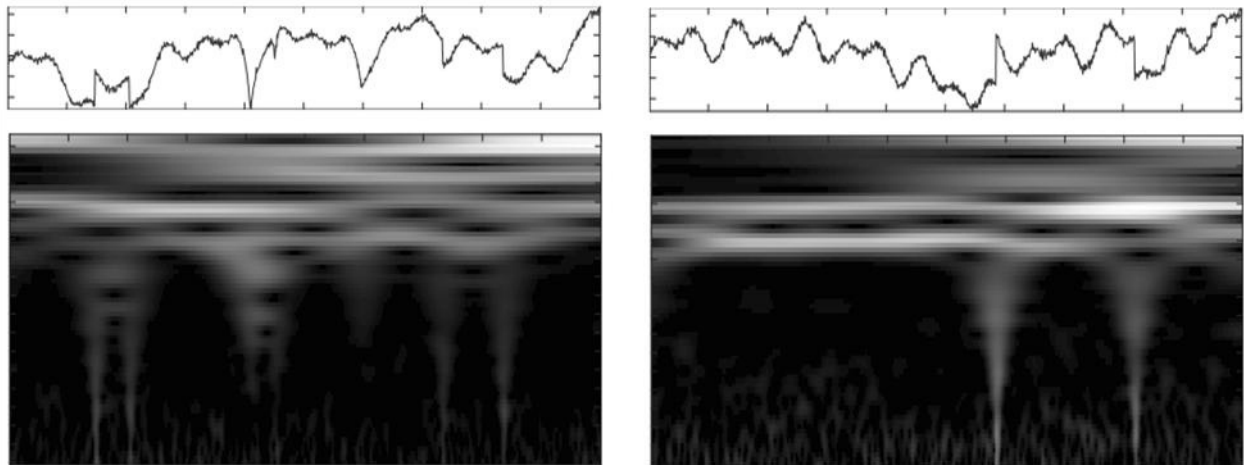


Рисунок 2 – Временные ряды и их скалограммы

Применительно к потреблению электроэнергии краткосрочный временной горизонт составляет 2 –7 дней, среднесрочный – до одного месяца. Для прогнозирования на эти интервалы соответствующим образом формировались обучающие наборы данных – интервал дискретизации (время между соседними значениями об энергопотреблении и других параметров) выбирался равным от 2-х до 7 дней для краткосрочных прогнозов и от 10 до 15 дней для среднесрочных. Архитектуры применяемых сетей LSTM и CNN показаны на рисунке 3.

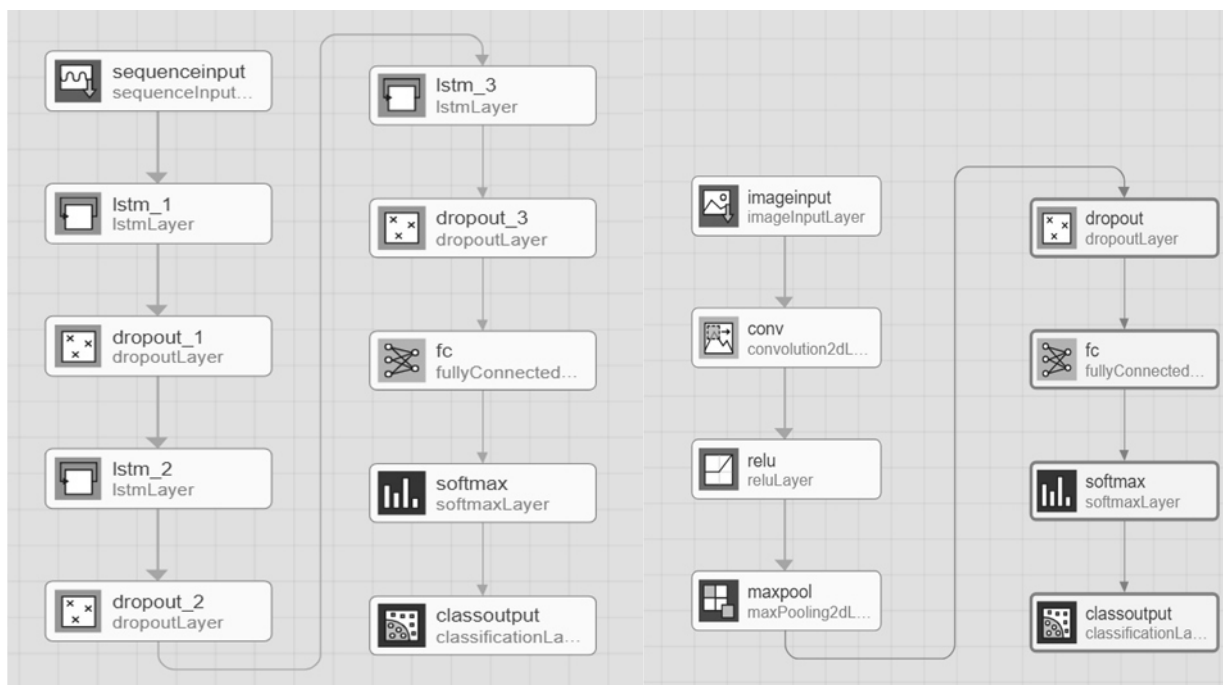


Рисунок 3 – Архитектуры применяемых сетей LSTM и CNN

В блоке Fuzzy inference unit осуществляется нечеткий вывод на основе результатов работы нейронных сетей. Сеть LSTM работает в режиме sequence-to-end и решает задачу регрессии, CNN – задачу классификации. В Fuzzy inference unit выходы сетей объединяются с помощью нечетких правил. В таблице 1 представлены результаты модельного примера прогнозирования потребления электрической энергии городским микрорайоном с применением предложенной информационной структуры. Для сравнения приведены результаты прогнозирования на основе метода наименьших квадратов 4-го порядка.

Таблица 1 – Результаты прогнозирования, МВт-час

| Применяемый метод                       | Краткосрочный прогноз, дни |      |      |      |      |      | Среднесрочный прогноз, дни |      |      |      |      |      |
|---|----------------------------|------|------|------|------|------|----------------------------|------|------|------|------|------|
|   | 2                          | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 10                         | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| Реальные данные                         | 1505                       | 1512 | 1620 | 1526 | 1905 | 2033 | 2141                       | 2281 | 2087 | 1984 | 2012 | 1808 |
| Метод наименьших квадратов 4-го порядка | 1515                       | 1559 | 1611 | 1601 | 1672 | 1785 | 2159                       | 2209 | 2173 | 2114 | 2201 | 2304 |
| Структура на основе LSTM и CNN          | 1506                       | 1518 | 1640 | 1512 | 1893 | 2013 | 2140                       | 2275 | 2091 | 2002 | 2004 | 1827 |

Анализ результатов прогнозирования показывает, что предложенная структура обладает значительно более высокой точностью прогноза по сравнению с методом наименьших квадратов, при этом точность может быть повышена за счет увеличения мощности сетей и привлечения дополнительных факторов при формировании обучающих наборов. Кроме того, возможно повышение точности прогноза за счет применения других типов вейвлетов или их комбинирования. Предложенный метод может найти применение для прогноза показателей в составе различных систем поддержки принятия решений.

## Литература

1. Цветков В. Я. Интеллектуальное управление в бизнесе и образовании // Economic Consultant. 2015. №1 (9). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnoe-upravlenie-v-biznese-i-obrazovanii> (дата обращения: 07.07.2021).
2. Василькова М.А. Способ определения расстояния до объекта в робототехническом комплексе // Информационные технологии, энергетика и экономика. Сб трудов XVIII-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 3 т. Т 1. – 2021. – 356 с. С. 285 – 289.
3. Василькова М.А. Прогнозирование успеваемости и численности контингента студентов на основе глубоких рекуррентных нейронных сетей // Энергетика, информатика, инновации – 2020. Сб. трудов X-ой Нац. науч.-техн. конф. с межд. уч. В 3 т. Т 1. – 2020. – 426 с. С. 326 – 329.
4. Dli, M.; Puchkov, A.; Meshalkin, V.; Abdeev, I.; Saitov, R.; Abdeev, R. Energy and Resource Efficiency in Apatite-Nepheline Ore Waste Processing Using the Digital Twin Approach. Energies 2020, 13, 5829.
5. Meshalkin V. P., Puchkov A. Yu., Dli M. I., Lobaneva Y. I. Deep Neural Networks Application in Models with Complex Technological Objects // Cyber-Physical Systems: Advances in Design & Modelling. Studies in Systems, Decision and Control. 2019. Volume 259. P. 347. pp. 291 – 300.

*Н.С. Ковалев, студ.; Е.И. Лобанева, асс.*

*(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## АНАЛИЗ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ ПОЛИФОРМАТНЫХ И РАЗНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ<sup>1</sup>

На данный момент, развитие вопросов обработки данных, в частности – при работе с обучающими образцами нейронных сетей, а также при исследовании и адаптации существующих структур больших данных, немаловажное место занимают вопросы первичной подготовки и обработки данных [1]. Данные вопросы прежде всего связаны с работой на уровне разнотипных или полиформатных данных. Такие данные в первом случае представляют собой организованные и точно отформатированные данные. Помимо прочего, такой формат данных возможно представить на уровне табличного формата в качественном измерении, например, при подготовке данных в виде кортежа Python, их первичный формат может представлять вид csv файла, изображённого на рисунке 1.

```
"age";"job";"marital";"education";"default";"balance";"housing";"loan";"contact";"day";"month";"duration";
30;"unemployed";"married";"primary";"no";1787;"no";"no";"cellular";19;"oct";79;1;-1;0;"unknown";"no"
33;"services";"married";"secondary";"no";4789;"yes";"yes";"cellular";11;"may";220;1;339;4;"failure";"no"
35;"management";"single";"tertiary";"no";1350;"yes";"no";"cellular";16;"apr";185;1;330;1;"failure";"no"
30;"management";"married";"tertiary";"no";1476;"yes";"yes";"unknown";3;"jun";199;4;-1;0;"unknown";"no"
59;"blue-collar";"married";"secondary";"no";0;"yes";"no";"unknown";5;"may";226;1;-1;0;"unknown";"no"
35;"management";"single";"tertiary";"no";747;"no";"no";"cellular";23;"feb";141;2;176;3;"failure";"no"
36;"self-employed";"married";"tertiary";"no";307;"yes";"no";"cellular";14;"may";341;1;330;2;"other";"no"
39;"technician";"married";"secondary";"no";147;"yes";"no";"cellular";6;"may";151;2;-1;0;"unknown";"no"
41;"entrepreneur";"married";"tertiary";"no";221;"yes";"no";"unknown";14;"may";57;2;-1;0;"unknown";"no"
43;"services";"married";"primary";"no";-88;"yes";"yes";"cellular";17;"apr";313;1;147;2;"failure";"no"
39;"services";"married";"secondary";"no";9374;"yes";"no";"unknown";20;"may";273;1;-1;0;"unknown";"no"
43;"admin."; "married";"secondary";"no";264;"yes";"no";"cellular";17;"apr";113;2;-1;0;"unknown";"no"
36;"technician";"married";"tertiary";"no";1109;"no";"no";"cellular";13;"aug";328;2;-1;0;"unknown";"no"
20;"student";"single";"secondary";"no";502;"no";"no";"cellular";30;"apr";261;1;-1;0;"unknown";"yes"
31;"blue-collar";"married";"secondary";"no";360;"yes";"yes";"cellular";29;"jan";89;1;241;1;"failure";"no"
40;"management";"married";"tertiary";"no";194;"no";"yes";"cellular";29;"aug";189;2;-1;0;"unknown";"no"
56;"technician";"married";"secondary";"no";4073;"no";"no";"cellular";27;"aug";239;5;-1;0;"unknown";"no"
37;"admin."; "single";"tertiary";"no";2317;"yes";"no";"cellular";20;"apr";114;1;152;2;"failure";"no"
25;"blue-collar";"single";"primary";"no";-221;"yes";"no";"unknown";23;"may";250;1;-1;0;"unknown";"no"
```

Рисунок 1 - Пример структурированных данных в csv формате

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-37-90062 Аспиранты



Формат полиформатных данных может представлять собой неопределенный структуры файл в разнообразном представлении. В связи с этим, остро стоит проблема недостаточности методов и инструментария для их обработки. Для их обработки прежде всего, целесообразно выбирать нереляционные базы данных, например – NoSQL [2]. Примерами таких данных выступают аудио-потoki, графические объекты и т.д. Обращаясь к различиям таких данных, можно сказать, что их можно сгруппировать по множеству признаков, отражённых в таблице 1. Данные признаки обособлены не только использованием разностороннего программного обеспечения, но и различных форматов файла, например, в структурированных данных используется формат comma-separated value (csv) или xml. Сферы применения структурированных и разноструктурированных данных также варьируются от привычной классификации вплоть до интеллектуальной обработки данных.

Таблица 1 – Группы различий полиформатных и разноструктурированных данных

| Признак                         | Полиформатные данные                                 | Разноструктурированные данные   |
|---------------------------------|--|---|
| Форматы                         | Несколько форматов, например csv, xml                | Разнообразные форматы   |
| Модель данных                   | Согласно методологии данных                          | Не имеет четкого представления  |
| Хранилища                       | Хранилище данных (data warehouse)                    | Озера данных (data lakes)   |
| Поддерживаемые базы данных      | Реляционные базы данных (SQL)                        | Нереляционные базы данных (NoSQL)   |
| Характеристика измерения данных | Количественная                                       | Качественная  |
| Применимость                    | - регрессия;<br>- классификация;<br>- кластеризация; | - укладка данных (data stacking);<br>- интеллектуальный анализ;   |
| Инструментарий обработки        | - СУБД;<br>- CRM;<br>- OLAP;<br>- OLTP;              | - СУБД NoSQL;<br>- Инструментарий отладки Artificial Intelligence;<br>- Инструментарий визуализации данных; |

Как можно увидеть из таблицы 1, существенные отличия позволяют сделать вывод, что привычная обработка данных нескольких типов не поддерживается привычным инструментарием для анализа и обработки данных. Вместе с этим, на текущий момент представляется возможным обработка данных при помощи хранилища данных (data warehouse – DW), где данные хранятся в запросах состояния формы [3]. Данное хранилище данных, является реляционной БД, позволяющей агрегировать и обрабатывать при помощи запросов большой массив данных. Среди основных отличий выделяется как возможность нормализации данных с использованием маловесных таблиц с запросами, так и преимущество



анализа истории обработки данных для проведения аналитики и составления отчётов (рисунок 2).

Обработка таких данных осуществляется за счёт основных компонентов, представляемых как:

- хранилище данных – представляется базой данных в облачном или локальном представлении, выбор которого обособлен рентабельностью установки;

- метаданные, представляемые набор данных для обозначения соответствующего массива;

- инструментарий доступа, выражаемый средствами доступа и интеграции с DW-хранилищем;

- инструментарий управления, осуществляющий управления системными и административными процессами.

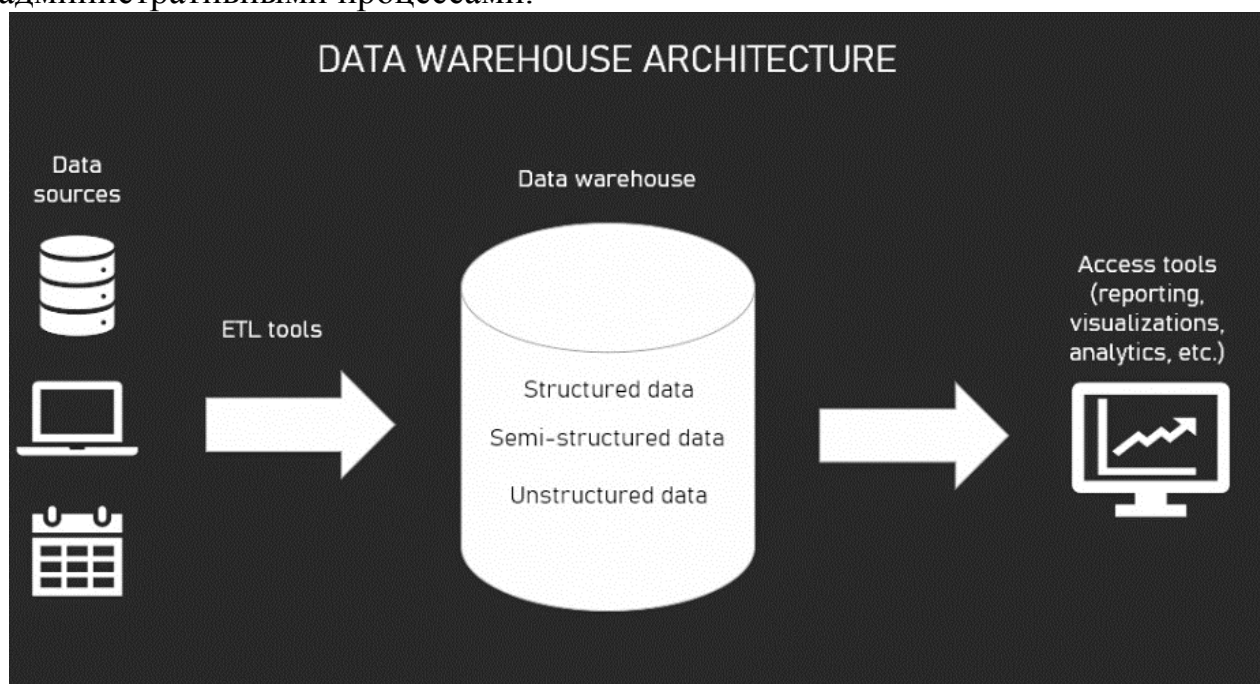


Рисунок 2 - Обработка данных в Data warehouse

Другой примечательной технологией является озеро данных (Data lake), работа которого заключается в хранении данных в необработанном (неструктурированном) представлении. Данный подход примечателен использованием ETL хранилища, которое выполняет загрузку данных без предварительной нормализации (рисунок 3). Сравнивая ETL и ELT подходы, можно сказать, что подход Data Lake позволяет обрабатывать значительно большее количество данных за идентичный промежуток времени. Помимо прочего, данный подход удобен при подготовке данных для разностороннего использования, так как процесс последующей обработки позволяет изменять данные согласно требуемой методологии.

Таким образом, можно сделать вывод, что хранилище данных DW позволяет осуществлять первичную обработку как полиформатных, так и разнотипных данных, в то время, как технология Data lake позволяет

напрямую осуществлять подготовку данных для последующей обработки в сфере анализа или интеллектуальной обработки данных.

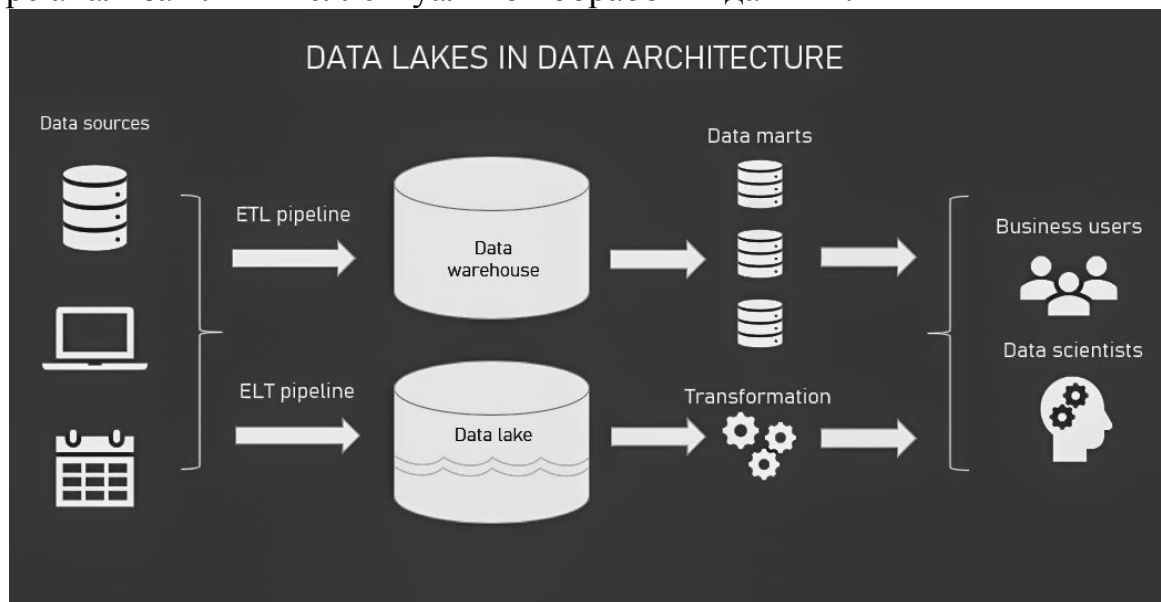


Рисунок 3 - Обработка данных согласно методологии Data Lakes

#### Литература

1. A. Tyutyunnik and A. Lazarev, «Intelligent System for Preventing Rubber Ducky Attacks Using Deep Learning Neural Networks,» 2021 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 2021, pp. 497-502, doi: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537497.
2. Meier A., Kaufmann M. SQL & NoSQL Databases: Models, Languages, Consistency Options and Architectures for Big Data Management. 1st изд. Heidelberg, Germany: Springer Vieweg, 2019.
3. How M. The Modern Data Warehouse in Azure: Building with Speed and Agility on Microsoft's Cloud Platform. 1st изд. New York: Apress, 2020.

*Е.И. Лобанева, асп., А.Ю. Пучков, доц.*

*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РЕДУКЦИЯ ОБУЧАЮЩИХ НАБОРОВ ДАННЫХ ДЛЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-37-90062 Аспиранты

Разработка и создание систем поддержки принятия решений, рекомендательных систем в различных прикладных областях сталкивается с необходимостью обработки больших потоков информации, относящихся к одному тому же событию, явлению, процессу или объекту, но имеющей разный формат представления данных, отражающих его разные модальности. «Генераторами» такой информации могут быть первичные преобразователи, устанавливаемые на технологических агрегатах и выдающие данные в виде электрических сигналов; видеокамеры, нацеленные на различные зоны контролируемых периметров и улавливающие электромагнитное излучение оптического, ультрафиолетового и инфракрасного диапазонов; материалы текстовых документов; устройства восприятия акустических колебаний и другие.

Сохранение этих данных на протяженных временных интервалах приводит к формированию больших массивов информации, обработка которых требует применения стека технологий Big Data, реализующего весь набор задач анализа данных: описательную (дескриптивную) аналитику, диагностическую, предиктивную (прогнозную, предсказательную) и предписывающую аналитику. Популярным представителем стека Big Data сейчас являются методы машинного обучения (Machine Learning, ML), среди которых глубокие нейронные сети (ГНС) находят наиболее широкое применение. Они не требуют предварительного указания набора признаков, которых будут учитываться при анализе данных (что характерно для классических методов статистики), а сами выявляют скрытые паттерны в многомерных данных. На основе этих выявленных признаков решаются указанные задачи анализа данных, в том числе задачи кластеризации, классификации состояний [1].

Для успешного применения ML данные должны быть нормированы и сгруппированы в многомерные тензоры из которых одна и та же информация может извлекаться фрагментами, форма которых определяется видом дальнейшей обработки – это могут быть как многомерные ряды при обработке рекуррентными нейронными сетями, так и последовательности тензоров меньших размеров при использовании сверточных нейронных сетей. Использование всей поступающей информации от объекта исследования или контроля может приводить к необходимости применения сложных (глубоких) моделей ML, что, в свою очередь, влечет значительные затраты на разработку их архитектуры, обучение, тестирование и развертывание. Особенно эти затраты становятся критичными при ограниченности ресурсов, что характерно при развертывании моделей ML на встроенных устройствах: ПЛИС, графических процессорах, платформах Xilinx Zynq™, NVIDIA® Jetson, ARM® и других. Актуальными в этой связи являются задачи разработки и совершенствования методов уменьшения размерности исходных данных и задачи снижения требуемого для обучения количества примеров при заданном наборе параметров. Решение таких задач совместно с применением прунинга нейронных сетей (метода «сжатия» сети за счет устранения части параметров в предобученной модели) даст возможность снижения ресурсоемкости реализации моделей ML.

Авторами предложен метод редукции обучающих наборов данных, позволяющий на основе распознавания иерархических структур данные разных форматов (полиформатных данных) уменьшать объем обучающей выборки, допускающее допустимое снижение точности обучения ГНС, решающей задачу классификации.

Постановка задачи исследования состояла в следующем. Пусть в момент времени  $t_j$ ,  $j=1,2, \dots, m$ , где  $m$  – количество дискретных отсчетов времени, для обработки доступен набор параметров и характеристик  $P_j$  какого либо объекта, полученных от различных устройств и источников. Параметры могут представлять собой полиформатные данные (временные ряды, изображения, аудиосигналы и др.), поэтому  $P_j$  представляет собой не числовой вектор, а структуру, элементы которой имеют разный тип и размерность. Рассматривая все моменты

времени  $t_j$ , получаем набор структур  $S = \{S_{i,j}\} = \{P_j\}_i$ , где  $i=1, 2, \dots, n$ ;  $n$  – количество параметров. Ставилась задача разработки метода, позволяющего снизить количество элементов в  $S$  и сохранением или незначительном уменьшении точности обучения ГНС, решающей задачу классификации.

Представляемый метод содержит три этапа предварительного анализа  $S$ :

– приведение данных в  $S$  к одной форме представления и их нормирование, в результате чего образуется матрица  $D$ ;

– выявление в данных взаимосвязей и оценка важности отдельных параметров с целью их дальнейшего исключения из обучающей выборки, в результате чего образуется редуцированная матрица  $DR$ ;

– выявление в  $DR$  иерархических структур и формирование на этой основе суждений о количестве кластеров данных, что может быть использовано при обучении ГНС для формирования ее выходов.

Целью первого этапа метода является получение числовой матрицы  $D$  из гетерогенного представления данных  $S$ . Для этого могут использоваться различные методы сжатия данных и преобразований, при которых каждому элементу одного множества соответствует один элемент другого множества и при этом определено обратное отображение, которое обладает тем же свойством. Под множеством в рассматриваемом контексте понимается значение параметра из  $S$ , которое может задаваться несколькими атрибутами. Например, если это изображение, то при использовании формата RGB это будет трехмерный тензор с формой  $k_x \times k_y \times 3$ , где  $k_x$  – количество пикселей изображения по горизонтали,  $k_y$  – количество пикселей изображения по вертикали при трех цветовых каналах. Выполняя классификацию изображений по  $K$  классам в моменты времени  $t_j$ , получаем последовательность чисел  $c_j$ , характеризующих принадлежность к тому или иному классу контролируемого объекта, ассоциированного с изображением размера  $k_x \times k_y \times 3$ . Здесь предполагается, что метазадача, для решения которой используется набор данных  $S$ , также является задачей классификации (или кластеризации в более общем случае). Для данных, представленных не в форме изображений, можно воспользоваться методами их представления в форме сигнатур [2].

На втором этапе в  $D$  методами корреляционного анализа выявляются статистически взаимосвязанные параметры, из которых в дальнейшем оставляется один для дальнейшего анализа. Для оставшихся параметров с помощью алгоритма ML «случайный лес» оценивается важность переменных для решения метазадачи классификации [3]. Для сравнения временных рядов разной длины можно использовать DTW (dynamic time warping) – алгоритм динамической трансформации временной шкалы.

На заключительном этапе рассматриваемого метода для выявления структуры данных применяется метод иерархической кластеризации, направленный на создание дерева вложенных кластеров. Ее применение целесообразно, когда предполагается, что анализируемые данные характеризуется определённой степенью связности. Учитывая, что в редуцированной матрице  $DR$  параметры характеризуют объект исследования и на их основе проводится классификация

его состояния, то ожидается, что указанное предположение будет выполняться. Выявление и использование иерархической структурированности отображаемой информации можно проводить и для изображений [4]. Различают агломеративные и дивизионные методы иерархической кластеризации. В данном случае применяются агломеративные методы, в которых новые кластеры создаются путем объединения более мелких кластеров.

Математическое доказательство корректности предложенного метода редукции обучающих наборов данных не проводилось, так как такие доказательства чаще всего не применяют при анализе работоспособности моделей ML ввиду их сверхбольшой размерности, а ограничиваются инженерными способами проверки предлагаемых архитектур ML и решений по их оптимизации [5]. Поэтому этот метод был опробован на модельном эксперименте в программной среде MatLAB 2021a. Для анализа был сгенерирован набор стандартизированных данных D размера 30 строк  $\times$  15 параметров. При его формировании имитировалась различная корреляция между параметрами, что отражено на рис. 1,а, на котором интенсивность цвета линии говорит об уровне статистической взаимосвязи. В результате корреляционного анализа можно сделать вывод, что далее целесообразно использовать параметры под номерами 1, 3, 4, 9, 10, 15, так как остальные имеют сильную корреляционную связь с параметром 4. Для построения рис. 1,а использовалась функция `schemaball`, не входящая в состав библиотек MatLAB, ее можно скачать в открытом доступе по адресу: <https://github.com/GuntherStruyf/matlab-tools/blob/master/schemaball.m>

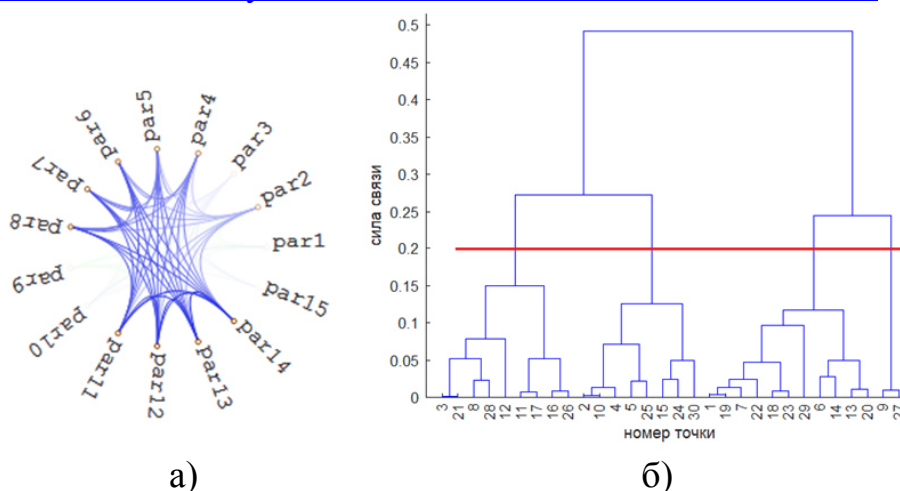


Рисунок 1 – Отображение корреляционной связи параметров и результатов иерархической кластеризации

Следующим этапом была оценка количества кластеров, с помощью которых может быть описано состояние исследуемого объекта. Оценка проводилась на основе иерархической кластеризации, результаты которой показаны на рис.1,б. Из него видно, наибольшее значения метрики различия имеют до четырех кластеров включительно (красная линия пересекает четыре вертикальные), далее эти метрики уменьшаются, что может свидетельствовать о нецелесообразности более глубокого дробления на кластеры на основе имеющихся данных.

Результаты иерархической кластеризации используются для оценки важности параметров. С этой целью предложено применение алгоритма «случайный лес», хорошо работающего для решения задач отбора признаков – его результаты показаны на рис.2, из которых следует, что параметры с номерами 4 и 9 имеет смысл исключить из набора данных, который будет использоваться при обучении ГНС.

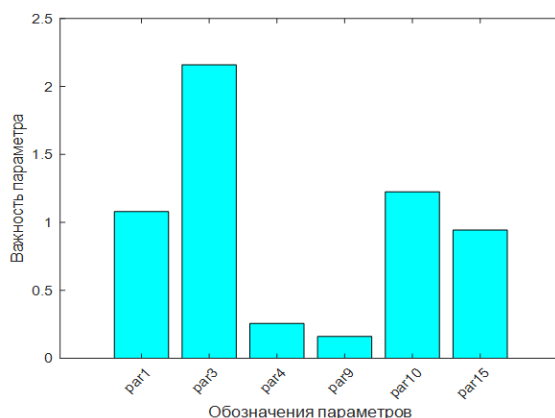


Рисунок 2 – Оценка важности параметров

Архитектура применяемой для решения задачи многоклассовой (в данном случае было выбрано четыре класса) многозначной классификации ГНС отражена на рис. 3.

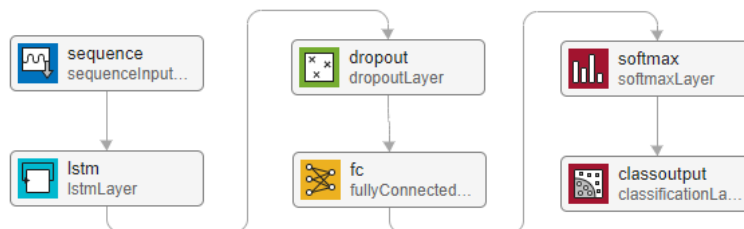


Рисунок 3 – Архитектура ГНС

Для апробации предложенного метода архитектура ГНС адаптировалась под размер входных данных без дополнительной редукции параметров (обозначим эту сеть ГНС1) и с редукцией (ГНС2). Была смоделирована обучающая выборка из матриц  $D$ , каждая размером  $15 \times 30$  и общим количеством 2000. Из них 500 матриц было отдано под тестирующую выборку. Этот же набор матриц  $D$  был использован для формирования матриц  $DR$  меньшей размерности  $4 \times 30$ . Обучение сетей проводилось в течении 100 эпох в результате которого точность классификации с помощью ГНС1 на тестовом наборе составила 98,65, а на ГНС2 – 96.7. Однако ГНС1 для ее достижения обрабатывала массив из  $15 \times 30 \times 1500 = 675000$  элементов, а ГНС2 из  $4 \times 30 \times 1500 = 180000$  элементов, затратив при этом почти в три раза меньше времени.

Полученные результаты могут свидетельствовать о целесообразности применения предложенного метода редукции обучающей выборки для снижения потребностей в затратах вычислительных и временных ресурсов если вопрос

о надежности ГНС не является определяющим фактором для области ее применения.

#### Литература

1. Иванова И.А., Пучков А.Ю. Метод оценки состояния электроэнергетического оборудования на основе глубоких нейронных сетей // Энергетика, информатика, инновации – 2020 (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве). Сб. трудов X-ой Нац. науч.-техн. конф. с межд. уч. В 3 т. 2020. Т 1. С. 394 – 398.
2. Дли М. И., Лобанева Е. И., Пучков А.Ю. Алгоритмы формирования изображений состояний объектов для их анализа глубокими нейронными сетями // Прикладная информатика. 2019. Т. 14. №2 (80). С. 43 – 55. DOI: 10.24411/1993-8314-2019-10004
3. Мешалкин В. П., Дли М. И., Пучков А. Ю., Лобанева Е. И. Предварительная оценка прагматической ценности информации в задаче классификации на основе глубоких нейронных сетей // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 3. С. 9–20. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-3-9-20
4. Денисова А. Ю., Сергеев В. В. Алгоритмы построения гистограмм многоканальных изображений с использованием иерархических структур данных // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40 (4). С. 535–542. DOI: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2016-40-4-535-542>
5. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python – SPb.: Peter, 2018.– 400 с.

*Е.А. Михайлов студ.; О.В. Булыгина, к.э.н., доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Российская электроэнергетическая система отличается крайне сложной структурой и обладает стратегической значимостью для экономики и национальной безопасности страны. В то же время она наиболее подвержена различным видам угроз информационной безопасности, на которые требуется превентивная и реактивная реакция с помощью различных инструментов.

Главными задачами информационной безопасности в области электроэнергетики являются:

- защита объектов производства, передачи и распределения электроэнергии;
- защита конфиденциальной информации (в том числе персональных данных);
- предотвращение утечек информации;
- соответствие требованиям, установленным регуляторами;
- защита элементов Единой информационной модели (ЕИМ, Common Information Model).

ЕИМ – это информационная среда, позволяющая интегрировать разнородные автоматизированные системы, унифицируя способ управления объектами электроэнергетики. «Циркулирующие» в этой цифровой среде массивы данных, сведения об объектах и являются элементами, подлежащими защите с точки зрения информационной безопасности.

В соответствии с положениями «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» [1], одним из ключевых направлений развития электроэнергетики является создание и ввод в эксплуатацию интеллектуальных сетей (Smart

Grid).

Интеллектуальная сеть – это ряд программно-аппаратных средств и управляющих систем, которые подключаются к источникам генерации и электроустановкам для более качественной и надежной передачи электроэнергии. Изначально данный термин подразумевал использование специальных контроллеров. Однако впоследствии речь уже шла о микропроцессорных счетчиках электрической энергии, которые могли автоматически накапливать, обрабатывать и анализировать данные и передавать их.

Сейчас Smart Grid – это специализированные системы сбора и обработки данных, а также мониторинга электрооборудования [2]. Интеллектуальные сети предоставляют информацию и инструменты, необходимые для принятия решений об использовании электроэнергии. Пользователь самостоятельно управляет требуемым ему объемом электроэнергии. Таким образом, Smart Grid обеспечивает крайне высокий уровень участия потребителей.

Smart Grid поддерживает не только электроснабжение, но и потоки оперативной информации. Интеллектуальная сеть позволяет операторам быстро обнаруживать проблемы с генерацией, передачей и распределением электроэнергии, изолировать проблемные зоны и предотвращать отключения. Основными характеристиками интеллектуальной сети являются:

- возможность к самовосстановлению – сеть может обнаруживать, анализировать и реагировать на проблемы;
- поддержка клиентского оборудования;
- устойчивость к физическому вмешательству и атакам в области кибербезопасности;
- обеспечение потребителей высококачественной электроэнергией;
- поддержка различных технологий производства электроэнергии.

Примером широко используемой интеллектуальной системы в России выступает автоматизированная система управления наружным освещением «Гелиос», позволяющая организовать дистанционное управление освещением в населенных пунктах, на территориях предприятий и др. [3]. Система реализована в таких городах, как Белгород, Тамбов, Кинешма.

Ввиду комплексности архитектуры интеллектуальных сетей довольно сложно разработать надежные механизмы безопасности, которые можно легко развернуть для защиты коммуникаций между их различными уровнями. Высокий уровень интегрированности может иметь также и отрицательные последствия, так как система состоит из взаимосвязанных элементов, нарушение одного из которых может повлечь проблемы с функциональностью системы в целом.

Поэтому важным остается вопрос о защите от угроз, уязвимостей и рисков как информационной безопасности, так и кибербезопасности. Одним из методов противодействия таким угрозам является применение интеллектуальных технологий IDS (Системы обнаружения сетевых вторжений) и IPS (Системы предотвращения сетевых вторжений).

Система предотвращения вторжений (IPS) – это специализированная си-



стема, которая функционирует для обнаружения и предотвращения выявленных угроз. Они постоянно отслеживают сеть, выискивая возможные вредоносные элементы и собирая информацию о них. IPS сообщают об этих событиях системным администраторам и принимают превентивные меры, такие как закрытие точек доступа и настройка брандмауэров для предотвращения будущих атак. Решения IPS также могут использоваться для выявления проблем с корпоративными политиками безопасности, предупреждая нарушение правил политик сотрудниками организаций, работающих в сети.

Решения IPS встречаются в системах обнаружения вторжений (IDS). Основное различие между этими системами заключается в действиях, которые они предпринимают при обнаружении потенциального инцидента. Системы предотвращения вторжений (IPS) контролируют доступ к сети и защищают ее от атак. Эти системы предназначены для мониторинга данных о вторжениях и принятия необходимых мер для предотвращения развития атаки. Системы обнаружения вторжений (IDS) не предназначены для блокирования атак и будут просто отслеживать сеть и отправлять предупреждения системным администраторам в случае обнаружения потенциальной угрозы.

Системы обнаружения вторжений (IDS) имеют некоторую классификацию по принципу действия. Существует всего 3 вида:

- **Сигнатурные.** Их функционирование схоже с антивирусным ПО. Такие системы анализируют сигнатуры, сопоставляя их с уже известными в базе, которая постоянно обновляется. Проблема такого принципа заключается в том, что, в случае отказа базы сигнатур, сеть становится уязвимой, т.к. IDS не может распознавать сигнатуры. Похожий случай будет и при атаке с неизвестной сигнатурой.

- **IDS по аномалиям.** Они имеют больший охват, чем у сигнатурных. Здесь используется машинное обучение, т.е. использование алгоритмов, способных обучаться (подраздел искусственного интеллекта). Система анализирует функционирование сети, сравнивая ее состояние с тем, которое она получила при обучении. Аномалии, в свою очередь, подразделяются на три вида – статистические, протоколов и трафика. Так, по аномалиям трафика система может выявить любую небезопасную деятельность в сети, например, DoS- или DDoS-атака. Однако первый вариант может быть распознан даже обычным файерволом, в то время как второй может быть как обнаружен, так и предотвращен системой IPS [4].

- **IDS, основанные на правилах.** Они имеют схожесть с экспертными системами, основанными на базе знаний и механизмах логического вывода. Правила таких систем реализуют принцип: если «обстоятельства», то «принимаемое решение».

В статье были рассмотрены варианты по обеспечению информационной безопасности на базе интеллектуальных средств и технологий. Одной из наиболее развитых технологий является Интеллектуальная сеть (Smart Grid), представляющая собой новую ступень в развитии электроэнергетики. Однако вопрос обеспечения информационной безопасности все еще актуален, что свя-

зано с высокой интегрированностью систем в электросетях. Наиболее оптимальными вариантами являются системы обнаружения и предотвращения вторжений, которые без непосредственного участия пользователя могут бороться с небезопасной активностью в сетях.

#### Литература

1 Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [Электронный ресурс] // minenergo.gov.ru. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/15357>

2 Пашенко И.Н., Васильев В.И. Разработка требований к системе защиты информации в интеллектуальной сети Smart Grid на основе стандартов ISO/IEC 27001 и 27005 [Электронный ресурс] // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. №12 (14). С. 117-126.

3 АСУНО ГЕЛИОС [Электронный ресурс] // helios.su. URL: <https://helios.su/asuno-helios/>

4 Системы обнаружения и предотвращения вторжений [Электронный ресурс] // selectel.ru. URL: <https://selectel.ru/blog/ips-and-ids/>

*П.А. Перепечкин, А.А. Тютюнник, к.э.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### СХЕМА ИНТЕГРАЦИИ МОДЕЛЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Технология WPS была подана на патент 21 мая 2013 года. Согласно официальной документации, на рисунке 1 представлена схема отправки и получения запросов от клиента и сервера. Так, в начале подаётся запрос на первичное соединение «Beacon», далее происходит получение общей информации об устройстве и точке доступа. На следующем этапе выполняется алгоритм EAPOL: в EAP запросах M1 – M8 передаются зашифрованные ключи, состоящие из 8 символов. В случае удачного совпадения ключей в запросах устройство передаёт зашифрованные ключи, которые в дальнейшем расшифровываются на устройстве-клиенте. В случае ошибки на запросе M8 – выполняется отказ сопряжения устройств.

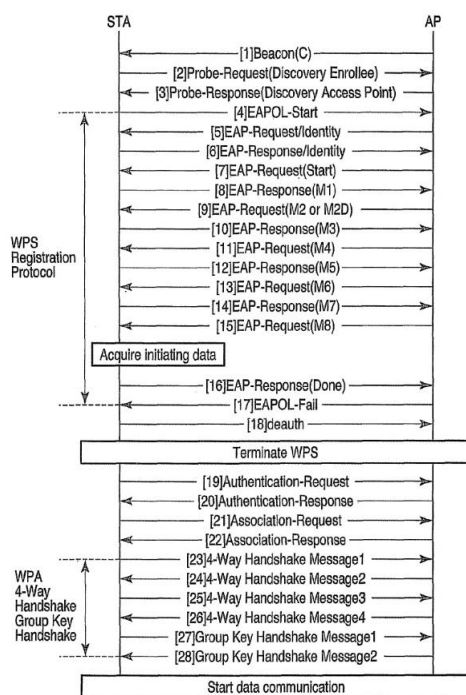


Рисунок 1 – Схема работы технологии WPS

На рисунке 2 изображена диаграмма, объясняющая общий принцип работы технологии WPS в соответствии с патентом. На рисунке представлена схема беспроводной локальной сети, она включает в себя базовую станцию беспроводной локальной сети (точку доступа) №2 и множество терминалов беспроводной локальной сети (станции). Станции осуществляют взаимодействие с беспроводной точкой доступа на частотном диапазоне 20 МГц или 40 МГц. На рисунке представлена конфигурация точки доступа №2 и беспроводной станции №3, так как данные устройства имеют схожую конфигурацию программной и аппаратной части.

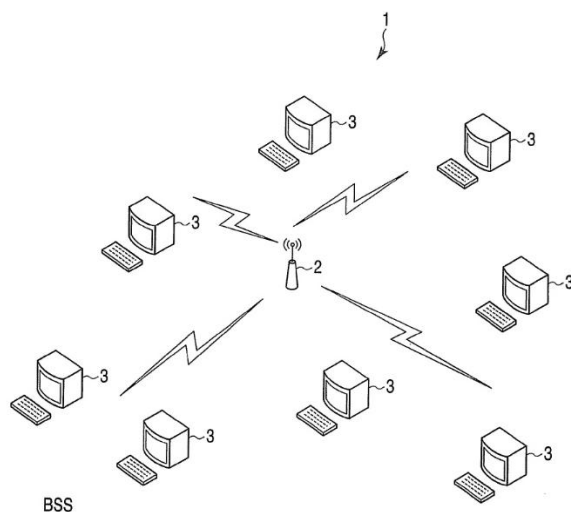


Рисунок 2 – Принцип работы технологии WPS в беспроводной сети

Как показано на рисунке 2 точка доступа №2 включает в себя baseband (baseband – сеть с немодулированной передачей). №10, радиочастотный (RF блок) №20, антенну №30, запоминающее устройство №40, и хост-компьютер №50. Радиочастотный блок №20 может принимать и передавать высокочастотные сигналы, кроме того, радиочастотный блок №20 усиливает аналоговые данные - сигнал, которые он передает и получает. Радиочастотный блок №20 передает и принимает данные через антенну №30. Блок №20 формируется на радиочастотном чипе. Baseband блок №10 включает в себя физический блок №11, контроллер среднего доступа (MAC) блок №12, центральный процессор (CPU) №13, контроллер памяти №14, запоминающее устройство №15, и соединительный блок №16. Физическая единица №11 обрабатывает физические слои - данные о миссии и данные о приеме. Точнее, при получении кадр из радиочастотного блока №20, физический блок №11 выполняет преобразование A/D принятого сигнала (т.е. аналогового сигнала) из радиочастотного блока №20, генерируя цифровой сигнал. Затем блок №11 демодулирует цифровой сигнал. То есть, физическая единица №11 выполняет, например, ортогональную частоту. Полученный результат выводится на MAC-модуль №12. С другой стороны, для передачи кадра, физический блок №11 получает кадр из MAC блока №12. Физический блок №11 затем выполняет избыточное кодирование и OFDM моду-

ляцию на полученном фрейме. Далее, физический блок №11 выполняет преобразование ЦАП на фрейме, генерируя аналоговый сигнал №5. Аналоговый сигнал выходит, как сигнал передачи, на RF блок №20. Радиочастотный блок №20 подает сигнал передачи (т.е., на антенну №30). Антенна №30 передает фрейм на станции №3. Блок MAC №12 обрабатывает MAC-слои передаваемых данных о сессии и данные о приеме. Если быть более точным, то получая фрейм, MAC блок №12 получает фрейм из физического блока №11 и снимает заголовок (header) MAC с приемного фрейма, генерирующая пакет (packet - структурированные данные, подлежащие обработки персональными компьютерами и т.д.).

Контроллер памяти №14 управляет доступом к запоминающему устройству №30. Устройство хранения данных №15 представляет собой полупроводниковую память, например, SRAM. Устройство №15 может хранить передаваемые данные и данные передачи.

Соединительный блок №16 настроен на достижение соединения №35 между baseband №10 и хост-компьютером №50. Блок №16 управляет обменом данными и управлением сигналами между низкочастотным излучателем №10 и хост-компьютером №50.

Запоминающее устройство №40 представляет собой полупроводниковую память, такую как синхронный DRAM (SDRAM). Устройство №40 может сохранять полученные данные. Запоминающее устройство №40 может, конечно, быть таким устройством, как жесткий диск.

В хост-компьютере PC №50 имеется соединительный блок №51. Блок №51 соединяет главный ПК №50 с блоком №16 из baseband блока №10. Другими словами, блок №51 управляет №45 данными и управляющими сигналами между baseband блока №10 и хост-компьютера №50. Хост PC №50 генерирует данные о сессии, которые должны передаваться на станцию №3 (рисунок 1). Передаваемые данные поступают через соединение устройства №16 и контроллер памяти №14 к запоминающим устройствам №15 и №50. Далее, хост-компьютер №50 считывает данные о приеме с запоминающих устройств.

Запоминающие устройства №15 и №40 синхронизируются, соответственно, через контроллер памяти №14 и блок соединения №16, и процессы, использующие данные. Важно обратить внимание, что данные для передачи и приема №55 могут быть расшифрованы и зашифрованы, соответственно, хост-компьютером №50 вместо процессора №13.

На рисунке 3 представлена схема блок-схема взаимодействия станции №3 (рисунок 1) по протоколу WPS. Рассмотрим более подробно данную схему: станция №3 начинает выполнять WPS (шаг S10). Сначала станция ищет точку доступа, поддерживающую WPS (шаг S11). При нахождении точки доступа 2 (если ДА в шаге S12), то станция начинает выполнять протокол регистрации WPS (шаг S13), точнее, станция передает EAPOL (EAP по локальной сети) – начальный запрос, EAP в свою очередь выполняет идентификацию, чтобы отклонить или принять запрос на доступ точки доступа, в соответствии со стандартами WPS. Затем станция обменивается определенными WPS-сообщениями M1 - M6 с точкой доступа с помощью EAP-запроса (шаг S14). После получения

сообщения M6 на станции №3 сохраняется значение данных об аутентификации - запросе и ассоциации в EAP-ответе, который является сообщением M7. Затем выполняется передача сообщения M7 в точку доступа (шаг S15).

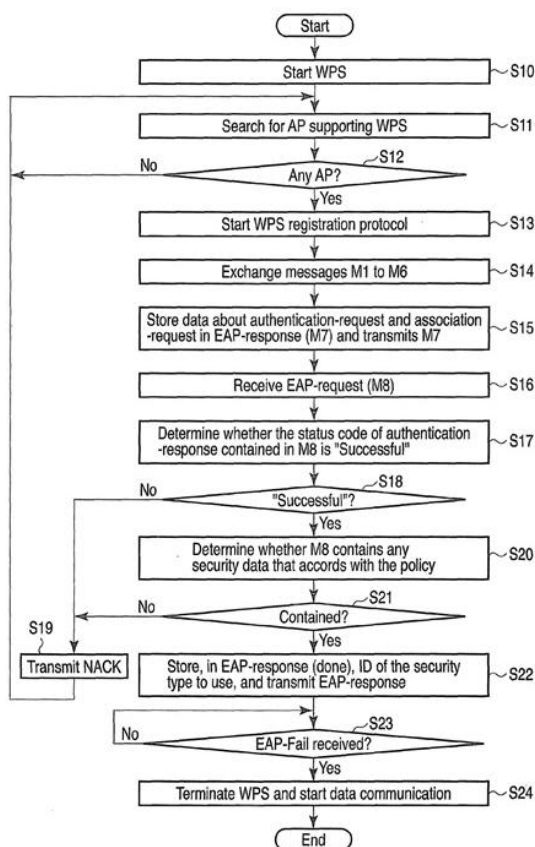


Рисунок 3 - Блок-схема взаимодействия станции №3 по протоколу WPS

Вначале происходит обычный поиск точки доступа с поддержкой протокола WPS. После того, как сеть найдена выполняется отправка запросов M1 – M6 по привычному алгоритму. На следующем шаге уже выполняется обработка EAP-запроса M8 – если он успешно обработан выполняется дальнейшая обработка. В случае, если во время передачи запроса происходит ошибка в политике безопасности – алгоритм начинает работу с точки поиска новых сетей.

Альтернативный вариант работы алгоритма на данной точке – происходит отправка дополнительного запроса M9 на целевое устройство, и в случае, если полученный ответ корректен – выполняется сохранение данных сессии WPS.

На этапе остановки работы модуля можно сказать, что соединение между устройствами успешно установлено. В момент обработки запроса M9 на устройстве-клиенте и на устройстве-сервере срабатывает дополнительная функция, интегрированная в драйвер.

Так, при условии использования модификации драйвера только на одной стороне, например – клиенте, сервер отправит запрос на идентификацию ключа M9, на что клиент ответит отрицательным ответом. В случае с использованием модификации драйвера только на устройстве-клиенте – клиентская часть будет

ожидать от сервера поступление запроса M9, и по истечению таймаута синхронизация с точкой доступа будет отклонена.

Применение такого подхода позволит ограничить работу точки доступа и устройства-клиента, т.е. организует связь типа «свой-чужой». С другой стороны – интегрирование дополнительного ключа M9 позволит обезопасить протокол WPS от попыток несанкционированного доступа с использованием утилит для вычисления Pin-кода, так как, например, утилита wifite с использованием модификации стороннего обеспечения опирается на ПО rixiewps, которое в свою очередь также применяет алгоритм подбора (перехвата) 8-значного ключа.

Таким образом, можно сказать, что модификация EAPOL запроса позволит определять дружественные элементы только в случае, если на другом устройстве также стоит модификация драйвера, способного этот запрос обработать. Также предполагается повышение количество запросов до 9, так как M9 позволит избежать попытки несанкционированного доступа в связи с тем, что количество запросов, выполняемых различным программным обеспечением для вычисления WPS ключа, ограничивается восемью запросами.

*П.А. Перепечкин, А.А. Тютюнник, к.э.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ КЛИЕНТОВ НА БАЗЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ**

Общий алгоритм аутентификации клиентов в процессе реализации был составлен на несколько модулей, выполняемых на клиент-серверной стороне устройств. Как представлено на рисунке 1, алгоритм аутентификации клиентов выполняется по следующей структуре:

- выполняется первичная регистрация клиентской составляющей посредством передачи уникального отпечатка на сервер;
- на следующем модуле система при запросе генерирует уникальную последовательности на основе целевой функции;
- модуль на стороне клиента также выполняет генерацию уникальной последовательности по формуле, аналогичной на сервере;
- при вводе последовательности на устройстве-сервере выполняется сравнение введённого отпечатка и соответствующего отпечатка из формулы. В случае, если отпечатки совпадают, выполняет вход в систему. В противном случае выполняется отказ и запись в соответствующей счётчик попыток авторизации в системе – по истечению n-го количества попыток выполняется блокировка учётной записи, и дальнейшая разблокировка представляется возможной только при вводе пароля администратора.

Основная формула, приведённая в методе TOTP на основе входных факторов, была изменена согласно представлению входного слоя нейронной сети. Основные изменения формулы касаются зависимых статических параметров операционной системы – в данном случае характерными параметрами, присутствующими для Microsoft Windows в качестве серверной составляющей и клиентской

составляющей, базирующейся на OS Android, IOS. Как видно на иллюстрации формулы 1, статичными параметрами в данном случае являются смещения энергонезависимой памяти – параметр смещения процессора (CPU IMPLEMENT), наименование вендора процессора (SCSI PRODUCT), идентификатор вендора процессора (SCSI PHUSICAL ID).

Для повышения безопасности статичные параметры системы были преобразованы в единую строку символов, представляемую крипто-защищённой последовательностью. В качестве основного метода криптографического шифрования использовался крипто-защищённый метод без возможности обратной расшифровки – в данном случае шифрование массива статичных параметров основывается на функции склейки массива в единую последовательность, которая является ключевым параметром, генерируемым в QR-коде при первичной регистрации клиентской составляющей.

$$AUTH_{KEY}(STATIC\_ID) = \frac{MD5 \left[ STATIC\_ID \begin{pmatrix} SCSI_{PRODUCT} \\ SCSI_{PHYSICAL\_ID} \\ CPU_{IMPLEMENT} \end{pmatrix} \right]}{\left[ \frac{T_1 - T_0}{T} \right]} * TIME_{ID}, \quad (1)$$

где  $AUTH_{KEY}$  – целевая функция генерации динамической последовательности;

$STATIC\_ID$  – совокупность статических показателей системы;

$SCSI_{PRODUCT}$  – наименование вендора процессора;

$SCSI_{PHYSICAL\_ID}$  – уникальный идентификатор процессора;

$CPU_{IMPLEMENT}$  – смещение процессора;

$MD5$  – функция генерации криптографической последовательности;

$T_1$  – текущее значение времени;

$T_0$  – точка начала отсчёта времени по UTC;

$TIME$  – интервал действительности функции  $AUTH_{KEY}$ .

Первичный этап регистрации клиента осуществляется на основе генерации QR-кода уникального ключа, включающего последовательность, генерируемую на основе формулы 1.

QR-код представляет собой двухмерный бар-код (оптическую метку), вмещающий в себя 10 битов на 3 цифры, то есть 7089 цифр. QR-кодом поддерживаются алфавитно-цифровые данные, включая спецсимволы – так, основное преимущества передачи последовательности посредством QR технологии позволяет эффективно распределять время и ресурсы при многократном процессе идентификации личности.

В рамках тестирования процесс генерации была осуществлена тестовая генерация последовательности, представленная на рисунке ниже (рисунок 1).

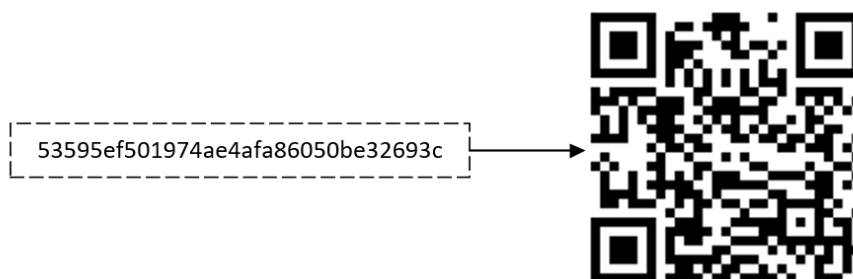


Рисунок 1 – Генерация QR-кода первичной последовательности активации клиента

Интеграция нейронной сети, представляемая многослойным персептроном, осуществляет работу на основе алгоритма обратного распространения ошибки – алгоритм уменьшения ошибки работы нейронной сети основан на методе вычисления градиента при обновлении весов в нейронной сети. Выделяемый принцип работы заключается в распространении ошибки, получаем на выходе нейронной сети к её входу, то есть в обратном направлении. В качестве основной функции, используемой в качестве активации, предполагается возможным использовать формулы функций 2 – 4.

Функция Ферми, основанная на экспоненциальной сигмоиде:

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-2as}}, \quad (2)$$

где:  $f$  – целевая функция;

$s$  – выход суммы нейрона;  $a$  – константа.

- Функция рациональной сегмоиды:

$$f(s) = \frac{s}{|s| + a}, \quad (3)$$

где:  $s$  – выход суммы нейрона;

$a$  – константа, равная 0.

Функция гиперболического тангенса:

$$f(s) = th \frac{s}{a} = \frac{e^{\frac{s}{a}} - e^{-\frac{s}{a}}}{e^{\frac{s}{a}} + e^{-\frac{s}{a}}}, \quad (4)$$

где:  $s$  – выход суммы нейрона;

$a$  – константа, равная 0.

В качестве основного алгоритма, используется стохастический реверсивный градиентный спуск – размер каждого веса определяется после каждой обучающей выборки, соответственно каждая последующая выборка будет иметь наименьшую степень ошибки.

Сенсорными слоями многослойного персептрона в данном случае выступают статические (наименование вендора и его смещение) и динамические параметры (параметр времени), в результате которых посредством нейронной сети на реагирующем слое представляется уникальная последовательность (рисунок 2).



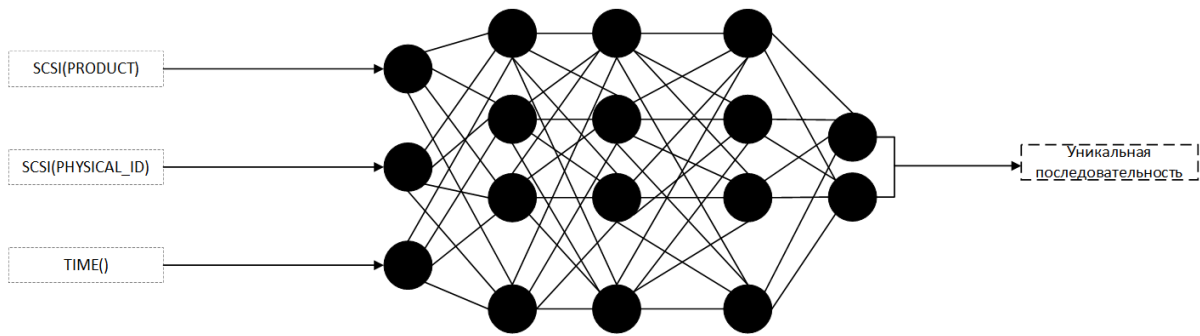


Рисунок 2 - Входные и выходные параметры нейронной сети

Программная реализация нейронной сети осуществлялась на базе применения логической экспоненциальной сигмоиды (формула 2). Далее были определены параметры скорости обучения, размерности скрытого слоя и количества эпох. Значение параметра эпох было принято значение 10, так как начальная генерация последовательностей не осуществлялась.

В качестве весов использовалась матрица, представляемая одномерным массивом значений параметров  $SCSI_{PRODUCT}$ ,  $SCSI_{PHYSICAL\_ID}$ ,  $CPU_{IMPLEMENT}$ . Обучаемыми данными нейронной сети являлись последовательности различных вендоров аппаратных составляющих клиентских устройств. Для работы с эпохами использовались выхоленные циклы `for` – так нейронная сеть может последовательно проходить по каждому узлу. Второй вложенный цикл `for` используется для определения выходного значения целевой выборки. Последний цикл используется для работы с скрытыми узлами – выполняется генерация сигнала преактивации и функции активации для формирования постактивации. Далее выполняется расчёт целевой ошибки – целевое значение вычитается из сигнала постактивации. Для функции обратной ошибки используется цикл `for` в обратном направлении – выполняется перемещение от скрытого узла к выходному узлу, а затем к входному узлу и скрытому слою. В заключительном этапе выполняется сравнение посредством условного оператора для вычисления изменений в ошибке.

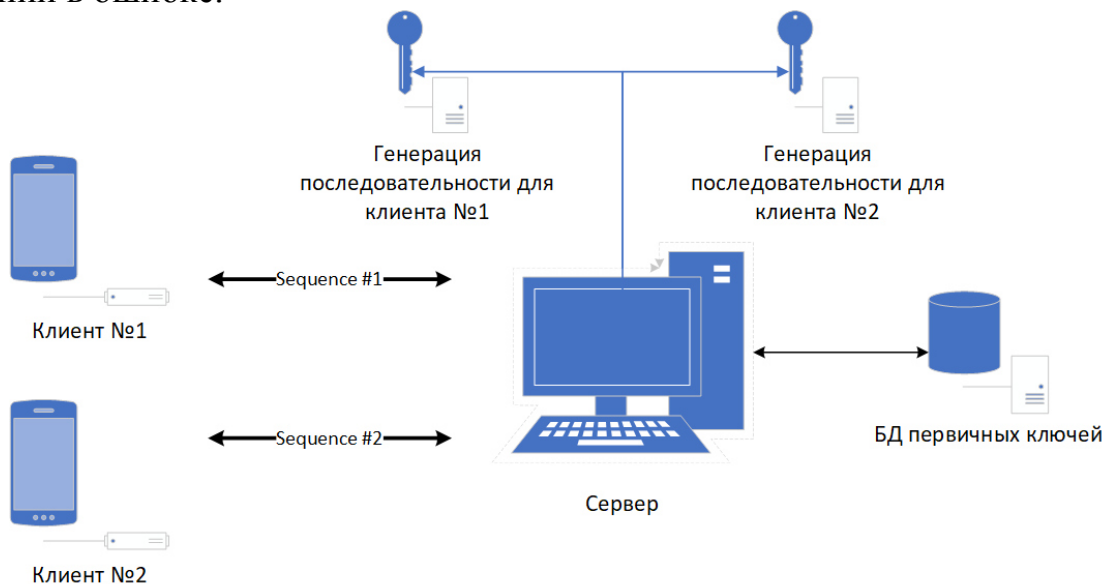


Рисунок 3 - Общий алгоритм работы нейронной сети

Алгоритмическая составляющая процесса для синхронизации выходных данных нейросети была разделена на два параллельных процесса, при этом на стороне клиента выполняется единичный процесс нейронной сети, а на сервере процесс распараллеливается в зависимости от количества авторизованных клиентских устройств – так, в случае наличия двух авторизованных устройств процессов генерации последовательности для аутентификации будет 2 (рисунок 3).

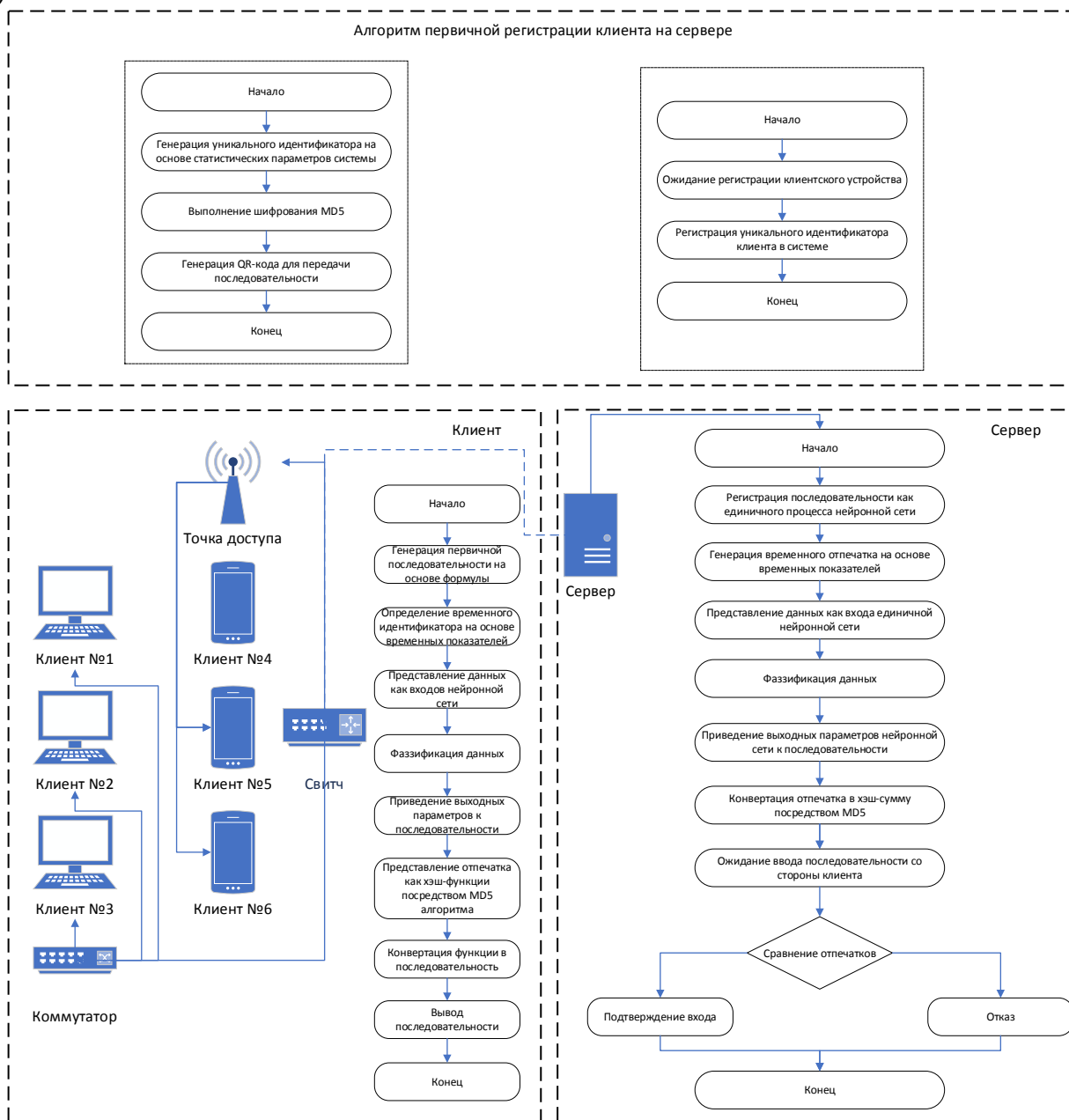


Рисунок 4 - Алгоритм аутентификации клиентов на основе нейронных сетей глубокого обучения

В результате работы нейронной сети выходным параметром является последовательность, используемая для авторизации на устройстве. Для удобства вариативные значения параметров преобразовываются в 8-значную последовательность, предназначенную для ввода на серверной составляющей. Процесс

последовательности основан на конвертации символьной строки выхода нейронной сети в уникальный отпечаток наборов символов от 0 до 9. Результат работы представлен алгоритмом на рисунке 4.

Таким образом, на этапе пост-реализации алгоритма была осуществлена конвертация приложения в формат универсальной платформы Windows (UWP) для удобства инсталляции и оптимизации интерфейса взаимодействия с пользователем. Процесс обеспечения безопасности был осуществлён посредством запаковки исполняемых файлов при помощи программного решения от PreEmptive.

*А.Ю. Пучков, к.т.н. доц., М.А. Василькова, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ДАННЫХ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЧАСТНОГО СЕКТОРА**

Исследование выполнено в рамках государственного задания № FSWF-2020-0019

Проблема хищения электроэнергии в частном жилом секторе остро стоит перед сетевыми компаниями России, приводит к значительному снижению их прибыли, а также требует увеличения затрат на проведение всевозможных проверок и судебных разбирательств. Например, только по Ленинградской области в 2020 году выявлено 3320 случаев хищения и взыскано 292,3 млн. руб. с нарушителей. В масштабах всей страны эта сумма исчисляется миллиардами. Следовательно, применяемые методы борьбы с хищениями электроэнергии – организационные и технические (например, установка вольтамперфазометров), не решают проблему.

Однако вступление с 01.07.2020 года ФЗ № 522-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с развитием систем учета электрической энергии (мощности) в Российской Федерации» закрепляет задачу планомерный переход к новым, интеллектуальным электросчетчикам. Такой прибор отправляет данные об потреблении электрической энергии автоматически и позволяет снижать подачу электроэнергии при хронических неплатежах. Это в значительной степени позволит автоматизировать выявление и устранение хищений, однако полностью не исключает возможности незаконной врезки в сети до места подключения прибора учета – такое часто встречается в частном секторе, в удаленных поселениях, труднодоступных районах. В тоже время автоматизированная передача данных интеллектуальными приборами может осуществляться не раз в месяц, а в режиме реального времени [1]. Это приведет к накоплению больших объемов информации, глубокий анализ которой методами Big Data позволит выявлять скрытые паттерны в поступающих показаниях и на основе их выявлять скрытое хищение электроэнергии. Эти обстоятельства делают актуальными исследования в области разработки алгоритмического и программного обеспечения для информационных систем сетевых компаний, отвечающего за автоматизированное выявление хищений электроэнергии.

Авторами предложен метод выявления хищений электроэнергии потребителями на основе обнаружения аномалий в данных, формируемых на основе показаний, передаваемых интеллектуальными электросчетчиками.

В общем случае аномалии представляют собой фрагменты в наборе данных, которые в некотором роде необычны и не соответствуют общим шаблонам. Понятие аномалии обычно плохо определяется и воспринимается как расплывчатое и зависящее от предметной области. Предполагается, что аномалии бывают как редкими, так и различными и относятся к широкому кругу явлений, включая статические сущности и события, связанные со временем, единичные (атомарные) случаи и сгруппированные (агрегированные) случаи, а также желаемые и нежелательные наблюдения [2].

Хотя аномалии может вызывать фактор шума, затрудняющий анализ данных, они могут составлять и реальные (фактические) сигналы, которые нужно искать. Нахождение их часто является трудной задачей из-за многочисленных форм и размеров аномалий. Обнаружение аномалий (Anomaly detection, AD) определяют как процесс анализа данных для выявления в них фрагментов, параметры которых имеют значительные отклонения от характерных значений.

Несмотря на обширные исследования и ценный прогресс, область обнаружения аномалий еще не может претендовать на зрелость. Ему не хватает общей, интегративной основы для понимания природы и различных проявлений его фокальной концепции, аномалии. Общие определения аномалии часто называют «расплывчатыми» и зависят от области применения. Хотя литература по интеллектуальному анализу данных, искусственному интеллекту и статистике действительно предлагает различные способы дифференциации видов аномалий, до нет всеобъемлющей и конкретной классификации. Существующие обсуждения классов аномалий имеют тенденцию быть либо актуальными только для конкретных ситуаций, либо настолько абстрактными, что они не обеспечивают осязаемого понимания аномалий и не облегчают оценку алгоритмов AD.

В данном исследовании была принята классификация аномалий в данных, предложенная в [2] и выделяющая три широкие группы типов аномалий:

- атомарные одномерные аномалии – являются единичными случаями с отклоняющимся значением для одного или, возможно, нескольких отдельных атрибутов данных;

- атомарные многомерные аномалии – единичные случаи, девиантный характер которых заключается в их отношениях, при этом отдельные параметры не являются аномальными;

- совокупные аномалии – случаи, при которых отклоняются характеристики целой группы данных, из которых отдельные составляющие могут и не являться аномальными по отдельности. Из-за их сложной и запутанной природы эти аномалии, как правило, труднее всего описать и обнаружить.

Исследование предметной области – учета потребления электроэнергии, показало, что для ее хищения потребители наиболее часто прибегают к следующим способам: вмешательство в работу прибора учета потребления (установка неодимовых магнитов, «жучков»); несанкционированное подключение; нару-

шение схемы подключения прибора учета потребителя («перевернутая» фаза, использованию различных схем обхода электросчетчиков). С целью сокрытия кражи энергии потребители не полностью обнуляют показания счетчиков, а придерживаются правила – передавать ежемесячно объемы потребления, в среднем, похожие на правду или немного меньше, чтобы не вызывать подозрений у сетевой компании. В тоже время, при установке магнита или включении схемы обхода счетчик показывает ноль, поэтому, если показания будут идти в реальном времени, в эти временные промежутки будет фиксироваться нулевое потребление. Частоту подключения магнита и схем обхода потребитель может менять, но все равно в данных будет присутствовать такая «нулевая» аномалия. Конечно, такая ситуация может наблюдаться и тогда, когда проживающие в доме уезжают вместе в отпуск или по другим делам. Но в этом случае часто присутствует небольшое потребление электричества, например, на холодильное оборудование, дежурное освещение или подпитку аккумуляторов сигнализации.

Выявлять фрагменты с нулевым потреблением электроэнергии вручную при большом объеме данных практически невозможно. Кроме того, само по себе нулевое потребление не является однозначным признаком хищения, а требует более глубокого анализа с применением математических преобразований и методов машинного обучения, позволяющих выявлять скрытые паттерны в данных, на основе которых возможно проведение конечной фиксации факта возможного хищения электроэнергии.

Для анализа данных о показаниях приборов учета были использованы вейвлет-преобразование и глубокие нейронные сети. Этот выбор был сделан на основании изучения различных источников, которое выявило, что вейвлеты находят широкое применение в электроэнергетике для решения задач нахождения скрытых аномалий при проведении диагностики и ремонта оборудования [3]. В результате вейвлет-преобразования формируется это двумерное представление одномерных данных, называемое скалограммой. По оси абсцисс откладывается время, по оси ординат – результат вейвлет-преобразования, соответствующее значению амплитуды анализируемого сигнала в соответствующий момент времени. При таком отображении возможно получение дополнительной информации о динамических свойствах сигнала, а используя различия в скалограммах – выявлять аномалии в показаниях приборов учета электроэнергии.

Другой применяемый методологический аппарат – глубокие нейронные сети также хорошо зарекомендовали себя при оценке состояния электроэнергетического оборудования и технологических процессов [4,5]. В предлагаемом методе применялась такая разновидность глубоких нейронных сетей, как сверточные нейронные сети (СНС), которые осуществляли классификацию потребителей на основе распознавания изображений скалограмм.

Предлагаемый метод содержит несколько этапов обработки показаний приборов учета электроэнергии:

1. Подключение к базе данных и считывание показаний приборов учета электроэнергии за время наблюдения  $T_{obs}$ , а также их преобразование в матрицу чисел  $X[n,m]$ , количество строк которой  $n$  равно количеству потребителей

энергии на анализируемой территории,  $m$  – количество показаний на периоде времени  $T_{obs}$ . Отметим, что при использовании в изображении цветовой модели RGB, содержащей три канала (красный, зеленый и синий цвета), матрица  $X[n,m]$  будет представлять собой тензор  $X[n,m,3]$ .

2. Задание количества временных интервалов  $K$  на которые разбивается весь период наблюдения и вычисление длины временного фрагмента  $\Delta T = T_{obs}/K$ , одинакового для всех промежутков временного интервала  $T_{obs}$ .

3. Выполнение вейвлет-преобразования фрагментов временных рядов для каждого  $\Delta T_k$ ,  $k=1, 2, \dots, K$  и построение соответствующих этим фрагментам изображений скалограмм  $S_i$ ,  $i=1,2,\dots, n$ .

4. Для каждого потребителя на каждом интервале  $\Delta T_k$  вычисляется усредненная скалограмма (без учета скалограммы самого потребителя):

$$S_{a i,k} = [\text{sum}(S_{j,k}) / (n - 1) \mid j = 1..n, j \neq i], k=1, 2, \dots, K.$$

В результате образуется тензор  $S_{a i} = [S_{a i,1}; S_{a i,2}; \dots; S_{a i,k}; \dots; S_{a i,K}]$  размера  $n_T \times m_T \times K$ , где  $n_T \times m_T$  – размеры скалограммы для временного фрагмента  $\Delta T$ .

5. Вычисляется тензор разностных изображений для  $i$ -го потребителя и для каждого временного фрагмента  $\Delta T_k$ :

$$S_{dif i} = [S_{i,1} - S_{a i,1}; S_{i,2} - S_{a i,2}; \dots; S_{i,K} - S_{a i,K}].$$

6. Изображения  $S_{dif i,k}$  поступают на вход СНС, которая работает в режиме однозначной многоклассовой классификации.

Было предложено использовать три класса для обучения СНС: «хороший», «плохой» и «средний», что отражает характеристику потребителя с точки зрения возможных хищений электроэнергии. Если СНС выдала результат «хороший» потребитель, это значит, что она не обнаружила признаков хищения, «плохой» – сеть считает, что хищения есть, «средний» – для СНС не хватает данных выявления фактов хищения или отрицанию их.

Практическое применение рассматриваемого метода на начальном этапе эксплуатации реализующего его программного обеспечения может столкнуться с проблемой отсутствия достаточного объема обучающей выборки – изображений скалограмм, соответствующих выбранным классам. По мере накопления прецедентов эта проблема будет решена, а на начальном этапе можно реализовать сопоставление изображений более простыми методами, например, рассчитывая дивергенцию Кульбака-Лейблера.

Модельные эксперименты для апробации предложенного метода обнаружения аномалий в данных энергопотребления частного сектора проводились в программной среде MatLAB 2021a, лицензию на которую в 2020 году приобрел МЭИ. Выбор этой среды обусловлен наличием в ней мощных библиотек для разработки сетей глубокого обучения (Deep Learning Toolbox) и вейвлет-преобразования (WaveletToolbox). Был использован аналитический вейвлет Морзе, который хорошо зарекомендовал себя при анализе сигналов с локализованными разрывами и изменяющейся во времени амплитудой и частотой. Для распознавания изображений применялась СНС Darknet-53, входящая в библиотеку Deep Learning Toolbox. В процессе эксперимента была проведена имитация показаний приборов учета электроэнергии, в том числе смо-

делированы аномалии в них – добавлены фрагменты с нулевым потреблением, характерные при включении схем обхода счетчиков. С целью упрощения эксперимента было принято  $K=1$ ,  $T_{\text{obs}}=\Delta T=90$  дней,  $m=1080$  отсчетов (предполагалось, что показания снимаются каждые полчаса).

Рассчитанная по результатам модельного эксперимента матрица ошибок имеет диагональный вид, что свидетельствует о том, что СНС распределила потребителей по обозначенным выше классам правильно. Это, в свою очередь, может свидетельствовать о работоспособности предложенного метода выявления хищений электроэнергии, но для его более полной апробации требуется проведение натурального эксперимента.

Предложенный метод обнаружения аномалий в данных энергопотребления частного сектора может найти применение в алгоритмическом обеспечении информационных систем различных энергосбытовых организаций. Также, после адаптации под конкретную предметную область, он может быть использован в рекомендательных системах для ранней профилактики сбоев, аварий и негативных изменений в контролируемых объектах, например, при диагностике оборудования, распознавании угроз информационной безопасности и других.

Литература

1. O'Regan, B.; Silva, F.; O'Leidhin, E.; Tahir, F.; Mould, K.; Hayes, B.; Hosseinnezhad, V.; Chitchyan, R.; Lyons, P. P2P, CSC and TE: A Survey on Hardware, Software and Data. *Energies* 2021, 14, 3851. <https://doi.org/10.3390/en14133851>
2. Foorthis, R. On the nature and types of anomalies: a review of deviations in data. *Int J Data Sci Anal* (2021). <https://doi.org/10.1007/s41060-021-00265-1>
3. Осипов Д. С. Модели и методы вейвлет анализа несинусоидальных нестационарных режимов электрических сетей 0,4–110 кв.: дис. ... докт. техн. наук. Омск, 2018. 305 с.
4. Иванова И.А., Пучков А.Ю. Метод оценки состояния электроэнергетического оборудования на основе глубоких нейронных сетей // *Энергетика, информатика, инновации – 2020* (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве). Сб. трудов X-ой Нац. науч.-техн. конф. с межд. уч. В 3 т. 2020. Т 1. С. 394 – 398.
5. Meshalkin, V.P., Dli, M.I., Puchkov, A.Y. et al. Software for Efficient Chemical Technologies for Processing of Apatite–Nepheline Ore Waste. *Dokl Chem* 496, 42–47 (2021). <https://doi.org/10.1134/S0012500821020014>

*М.В. Беляков, д.т.н., доц.;*

*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **СПЕКТРАЛЬНЫЙ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА**

Трансформаторное масло используется для заполнения силовых агрегатов, трансформаторов, реакторов и масляных выключателей. Это минеральное вещество является электрическим изолятором, защищает узлы от перегрева и воздействия воды. От его качества напрямую зависит срок эксплуатации оборудования, износостойкость и ресурс техники. Однако нефтепродукты в процессе использования теряют первоначальные физические и химические свойства, перестают соответствовать ГОСТу. Анализ трансформаторного масла позволяет определить его качество, вовремя обнаружить существенные откло-

нения от нормативов и принять решение о необходимости обслуживания маслонаполненных установок.

В первую очередь анализируются физические свойства жидкости: плотность, удельный вес, температура вспышки и кислотное число. Для трансформаторного масла устанавливаются следующие нормы по этим показателям:

- плотность – не более  $870 \text{ кг/м}^3$  при нормальных условиях;
- показатель удельного веса – зависит от технологического цикла (нагрева или охлаждения), но не должен превышать  $0,91 \text{ кг/м}^3$ , в противном случае свободная циркуляция жидкости будет затруднена;
- температура вспышки – не более  $+135^\circ\text{C}$  во избежание самопроизвольного возгорания нефтепродукта;
- кислотное число – допустимое значение зависит от марки вещества, варьируется в пределах от 0,01 до 0,05 мг КОН на каждый грамм проверяемой среды. При изменении этого показателя разрушается обмотка электрооборудования.

В результате старения трансформаторного масла его диэлектрическая проницаемость меняется, что ведет к ухудшению эксплуатационных свойств. Поэтому необходимо анализировать следующие показатели электрических свойств вещества:

- изоляционные данные;
- диэлектрическая прочность;
- пробивное напряжение;
- содержание механических примесей воды.

Периодичность проведения анализа представлена в таблице.

Таблица – Периодичность проведения измерений параметров трансформаторного масла

| Тип агрегата                 | Период контроля |
|------------------------------|-----------------|
| Трансформаторы 110 кВ и выше | Раз в полгода   |
| Герметичные вводы 110-220 кВ | Каждые 4 года   |
| Герметичные вводы 330-750 кВ | Каждые 2 года   |

Для мониторинга состояния масла применяется хроматографический анализ [1]. Он позволяет отслеживать динамику процессов износа в агрегатах; прогнозировать появление дефектов, выявляя проблему на начальном этапе; оценивать степень повреждения; определять место повреждения для выполнения ремонтных работ. Недостатками метода являются: необходимость лаборатории с дорогостоящим оборудованием и реактивами, необходимость отбора проб, сравнительно большое время анализа.

Возможной альтернативой может являться разработка фотолюминесцентного метода непрерывной экспресс-диагностики и портативного прибора на



его основе. Такой прибор может проводить диагностику в реальном времени, выдавать результаты удалённому оператору и предоставлять информацию для оперативного принятия решения при резком изменении свойств масла, например, при попадании загрязнения.

Процесс разработки такого метода состоит в исследовании оптических спектральных люминесцентных свойств трансформаторного масла различного качества, в том числе для жидкости, только что поступившей с завода-изготовителя; перед началом ее использования; после его очистки и восстановления перед вторичной заливкой; непосредственно во время ее применения.

Исследование оптических свойств включает измерение спектров возбуждения (поглощения) при синхронном сканировании, затем на его основе – спектров фотолюминесценции  $\varphi_{л}(\lambda)$ . После этого измеряются уточненные спектры возбуждения  $\eta_{э}(\lambda)$ . Измерения проводятся на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» («Люмэкс», г. Санкт-Петербург) в спектральном диапазоне 180...700 нм. Спектрофлуориметр включает в себя оптическую схему с источником излучения – импульсной ксеноновой лампой и приемником излучения – фотоэлектронным умножителем. Лампа работает в режиме коротких (1,5 мкс) импульсов с частотой повторения 25Гц. Для выделения необходимого спектрального диапазона применяется монохроматор с вогнутой дифракционной решеткой, работающей в первом порядке дифракции. Прибор снабжен системой кварцевых волоконно-оптических световодов для измерения вне кюветного отделения (рис. 1).

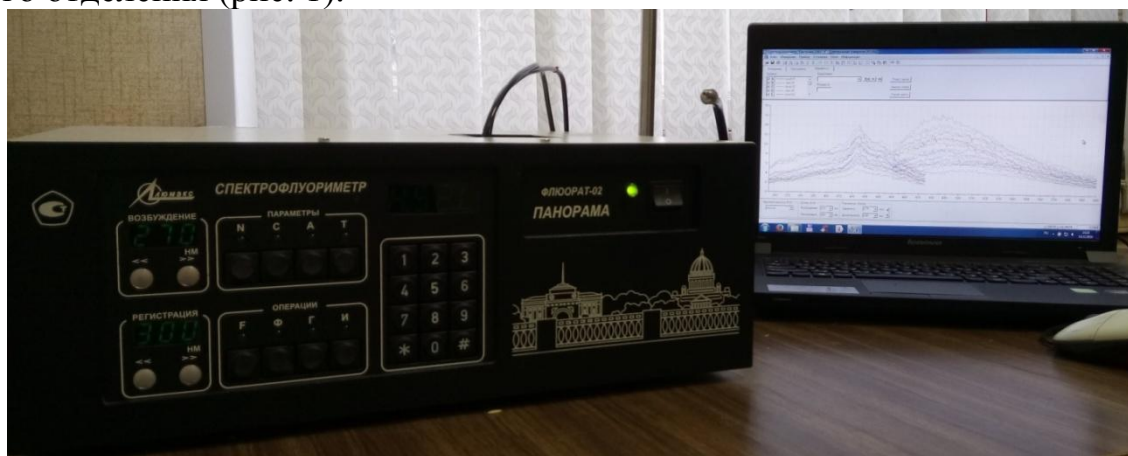


Рисунок 1 - Внешний вид спектрофлуориметра

По результатам экспериментов необходимо получить зависимости параметров спектров от параметров качества масла. Параметрами спектров возбуждения и люминесценции являются: поток  $\Phi$ , длины волн максимумов возбуждения и люминесценции  $\lambda_{\text{макс}}$ , стоксов сдвиг  $\Delta\lambda$ , математическое ожидание  $M$ , статистические моменты третьего и четвертого порядка  $\mu_3$  и  $\mu_4$ , асимметрия  $A_s$ , эксцесс  $E_\lambda$ , энергия спектра и др.

На основании зависимостей параметров спектров от параметров масла получают обратную зависимость параметров масла  $P$  от параметров спектров, например потока  $\Phi$  и данные уравнения являются градуировочными (априорной информацией) для разрабатываемых приборов экспресс-контроля. Структурная

схема технологического процесса экспресс-диагностики трансформаторного масла представлена на рис. 2.

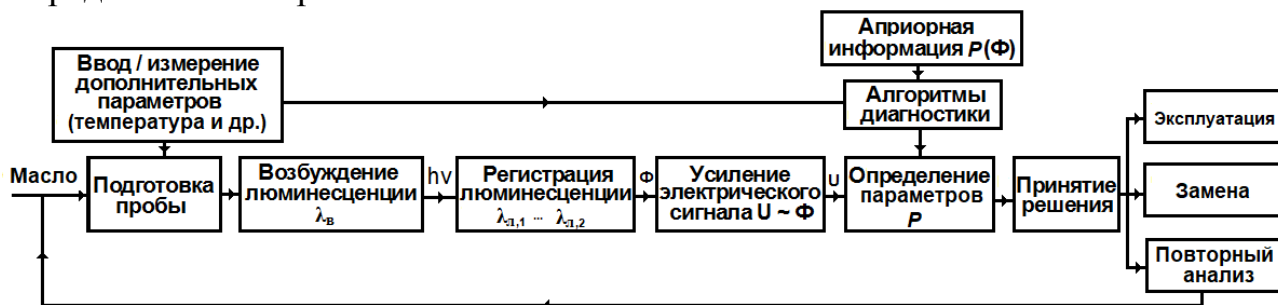


Рисунок 2 – Структурная схема технологического процесса экспресс-диагностики трансформаторного масла

1. В процессе пробоподготовки происходит либо пробоотбор масла, либо при непрерывном контроле источник возбуждающего излучения (например, светодиод) вводится в трансформатор.

2. Параллельно с этим этапом измеряются или вводятся дополнительные параметры (например, температура), необходимые для установления соответствующего алгоритма диагностики.

3. Производится возбуждение фотолюминесценции масла излучением узкого спектрального диапазона с максимумом  $\lambda_{\text{макс}}$  в течение 20 мкс.

4. Регистрируется сигнал пропорциональный потоку фотолюминесценции  $\Phi$  в спектральном диапазоне  $\lambda_{\text{л},1} \dots \lambda_{\text{л},2}$ . Процесс происходит 2-3 секунды с усреднением результата.

5. Полученный фотосигнал (фотонапряжение  $U$ , фототок  $I$ ), пропорциональный потоку  $\Phi$  усиливается усилителем.

6. Усиленный фотосигнал поступает в микропроцессор, где обрабатывается в с учётом имеющейся в его памяти априорной информацией – характеристикой  $P(\Phi)$  выбранной по алгоритму диагностики для конкретных типов масла.

7. По результатам определения параметров принимается решение о дальнейших действиях: продолжение эксплуатации, замена, либо, при необходимости, повторный контроль.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания*

*№ FSWF-2020-0019 «Методы, модели и технологии искусственного интеллекта для комплексного управления процессами энергообеспечения и энергобезопасности в кибер-физических объектах и системах в условиях электромагнитных воздействий атмосферного электричества и молнии»*

#### Литература

1. Хроматографический анализ трансформаторного масла. Научно-производственная фирма «Мета-хром» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.meta-chrom.ru/company/articles/hromatograficheskiy-analiz-transformatornogo-masla/>. Дата обращения: 24.09.2021.

*В.И. Бобков, д.т.н., доцент  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)  
Ю.Н. Снытко  
(ФГУП «СПО «Аналитприбор», г. Смоленск)*

## **АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ИНФРАКРАСНОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА УСТОЙЧИВОГО К КАЧКЕ**

Целью работы является исследование алгоритма работы газоанализатора обеспечивающего устойчивость к воздействию качки и наклонам при эксплуатации на морских судах [1].

Зависимость показания инфракрасного (далее-ИК) газоанализатора от наклонов (качки) связана с перераспределением профиля температуры на поверхности излучающего элемента ИК-излучателя.

Для обеспечения устойчивости к наклонам (качке) используются метод модуляции пробы в рабочей камере [2]. Предлагаемый метод модуляции основан на периодическом изменении плотности оптической среды в рабочей камере газоанализатора, вызывающем модуляцию массовой концентрации измеряемого компонента, которую фиксирует приемник оптического излучения как переменный сигнал с частотой изменения давления в рабочей камере.

Величина изменения концентрации измеряемого компонента (глубина модуляции) прямо пропорциональна величине изменения давления и вычисляется по формуле:

$$\Delta C = C_{\text{атм}} \cdot \Delta P / P_{\text{атм}},$$

где,  $P_{\text{атм}}$  – текущее атмосферное давление, кПа;

$\Delta P$  – величина изменения давления при модуляции, кПа;

$C_{\text{атм}}$  – значение концентрации определяемого компонента при атмосферном давлении, указанное в паспорте на ГСО-ПГС, мг/м<sup>3</sup>;

$\Delta C$  – величина изменения концентрации определяемого компонента при изменении давления  $\Delta P$  в рабочей камере, мг/м<sup>3</sup>.

Принцип работы газоанализатора, использующего метод модуляции плотности оптической среды, поясняет функциональная схема [3], приведенная на рисунке 1.

Газоанализатор является трехблочным изделием. Одноименные блоки являются взаимозаменяемыми.

Основой аналитического блока (БА) является рабочая камера, с одной стороны которой установлен ИК-излучатель (И, рисунок 1), с другой три пироприемника (ПП1 - ПП3, рисунок 1). Перед пироприемниками установлены интерференционные фильтры пропускающих излучение по линиям поглощения веществ, измеряемых газоанализатором. Усилители У1, У2, У3 предназначены для усиления сигналов от пироприемников. Датчик температуры (ДТ) предназначен для температурной компенсации. Питания излучателя осуществляется низковольтным питанием, формируемом стабилизатором напряжения DC/DC (ПН1).

Алгоритм работы программного обеспечения приведен на рисунке 2, циклограмма работы электромагнитных клапанов приведена на рисунке 3.

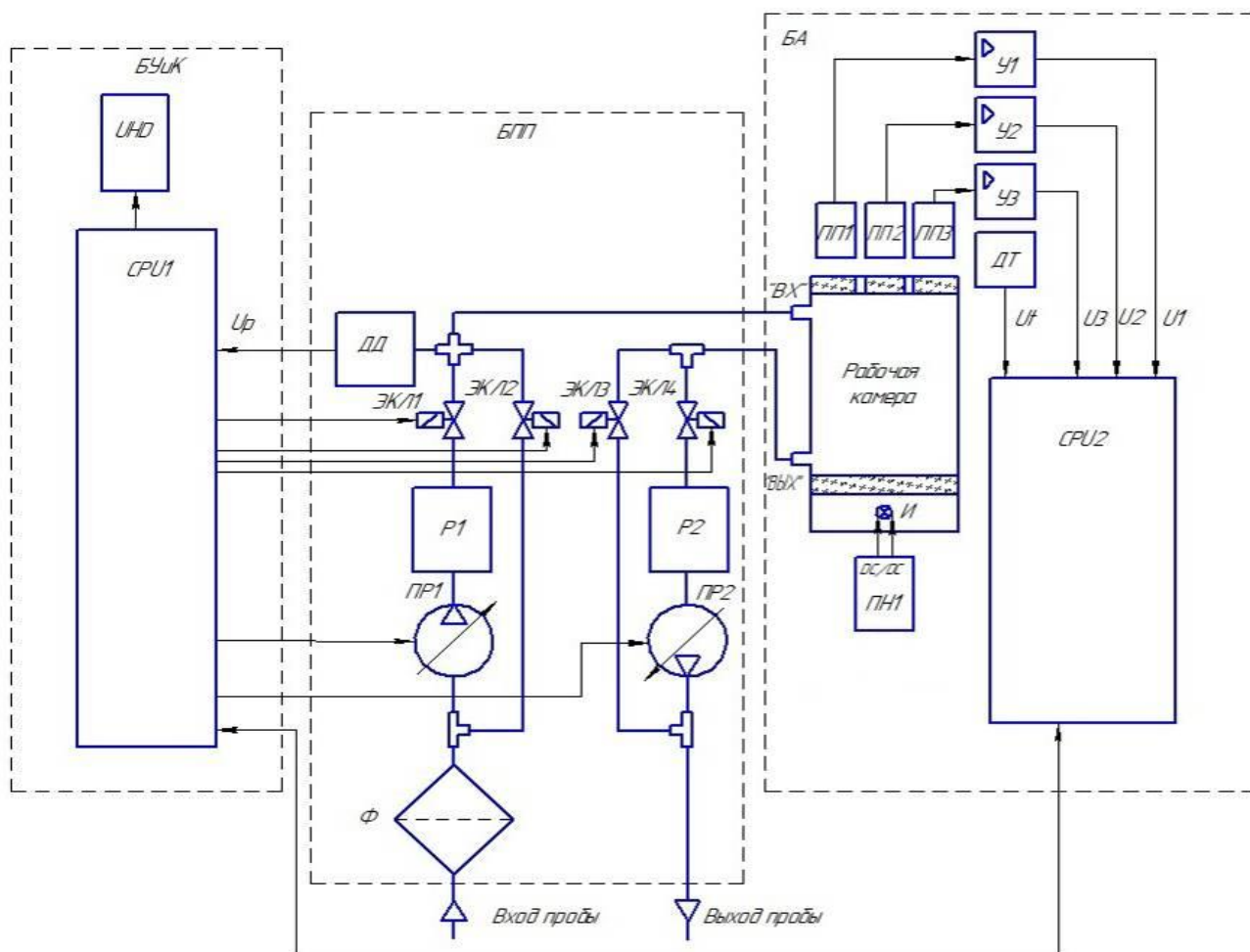


Рисунок 1 – Функциональная схема газоанализатора, использующего метод модуляции плотности оптической среды

Формирование переменного давления в рабочей камере осуществляется блоком пробоподготовки (БПП). Избыточное давление формируется побудителем расхода 1 (PP1), ресивером (P1) и электромагнитными клапанами 1 и 2 (ЭКЛ1, ЭКЛ2). Разряжение формируется побудителем расхода 2 (PP2), ресивером (P2) и электромагнитными клапанами 3 и 4 (ЭКЛ3, ЭКЛ4).

Циклограмма работы БПП следующая:

- управление производительностью побудителей расхода осуществляется блоком управления и коммутации (БУиК) через сигнал датчика давления (ДД) поддерживая постоянным давление в ресиверах P1 и P2;
- клапана ЭКЛ1 и ЭКЛ4 подключают попеременно ресивер P1 с избыточным давлением и P2 с разряжением к рабочей камере;
- клапана ЭКЛ2 и ЭКЛ3 служат для сброса избыточного давления или разряжения из рабочей камеры при смене периода модуляции для снижения нагрузки на побудители расхода.;
- для устранения загрязнения газового тракта на его входе установлен входной фильтр (Ф).

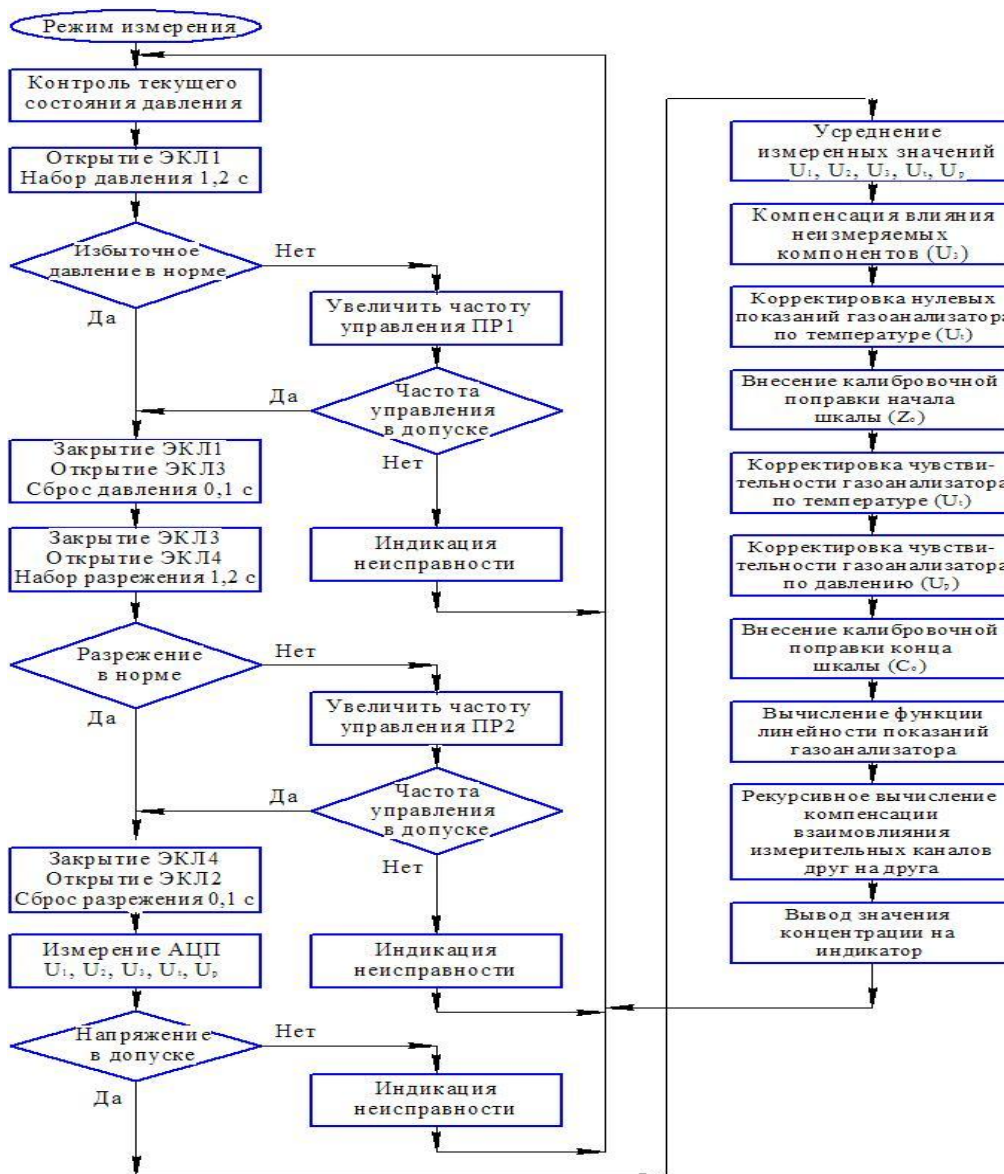


Рисунок 2 – Алгоритм работы газоанализатора в режиме измерения

Цикл работы электромагнитных клапанов повторяется с периодом работы 2,6 с, обеспечивая модуляцию плотности анализируемой ВС в рабочей камере (рисунок 3, циклограмма 2). Поглощение потока ИК-излучения происходит при наличии определяемых компонентов в ВС, по одному или двум измерительным каналам в зависимости от наличия целевых веществ.

При невозможности поддерживать перепад давления на необходимом уровне выдается сигнал неисправности.

Если перепады давления и разрежения в норме, то производится считывание и усреднение пяти каналов измерения напряжения ( $U_1$  и  $U_2$  – рабочие каналы,  $U_3$  – опорный канал,  $U_t$  – напряжение с датчика температуры аналого-цифровым преобразователем (далее – АЦП) процессора CPU2 и  $U_p$  – напряжение с датчика давления АЦП процессора CPU1). Перед усреднением все напряжения контролируются на соответствие диапазону допустимых значений (при выходе за допустимый диапазон выдается сообщение о неисправности соответствующего узла газоанализатора).



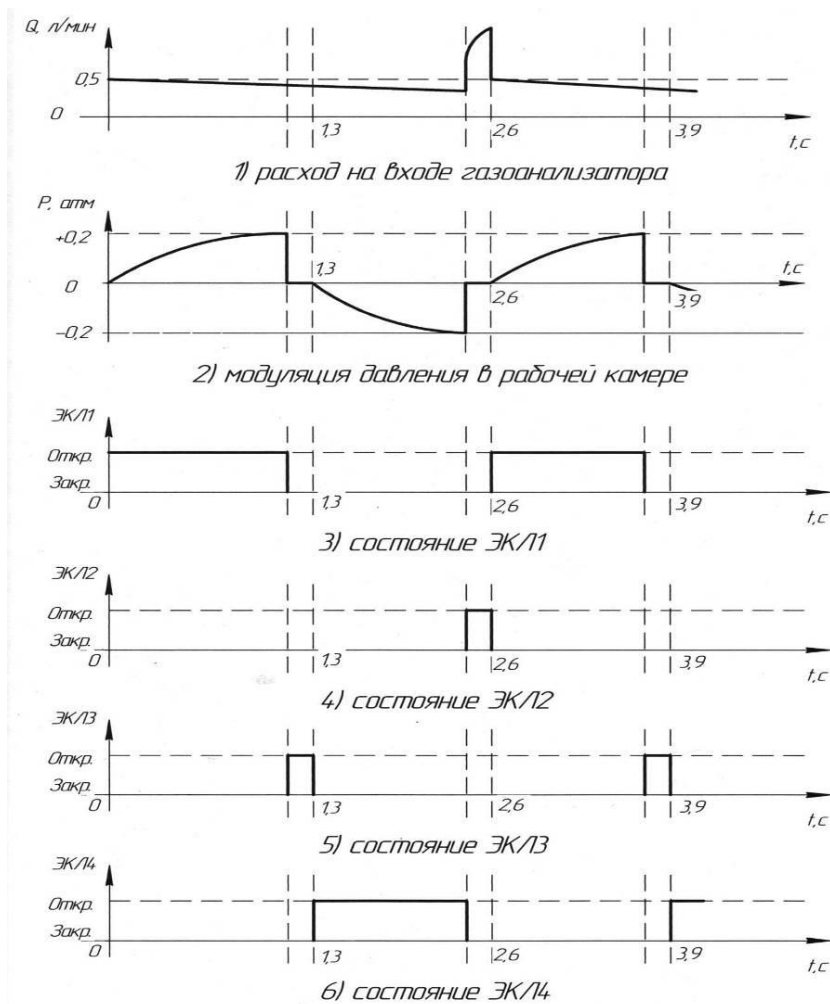


Рисунок 3 - Циклограмма работы электромагнитных клапанов газоанализатора

При нахождении измеренных значений напряжений в допустимых пределах рассчитывается значения концентраций в следующей последовательности:

- учитывается поправка по влиянию неизмеряемых компонентов ( $U_3$ );
- вводится поправка по температуре нулевых показаний газоанализатора ( $U_t$ );
- вычитаются значения напряжения каналов, сохраненные при калибровке нулевых показаний газоанализатора;
- вводится поправка по температуре чувствительности газоанализатора ( $U_t$ );
- полученные значения корректируются на величину коэффициента шкалы, определенного при корректировке газоанализатора по поверочным газовым смесям;
- вводится поправка по нелинейности шкалы газоанализатора, обусловленная экспоненциальной зависимостью поглощения целевым веществом;
- вследствие необходимости компенсации наложения спектров поглощения газов, измеряемых обоими каналами газоанализатора, проводится рекурсивное вычисление компенсации взаимовлияния между измерительными каналами;
- полученные значения концентрации выводятся на индикатор газоанализатора (UHD).

Разработанный алгоритм управления позволяет получить аналитический сигнал устойчивый к воздействию внешних факторов, включая качку и наклоны,

и обеспечивает время работы газоанализатора без обслуживания периодами до одного года.

Литература

1. ГОСТ Р 50760-95. Анализаторы газов и аэрозолей для контроля атмосферного воздуха. Общие технические условия
2. Газоанализатор многокомпонентный для селективного измерения концентрации хладонов в системах жизнеобеспечения // Патент на полезную модель. №186910, 2019 / Ю.Н. Снытко, В.А Трубаров.
3. Investigation of Spectral Characteristics of an Optical-Absorption Gas Analyzer for Monitoring Freons in the Air / L. A. Konopelko, E. P. Tyurikova, Y. N. Snytko // Optics and spectroscopy. – 2020. - Vol. 128, N 5. - P. 678-685.

*А.В. Зедаина, ст.преп.; А.Г. Оноприенко, студ.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ КАПИТАЛА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

В современных условиях существования различных форм собственности в России, наиболее актуальным становится изучение вопросов формирования капитала организаций. Возможности становления предпринимательской деятельности и её дальнейшего развития могут быть реализованы тогда, когда собственник разумно управляет капиталом, вложенным в бизнес.

Эффективность деятельности организации зависит от способности его собственников правильно оценивать содержание рыночных изменений, в результате чего выработать эффективную стратегию развития организации. Таким образом, перед менеджментом организаций встаёт ряд задач, требующих эффективного решения. Среди этих задач выделим одну немало важную, а именно определение оптимальной структуры капитала, которая будет отвечать требованиям экономической ситуации и руководства организации, и при этом учитывать особенности организации на определённом этапе развития.

Структура капитала включает в себя собственный и заёмный капитал, который необходим для хозяйственной деятельности организации. В таблице 1 приведены преимущества и недостатки собственного и заёмного капитала.

Таблица 1 – Преимущество и недостатки собственного и заёмного капитала

| Собственный капитал              |  | Заёмный капитал   |  |
|----------------------------------|--|---|--|
| Преимущество                     | Недостатки   | Преимущество  | Недостатки   |
| Простота привлечения             | Наиболее высокая стоимость относительно заёмных источников | Широкие возможности привлечения   | Возрастает уровень рисков  |
| Финансовая устойчивость          | Ограниченность объёмов привлечения                         | Низкая стоимость за счёт обеспечения эффекта «налогового щита»  | Активы, сформированные за счёт заёмного капитала, генерируют меньшую норму прибыли, которая снижается на сумму выплачиваемых процентов |
| Способность генерировать прибыль | Сложность процедуры привлечения                            | Рост финансового потенциала организации<br>Способность генерировать прирост финансовой рентабельности | Срочность, платность и возвратность кредитных ресурсов не зависимо от финансовых результатов   |

Исходя из выше указанных преимуществ и недостатков можно сделать вывод, что организации, у которых денежные потоки стабильны, могут привлекать заёмные ресурсы, а организации, у которых прибыль и денежные потоки неустойчивы, должны ограничивать привлечение заёмного капитала.

Процесс управления структурой капитала характеризуется следующими задачами [1]:

- обеспечение подходящих условий для роста доходности капитала;
- формирование необходимого объёма капитала для повышения темпов экономического развития организации;
- минимизация финансового риска, которая связана с использованием капитала, при предусматриваемом уровне его доходности;
- оптимизация распределения сформированного капитала по видам деятельности и направления использования;
- учредители обеспечивают необходимый уровень контроля на организацией;
- обеспечение необходимой финансовой гибкости и финансового равновесия организации;
- реинвестирование капитала;
- оптимизация оборота капитала.

От оптимизации и управления структурой капитала зависят многие факторы, в том числе успешность реализации финансовой стратегии. Для разработки процесса управления структурой капитала рассмотрим основные этапы. На рисунке 1 представлен алгоритм построения оптимальной структуры капитала.

На первом этапе осуществляется анализ структуры капитала организации на текущий момент. Существуют различные способы расчёта показателей, но наиболее удобным и широко применимым является способ с помощью бухгалтерского баланса. Сначала рассматривается общий объём и динамика компонентов капитала, а также определяется процентное соотношение собственного и заёмного капитала по данным бухгалтерского баланса. Наибольшее внимание уделяется заёмному капиталу. Далее определяются и анализируются коэффициенты, характеризующие финансовую устойчивость организации:

- коэффициент автономии вычисляется по формуле (1):

$$\text{КФА} = \text{СК} / \text{А}, \quad (1)$$

где

КФА – коэффициент автономии;

СК – собственный капитал;

А – активы.

У данного коэффициента есть нормативное значение, соотношение собственных и заёмных средств должно быть от 0,5 до 0,7% [2]. Если коэффициент автономии превышает значение 1, то возникает риск банкротства. Соответственно в случае, если данный коэффициент не входит в установленный норматив, то необходимо увеличивать собственный капитал или уменьшать активы.



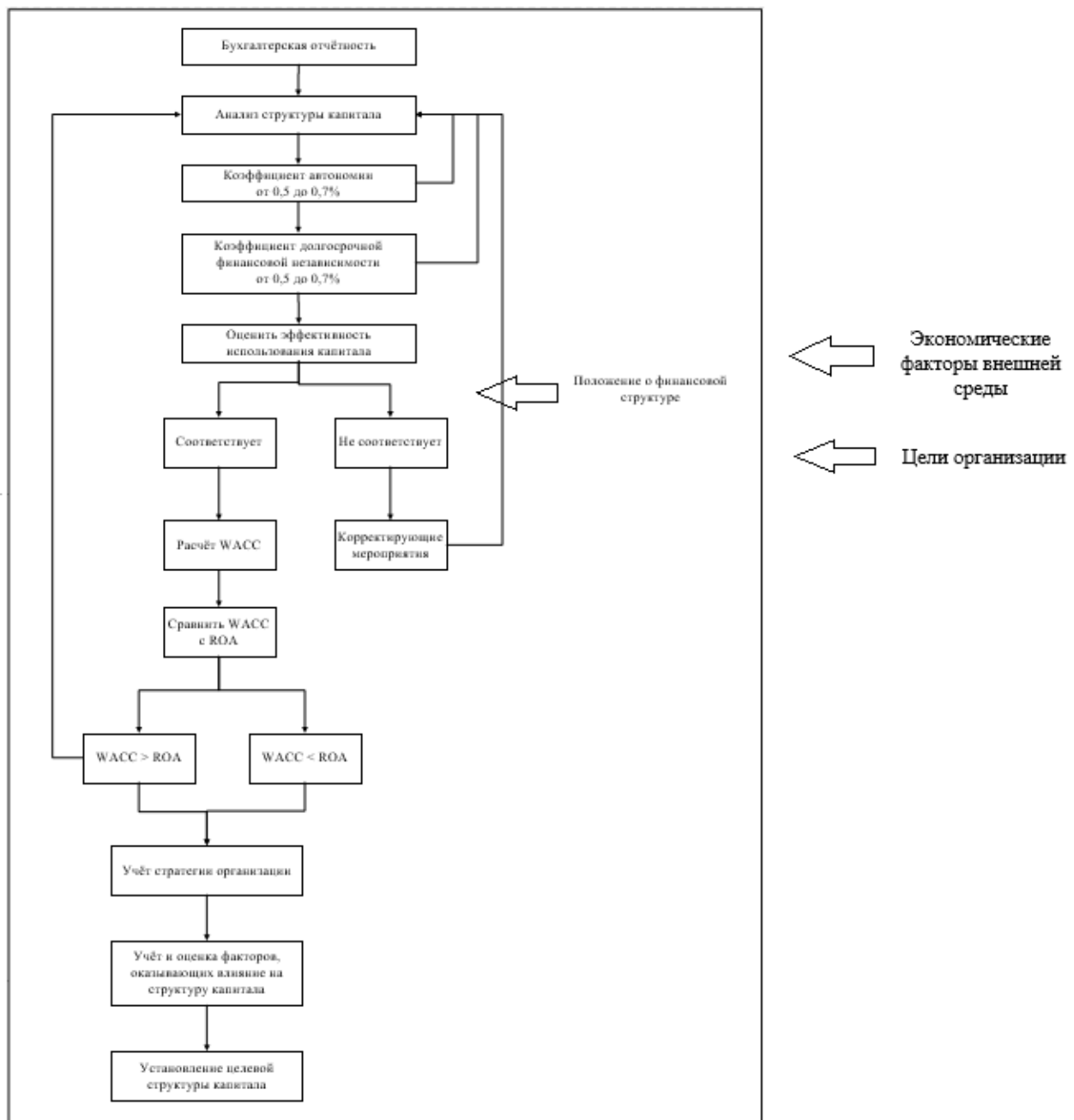


Рисунок 1 – Алгоритм построения оптимальной структуры капитала

- коэффициент долгосрочной финансовой независимости определяется по формуле (2):

$$Ka = СК / ИБ, \quad (2)$$

где

СК – собственный капитал (тог раздела III бухгалтерского баланса);

ИБ – итог бухгалтерского баланса.

У коэффициента долгосрочной финансовой активности установлен такой же норматив, как и у коэффициента автономии (от 0,5 до 0,7%) [2]. Если значение не входит в установленный норматив, то необходимо увеличивать собственный капитал или уменьшать итог бухгалтерского баланса.

Затем оценивается эффективность использования капитала как в целом, так и его отдельных элементов посредством анализа следующих показателей:

- период оборота капитала;
- капиталодоотдача;
- коэффициент рентабельности капитала организации;
- капиталоемкость продукции.

Анализ структуры капитала проводится в соответствии с Положением о финансовой структуре. Если анализ соответствует регламенту, то осуществляется второй этап, если не соответствует, то проводят корректирующие мероприятия и заново проходят первый этап.

Второй этап заключается в расчёте экономически рациональной структуры капитала. На данном этапе рассчитаем WACC (средневзвешенная стоимость капитала). В соответствии с бухгалтерским балансом WACC можно рассчитать следующим образом:

- рассчитаем уровень налогообложения ( $K_n$  - отношение налога на прибыль к балансовой прибыли);
- далее рассчитываем цены заёмного капитала ( $\text{ЦЗ} = \text{проценты} / \text{кредиты} * (1 - K_n)$ );
- цена собственного капитала ( $\text{ЦС}$  – отношение чистой прибыли к собственному капиталу);
- рассчитываем WACC по формуле (3):

$$\text{WACC} = \text{СК} * \text{ЦС} + \text{ЗК} * \text{ЦЗ}, \quad (3)$$

Показатель средневзвешенной стоимости капитала позволяет определить минимально требуемый доход ресурсов организации на инвестированный капитал, то есть уровень рентабельности. Для сравнения необходимо также определить показатель ROA (рентабельности активов):

$$\text{ROA} = (\text{Чистая прибыль} / \text{Средняя стоимость активов}) * 100\%. \quad (4)$$

Если показатель WACC больше ROA (рентабельности активов), то это говорит о снижении экономической добавленной стоимости и общей потере стоимости капитала, то есть инвестиция не выгодна и деньги расходуются без увеличения доходов, а также отсутствует лишний капитал, который можно было бы инвестировать в дальнейший рост организации. В таком случае для уменьшения WACC необходимо уменьшить дивиденды или временно отказаться от их выплаты. Если же показатель WACC меньше ROA, то активы используются эффективно и стоимость организации растёт.

Следующий этап включает в себя учёт стратегии организации. На данном этапе происходит формирование структуры капитала в зависимости от выбранной стратегии развития предприятия, основываясь на показателях этапа 1 и 2. Если выбранная стратегия удовлетворяет целям организации, то осуществ-

ляется четвёртый этап, если же не удовлетворяет, то заново пересматривается анализ структуры капитала.

На четвёртом этапе происходит учёт и оценка факторов, оказывающих влияние на структуру капитала. Анализируются показатели, которые были рассчитаны выше и выбранная стратегия организации. Проведённый анализ помогает сформировать рациональную структуру капитала для организации.

На заключительном этапе устанавливается целевая структура капитала, то есть осуществляется более тщательный анализ текущего соотношения источников финансирования, учёт особенностей стратегии, а также факторов организации. В результате формируется оптимальная структура капитала [3].

Кроме рассмотренных этапов на оптимизацию структуры капитала оказывают влияние цели организации и экономические факторы внешней среды. Среди экономических факторов можно выделить следующие:

- инфляция;
- налоговые показатели;
- движение на рынке ценных бумаг;
- внешнеэкономические связи государства;
- средняя процентная ставка по кредитам, которую определяет Центробанк РФ;
- динамика движения потребительского спроса.

Таким образом, проанализировав капитал организации, определив средневзвешенную стоимость организации и рентабельность активов, выбрав стратегию организации и оценив факторы, оказывающие влияние на структуру капитала, был разработан процесс управления структурой капитала и его оптимизация.

#### Литература

1 Бабоян Э.С. Факторы, влияющие на принятие решения о структуре капитала // Вестник современных исследований. 2019. № 1.15 (28). С. 5–8.

2 Коэффициент автономии [Электронный ресурс] // audit-it. URL: [https://www.audit-it.ru/finanaliz/terms/solvency/coefficient\\_of\\_autonomy.html](https://www.audit-it.ru/finanaliz/terms/solvency/coefficient_of_autonomy.html) (30.09.2021)

3 Губанов О.В. Методы формирования экономически рациональной структуры капитала промышленного предприятия: диссертация / О.В. Губанов; [Место защиты: С.-Петербург. гос. инженер.-эконом. ун-т], 2008. – 159 с.

*Е.А. Кириллова, к.э.н., доц., Н.А. Даниленко, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **АНАЛИЗ ПОДХОДОВ И СИСТЕМ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ, РЕАЛИЗУЕМЫХ В РАМКАХ КООПЕРАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

В современной литературе вопросам анализа и оценки реализации инновационных процессов на региональном уровне уделяется достаточно много внимания. Существует большое количество различных подходов, моделей и методик их оценки. Столь пристальное внимание к данной теме со стороны российских и зарубежных ученых обусловлено ее существенным значением для принятия оперативных и, прежде всего, стратегических решений. Кроме того, технический прогресс, рост динамизма и неопределенности изменений среды, усиление глобальности конкуренции значительно сокращают жизненные циклы

продуктов и услуг, заставляя производственно-хозяйственных субъектов быстрее внедрять инновационные технологии в свой опыт работы. Усложнение технологических процессов делает инновации более дорогостоящими и рискованными, что подчёркивает важность и весомый вклад этапа оценки и анализа в управление инновационной деятельностью. Потребность в четкой, прозрачной и логичной системе анализа и оценки результатов такой деятельности также обусловлена существенной ролью региональных органов власти при их реализации, значительным вкладом бюджетного финансирования и софинансирования, предполагающие строгую отчетность и обеспечение гибкости при распределении ресурсов бюджетов различных уровней. Размеры территории РФ и специализация разделенных большими расстояниями промышленных предприятий приводят к росту логистических издержек при реализации процессов материально-технического обеспечения производства и сбыта готовой продукции [1].

Необходимо также отметить, что существенное влияние на национальные инновационные системы оказали кризисные последствия, вызванные мерами по предотвращению распространения коронавирусной инфекции, что вызвало сокращение бюджетов на программы по инновационному развитию и еще острее поставило вопрос об инструментах оценки эффективности инновационной деятельности для принятия управленческих решений в данной области. С другой стороны, как отмечается в [2] данные обстоятельства только еще больше подчеркнули необходимость развития инновационных и информационно-телекоммуникационных технологий для обеспечения устойчивого развития общества и мировых экономик, которые оказались не готовы к глобальным вызовам.

В тоже время в большинстве существующих методик и инструментов оценки результатов инновационной деятельности практически не учтен такой аспект как межорганизационное взаимодействие и синергетические эффекты, генерируемые такими кооперационными формированиями. Вместе с тем данные формирования становятся необъемлемым элементом современных производственно-хозяйственных систем и имеют значительный потенциал для развития инноваций [3,4]. Уровень такой кооперации не учитывается скорее всего по существующим объективным проблемам в его анализе. В таком случае предполагается анализ значительного числа качественных характеристик, субъективных и относительных переменных, имеющих вероятностный характер реализации.

Из статистических и информационно-аналитических материалов, отражающих количественные оценки реализации новых форм стратегических альянсов, разных партнерств и иных кооперационных связей с потребителями продукции, поставщиками, зарубежными и российскими производителями можно выделить сборники ВШЭ. Представленные в них показатели дают возможность выявить и установить наличие кооперационных связей, сотрудничества организации в сфере исследований и разработок с другими организациями, независимо от того, выступает организация заказчиком либо исполнителем соответствующих работ,

услуг. В частности, представлены такие группы показателей как: неразвитость кооперационных связей, технологическое партнерство, число совместных проектов и в разрезе типов инноваций и типов кооперационных связей, а также по видам экономической деятельности. Стоит отметить, что в методических материалах для разработки программ инновационного развития организаций и предприятий РФ (одобрены решением Межведомственной рабочей группы по реализации приоритетов инновационного развития президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России (протокол от 27 февраля 2018 г. № 1)) включен раздел оценки кооперационного взаимодействия. В частности, это анализ развития взаимодействия со сторонними организациями, реализация принципов «открытых инноваций», развития партнерства в сферах образования и науки, уровень взаимодействия с субъектами инновационной инфраструктуры в целом, а также развитие внешнеэкономической деятельности и международного сотрудничества в инновационной сфере.

Среди всех статистических показателей, наиболее широко применяемых в отечественной и зарубежной практике для характеристики инновационной активности и конкурентоспособности субъектов хозяйствования, можно выделить следующие группы: затратные; временные и структурные [5,6,7].

Оценка взаимодействия субъектов на региональном уровне также нашла отражение в работах зарубежных и отечественных ученых. Так, Е.П. Кузнецова в своей работе [8] описывает подход к оценке развития производственной кооперации в регионе, основываясь на расчете интегрального показателя, отражающего «масштабность» кооперации корпоративных структур, малого и среднего бизнеса и «экономичность» их взаимодействия. Автор определяет этапы оценки производственной кооперации в регионе. В частности, на первом этапе выделяет три группы показателей:

- показатели, характеризующие изменение стоимостных параметров производственной деятельности в регионе;
- показатели, характеризующие «экономичность» производственной кооперации;
- показатели, характеризующие «масштабность» производственной кооперации.

А.В. Алешин [9] в качестве основных направлений оценки межфирменного взаимодействия предлагает оценку эффективности сотрудничества как для отдельных субъектов бизнеса, так и для региональной экономики в целом, а также методику оценки уровня развития партнерских отношений в бизнес-среде региона. Значимым вкладом в теорию оценки межорганизационного взаимодействия является учет факта участия в инновационном процессе субъектов различного масштаба. Однако автор рассматривал только субъекты бизнес-среды и данная оценка неприменима для научно-исследовательских организаций, учебных заведений, государственных структур и т.п., имеющих преимущественно другой круг интересов. Т.В. Федосова и Т.В. Морозова [10] исследовали форму взаимодействия «вуз-предприятие». В предложенной ими методике

оценки выделяется три вектора, описывающих состояние процесса по трем соответствующим, а именно: вузовский вектор развития, вектор развития предприятия, вектор взаиморазвития. Их пространственные пересечения дают представление об уровне интегрального взаимодействия. Преимуществом данной методики является легкость визуального представления, но отсутствует направление взаимодействия с государственными органами. Н.С. Иващенко [11] предлагает оценку партнерских отношений субъектов инновационного процесса в зависимости от этапа их жизненного цикла и определяет следующие группы критериев, оцениваемые по 4-балльной шкале: уровень организованности партнерских отношений (характер целей и задач, мотивация и т.д.), уровень их развития (надежность, динамика, доверительность) и уровень эффективности таких партнерских отношений (глубина, долговечность и т.д.). Измерение результативности сетевых форм организации является достаточно новым направлением в исследованиях. Иногда при оценке взаимодействия используют моделирование сетей.

Д.Д. Цителадзе [12] в отношении особенностей взаимодействия субъектов в инновационном процессе отмечает, что его результативность во многом определяется характером и направленностью транзакционных издержек, при этом взаимодействие рассматривается со стороны транзакционных издержек различных субъектов: бизнес, государство, население, экспертное сообщество, финансовые институты и т.п. Взаимодействие субъектов внутри кластеров нашло отражение в работе И.М. Степнов, Ю.А. Ковальчук, Е.А. Горчакова [13]. Авторы описывают оригинальную модель оценки результативности внутрикластерного взаимодействия, включающая специально разработанный критерий «степень кластерного рычага». Ю.В. Симачев, М.Г. Кузык [14] отмечают, что во взаимодействие с бизнесом для НИОКР более часто вступают именно крупные организации, а негосударственные исследовательские организации чаще вовлечены в разовую кооперацию с субъектами бизнес-среды. Важным общим фактором наличия интеграционного взаимодействия, так и дальнейших планов по данному взаимодействию, как отмечают авторы, выступает относительно высокий научный потенциал.

Достаточно часто коэффициенты и группы показателей, отражающие патентную активность, включаются в методики оценки результатов инновационной деятельности. Большинство предприятий в годовых отчетах о инновационной деятельности приводят результаты по таким показателям как: количество заявок на регистрацию результатов интеллектуальной деятельности, число зарегистрированных свидетельств о регистрации программ, патентов на изобретение, полезную модель и т.д. Патенты и свидетельства регистрации программ для ЭВМ закрепляют право на результат интеллектуальной деятельности и тем самым являются конечным этапом научно-исследовательской стадии жизненного цикла инноваций. В тоже время уникальность патентных данных заключается в том, что они характеризуют одновременно результативность исследований и разработок и потенциал инновационной деятельности, т.е. являются своеобразным мостом между наукой и инновациями. Патенты не только вы-

полняют функцию правовой защиты, но и являются уникальным источником технологической информации, поскольку сведения, содержащиеся в патентах, обычно не представлены нигде более; кроме того, патентование, как правило, на несколько лет опережая внедрение научно-технических достижений в производство, позволяет заранее учитывать возможность появления технологических инноваций [15]. Также необходимо отметить усиление тенденций к «открытости» границ между экономиками мира, все большую популярность приобретает практика открытых инновации. И чем больше такие границы открыты, тем острее встает вопрос патентной защите. В аналитических целях используются абсолютные и относительные показатели патентной активности, информация для расчета которых содержится в открытом доступе и имеет объективную количественную оценку, что может случиться формированием объективной базы для оценки результатов инновационной деятельности кооперационного взаимодействия на региональном уровне.

Таким образом, представленный анализ позволяет говорить, что существующие в настоящее время методики и инструменты оценки результативности инновационной деятельности в регионе имеют ряд ограничений, что затрудняет их применение для комплексного анализа современных интегрированных образований, характеризующихся разнонаправленностью интересов участников и высоким динамизмом изменений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке «Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук» по проекту МК-4087.2021.2.*

#### Литература:

1. Zainchkovsky A., Borisov V. Fuzzy cognitive model for analysis of influence relations and industrial cluster identification // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2020. 172. pp. 517–531.
2. OECD (2021) Science, Technology and Innovation Outlook 2021: Times of Crisis and Opportunity, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/75f7915-en>.
3. Lew Y.K., Park J.-Y. The evolution of N-helix of the regional innovation system: Implications for sustainability // Sustainable Development. 2021. 29(2). pp. 453-464.
4. Liu S., Zhang X., Chen W., Zhang W. The path of university collaborative innovation mechanism based on the triple-helix model // 2021 10th International Conference on Educational and Information Technology, ICEIT 2021. №9375561, pp. 185-189.
5. Ivanova M., Selentyeva T. The impact of compliance costs on innovative development // Proceedings of the European Conference on Innovation and Entrepreneurship, ECIE. 2019. Vol.1. pp. 417-423.
6. Mamede R.P. Structural asymmetries, innovation measurement and innovation policies in the EU // Portuguese Journal of Social Science. 2017. Vol. 16 (3). pp. 377-392.
7. He S., MacNeill S. Wang J. Assessing Overall Network Structure in Regional Innovation Policies: A Case Study of Cluster Policy in the West Midlands in the UK // European Planning Studies. 2014. Vol. 22( 9). pp. 1940-1959.
8. Кузнецова Е.П. Методический подход к оценке уровня развития производственной кооперации в регионе // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. №12-2 (58). С. 61-65.
9. Алешин А.В. Эффективность взаимодействия разномасштабных субъектов бизнеса в регионе: направления и способы оценки // Terra Economicus. 2011. № 9(4-2). С.132-136.
10. Fedosova T. V., Morozova T. V. Evaluation of the effectiveness of different forms of interaction between the University and the enterprise // IEEE VI Forum on Strategic Partnership of Universities and Enterprises of Hi-Tech Branches - Science, Education, Innovations (SPUE).2017.
11. Иващенко Н.С. Направления оценки уровня партнерских отношений в зависимости от этапа их жизненного цикла // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 12 (90). С.13-21.
12. Цителадзе Д.Д. Формы и методы взаимодействия субъектов инновационной деятельности в региональных инновационных системах: дисс. ... канд.экон.наук: 08.00.05. - М., 2015. 211 с.

13. Степнов И.М., Ковальчук Ю.А., Горчакова Е.А. Об оценке эффективности внутрикластерного взаимодействия промышленных предприятий // Проблемы прогнозирования. 2019. №3. С.149-158.
14. Симачев Ю.В., Кузык М.Г. Взаимодействие российского бизнеса с наукой: точки соприкосновения и камни преткновения. Вопросы экономики. 2021. №6. С.103-138.
15. Дубовицкий В.С., Фролов И.И., Пасько А.А. Статистическое исследование патентной активности // СКИФ. Вопросы студенческой науки. 2017. №9. С.231-240

*Е.А. Кириллова, к.э.н., доц., М.Д. Жлобницкий, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИЙ В ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО РОССИИ**

В настоящее время инновации становятся неотъемлемой составляющей устойчивого развития систем в стратегической перспективе. Они являются показателем социально-экономического развития страны. Развитые страны уделяют инновационной сфере пристальное внимание: создают отдельные государственные структуры, отвечающие за развитие и внедрение инноваций, проводят анализ и сравнение разных технологий, составляют рейтинги развития. На рисунке 1 представлен удельный вес организаций, осуществлявших технологические инновации, в общем числе организаций в России и других развитых странах мира в 2017 году [1].

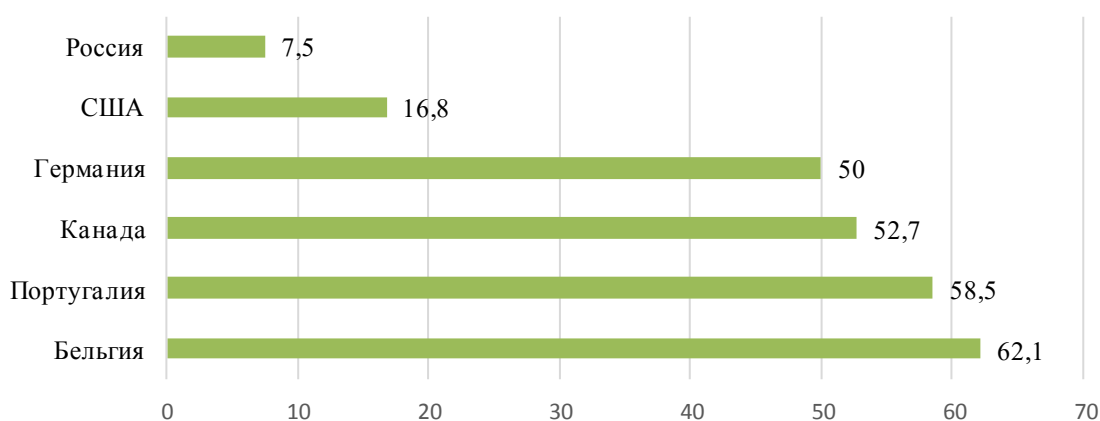


Рисунок 1 – Удельный вес организаций, осуществлявших технологические инновации, в общем числе организаций в 2017 году

Проанализировав рисунок, можно заметить, насколько сильно отстает развитие данного показателя от соответствующих значений других развитых стран Европы и Америки. Вместе с этим, данное значение не соответствует плану, намеченному Указом Президента, согласно которому к 2024 году значение данного показателя должно составлять 50 [1].

Для исследования был выбран 2017 год, поскольку приказом Росстата в 2019 году была изменена формула расчета данного показателя, по этой причине только данные в 2017 году имеют результирующие значения как по новой, так и по старой методике. Увеличения количества организаций, внедряющих инновации в свою производственные и обеспечивающие бизнес-процессы не наблюдается, что является негативной тенденцией. Для более детального



анализа исследуемого показателя необходимо рассмотреть рисунок 2, на котором представлен уровень инновационной активности в России по основным видам деятельности [2].



Рисунок 2 – Уровень инновационной активности организаций России в разделении на отрасли

Проанализировав рисунок 2 с условием того, что начиная с 2017 года показатели рассчитывались по новой методике, можно сделать вывод, что в целом показатели каждой из отраслей с каждым годом лишь уменьшаются, и промышленное производство не является исключением, а ведь оно является одной из ключевых отраслей экономики нашей страны. Данный сектор требует отдельного анализа, так как внедрение инноваций именно в этой отрасли носит первостепенный характер. Детальный анализ уровня инновационной активности организаций промышленного производства представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Детальный анализ уровня инновационной активности организаций промышленного производства

Анализ рисунка показывает, что в большинстве показателей наблюдается стагнация, а ключевые показатели для отрасли, которыми являются приобретение машин и оборудования, а также разработка и приобретение программ для ЭВМ и баз данных, вовсе уменьшились к 2019 году. Однако значительное увеличение уровня инноваций в сфере исследований и разработок промышленного производства в 2019 году является положительным и крайне важным изменением, так как оно является основой для будущего развития прочих факторов, что может изменить ситуацию в лучшую сторону в ближайшие годы.

Таким образом, на данный момент предприятия промышленного производства России, как и других сфер деятельности недостаточно активно внедряют инновационные идеи и предложения. В сравнении с аналогичными показателями промышленно развитых стран это говорит о некотором отставании РФ, что также отмечается в стратегических документах по социально-экономическому развитию страны. Одним из путей преодоления данной проблемы видится вовлечение всех заинтересованных субъектов хозяйствования в научно-промышленное сетевое взаимодействие.

*Работа выполнена при финансовой поддержке «Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук» по проекту МК-4087.2021.2.*

#### Литература:

1 Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Анализ формирования показателя для оценки достижения национальной цели по ускорению технологического развития Российской Федерации, установленной в Указе Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [Электронный ресурс] // Счетная палата Российской Федерации: офиц. сайт. URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/84a/84a3c7f43e5bc65d347a40b37ee91fc5.pdf> (дата обращения: 13.09.2020).

2 Индикаторы инновационной деятельности 2021: статистический сборник [Электронный ресурс] // НИУ ВШЭ: офиц. сайт. URL: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/465578843.pdf> (дата обращения: 15.09.2020).

*М.Ю. Лебедева, к.т.н., доц.; А.Д. Пименова, студент; А.В. Устиненкова, студент  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИИ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ**

Утвержденная правительством РФ программа «Цифровой экономики» позволила ускорить развитие и внедрение целого ряда сквозных цифровых технологий в различных промышленных отраслях, в том числе в организациях топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Значимое место среди сквозных технологий занимает сравнительно новая, обладающая рядом уникальных свойств технология блокчейн. Современная российская индустрия блокчейна развивается стремительными темпами, появление новых разработок характерно как для частного, так и для государственного секторов экономики, что в свою

очередь позволяет эффективно использовать принципы работы данной технологии в различных организациях.

Как известно, принцип работы блокчейна считается достаточно простым, а сфера применения данной технологии достаточно широка, прежде всего это совершение финансовых операций, а также использование возможностей управления цифровым контентом, цифровизация договоров и исполнение торговых операций. Блокчейн сравним с базой данных, в которую информацию можно только вносить, без возможности её удаления или изменения, а по сути, это выстроенная по определённым правилам непрерывная последовательная цепочка блоков (называемых связанными списками), содержащих информацию, при этом каждый блок содержит указатель на предыдущий и тесно с ним связан. Таким образом, удаление или замена хотя бы одного блока приводит к разрушению всей цепочки. Блокчейн позволяет информации совершать перемещения по децентрализованной системе, которая записывает, сравнивает и запускает множество транзакций. Применение данной технологии позволяет повысить безопасность и «прозрачность» любой системы, что характерно также для отраслей топливно-энергетического комплекса, претерпевающих достаточно быстрые изменения в ходе своего развития. Кроме того, использование принципов работы данной технологии, внедрение блокчейн-проектов в деятельность организаций ТЭК может существенно снизить финансовые риски, поскольку одной из важнейших характеристик блокчейна является надёжность хранения информации.

Использование блокчейн-технологии позволяет организации фиксировать любое событие (если проводить аналогию с базой данных), так, например, финансовые операции, результаты голосования в нефтяном акционерном обществе. Причем доступ к «базе данных» есть у каждого участника, данные дублируются несколько раз, используются криптографические механизмы шифрования данных. Информацию нельзя изменить, удалить либо изъять, поскольку в этом случае будем иметь обычную базу данных. Блокчейн является распределенной и децентрализованной базой данных, сформированной участниками, в которой невозможно фальсифицировать данные из-за хронологической записи и публичного подтверждения всеми участниками сети транзакции. Основной и главной особенностью блокчейна является использование алгоритмов математического вычисления, и исключение «человека» и человеческого фактора при принятии решения системой [3].

Как утверждают специалисты, с точки зрения передачи финансовых активов блокчейн – это аналог оверлейной компьютерной сети (peer-to-peer), позволяющей проводить операции между равноправными участниками без посредников.

Блокчейн может быть использован для различных бизнес-процессов, протекающих в организациях топливно-энергетического комплекса. Отраслевое использование данной технологии в ТЭК может быть достаточно эффективным в случае применения децентрализованной одноранговой интернет-технологии, предполагающей совместное использование распределенной бухгалтерской

книги (как компьютерами, так и пользователями). В этом случае можно осуществлять «отправку» энергии (энергетических ресурсов) в любую точку мира с помощью служебных приложений, созданных с использованием блокчейна. Как уже было отмечено ранее, это позволит существенно уменьшить количество времени, затрачиваемое на совершение каких-либо операций, благодаря исключению «посредников», что, в свою очередь, позволяет снизить временные затраты на проведение проверки данных транзакций централизованными органами. Проверкой транзакций занимаются так называемые майнеры – участники системы, которые подтверждают подлинность совершенных действий, а затем формируют из записей транзакций блоки. Реестр хранится одновременно у всех участников системы и автоматически обновляется при малейшем изменении. Каждый имеет доступ к информации о любой транзакции, когда-либо осуществленной. Пользователи выступают в качестве коллективного нотариуса, который подтверждает истинность информации в базе данных [3]. Преимущество технологии распределительного реестра в топливно-энергетическом комплексе состоит в том, что получаемые и распределяемые топливно-энергетические ресурсы зафиксированы за определёнными потребителями и поставщиками, таким образом осуществляется контроль их распределения и потребления, а также минимизация затрат на генерацию и обеспечение их эффективного использования.

Таким образом, можно выделить следующие бизнес процессы, эффективность которых может быть повышена в организациях ТЭК при использовании блокчейн-проектов:

- оптимизация процесса распределения топливно-энергетических ресурсов;
- оптимизация процесса распределения энергетических мощностей.

Анализируя различные источники информации, можно определить следующие перспективные области использования принципов работы блокчейн-технологии.

#### 1. Автоматизация.

Улучшение контроля децентрализованных топливно-энергетических систем и микросетей.

#### 2. Управление сетями.

Поддержка сетевого управления децентрализованными сетями. Обеспечение интегрированной информационной платформы для реализации сервисов по торговле, координации, диспетчеризации, поддержке рынков энергетической гибкости – платформы гибкости. Обеспечение гибкости в перераспределении ресурсов.

#### 3. Конкуренентоспособность.

Усиление конкурентной позиции за счет упрощения и ускорения процесса смены поставщика энергии, снижения тарифов на энергоносители, повышения мобильности на рынке.

#### 4. Безопасность и управление идентификацией.

Упрощение процесса проверки корректности и правдивости информации, тем самым обеспечивая надежную защиту системы [1].

## 5. Продажа и маркетинг.

Блокчейны в сочетании с методами искусственного интеллекта, такими как машинное обучение, могут определять модели потребления энергии и, следовательно, обеспечивать предоставление индивидуальных энергетических продуктов с добавленной стоимостью.

## 6. Прозрачность производственных процессов.

Обеспечение принципа прозрачности бизнес-процессов значительно помогает улучшать аудит и соблюдение нормативных требований.

Благодаря блокчейн возможно использование смарт-контрактов, которые могут быть успешно применены для привлечения инвестиций в проект посредством продажи инвесторам монет проекта по заданному алгоритму и курсу, который в децентрализованной сети может изменяться в течение времени. Однако нельзя сказать, что в настоящее время существует большое количество реальных кейсов применения смарт-контрактов. В качестве перспективных областей применения смарт-контрактов для ТЭК можно рассматривать, например, управление поставками и логистику.

Не стоит забывать, что несмотря на преимущества, блокчейн-технология имеет и свои недостатки, к перечню которых следует отнести проблемы с добавлением большого круга пользователей; ограничения в возможностях использования смарт-контрактов, вопросы юридической ответственности за корректную работу системы, отсутствие законодательной базы для полноценной работы с цифровыми активами и другие.

Многие зарубежные компании начинают активно использовать блокчейн в отличие от российских, где данная технология применяется не так активно [2]. Так, например, немецкая электроэнергетическая компания RWE тестирует блокчейн-приложение для зарядки электромобилей. Будет создана межмашинная экономика, в которой машины будут осуществлять транзакции между собой. Таким образом, RWE сотрудничает с немецким стартапом Slock.it для разработки зарядных станций для электромобилей, которые используют смарт-контракты на основе блокчейна для аутентификации пользователей и управления процессом выставления счетов. Финская энергетическая компания Fortum предлагает решение на основе блокчейна, которое позволяет потребителям контролировать бытовые приборы через Интернет в подключенных домах. Использование технологии в данном случае помогает потребителям энергоресурсов оптимизировать отопление и повысить осведомленность о потреблении электроэнергии в домашних хозяйствах. Венский стартап Grid Singularity также экспериментирует с блокчейном для аутентификации энергетических транзакций. Южноафриканская компания InviroHub, являющаяся одним из крупнейших поставщиков комплексных решений и услуг по управлению окружающей средой, запустила интегрированное технологическое приложение, включающее интеллектуальные счетчики, телекоммуникационную инфраструктуру и фирменное программное обеспечение на основе блокчейна. Их цель – разработка интеллектуальных решений для учета потребления электричества,

воды и газа, а также предоставления потребителям точной подробной информации в режиме реального времени.

Подводя итоги, следует отметить, что в настоящее время существуют уже все средства для начала реализации блокчейн-технологии в рамках бизнеса. Особенно активно она может внедряться в финансовой сфере. Необходимо понимать, что для полномасштабного внедрения блокчейна требуется реорганизация больших систем со значительным количеством участников. При этом каждая система стремится сохранить свои свойства и структуру, сопротивляясь изменениям. Как было отмечено выше, блокчейн применим в топливно-энергетических организациях, его возможности наглядно демонстрируют потенциальную ценность данной технологии для энергетической отрасли. В дальнейшем будущем остается лишь ожидать увеличение активности блокчейна. Однако важным фактором является адекватная оценка целесообразности и рациональности внедрения данной технологии.

Информационная безопасность, снижение временных затрат, повышение прозрачности сделок для заинтересованных сторон без ущерба для конфиденциальности определим в качестве основных преимуществ блокчейна, использование которого может являться одним из инструментов обеспечения экономически устойчивого развития топливно-энергетического комплекса. Следует также отметить, что для активного внедрения и использования блокчейн-технологии в ТЭК одним из важнейших факторов является нормативно-правовой.

#### Литература

1. Федотова В.В., Емельянов Б.Г., Типнер Л.М. Понятие блокчейн и возможности его использования // European science. 2018. № 3. С. 13-16.
2. Blockchain may fuel the energy industry [Электронный ресурс] // Finextra. 2016. URL : <https://www.finextra.com/blogposting/13394/blockchain-may-fuel-the-energy-industry> (дата обращения: 25.09.2021)
3. Бром А.Е., Тереньтева З.С. Использование технологии блокчейн в управлении жизненным циклом продукции // Вестник Волжского университета имени В.Н. Татищева. 2018. № 2. С. 5-11.

## СЕКЦИЯ 1 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

*Л.В. Вайтеленок, ст. преп.*

*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### ИММИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В СРЕДЕ SIMINTECH

Релейная защита является важнейшей частью электроэнергетических систем, обеспечивающих их надежное функционирование. Как в процессе проектирования самой релейной защиты, так и уже при её эксплуатации, может возникнуть необходимость в проведении имитационного моделирования работы защиты, её составных частей, а также самого защищаемого объекта. Помимо вышеуказанного, имитационное моделирование релейной защиты может применяться и в учебном процессе. В этом случае наиболее предпочтительным с точки зрения удобства является математическое моделирование, в котором исследуемый объект заменяется математической моделью с учетом допустимых погрешностей такой замены. Применительно к релейной защите, функционирование которой существенно зависит от исходных данных сети и защищаемого оборудования, имитационное моделирование позволяет на одной «исходной» модели исследовать работу защиты при разных входных данных.

В настоящее время имеется ряд компьютерных программ [1], позволяющих производить динамическое моделирование работы энергосистем и релейной защиты в частности. В данной статье рассматривается принцип имитационного моделирования релейной защиты в среде динамического моделирования SimInTech [2]. Поскольку на результат работы логики защиты оказывают влияние и сигналы первичной цепи, и измерительная часть защиты, должно производиться комплексное моделирование всех составных частей схемы. Программа SimInTech отвечает данному требованию, т.к. в ней имеются блоки для создания как электрической схемы, так и элементы логики и обработки сигналов.

Составленная модель простейшей исследуемой электроэнергетической системы, состоящей из источника питания (ИП), линии электропередачи (ЛЭП, W), трансформатора (Т) и нагрузки представлена на рис. 1. ИП представлен блоком трехфазного источника напряжения 110 кВ. ЛЭП состоит из двух частей, одинаковой длины (50 км), позволяющих имитировать короткое замыкание (КЗ) в начале, конце и середине линии. Блок силового трансформатора позволяет выполнять моделирование с учетом или без учета характеристики намагничивания. Номинальная мощность трансформатора в модели принята 16 МВА. Нагрузка представлена последовательным соединением активного и реактивного сопротивления (активная мощность 10 МВт, реактивная – 4 Мвар). Короткое замыкание моделируется при помощи встроенного блока КЗ. Время возникновения КЗ задается при помощи временной задержки подачи управляющего сигнала на

выключатель, которым КЗ «подключается» к цепи. Место КЗ определяется точкой подключения данного выключателя к первичной схеме.

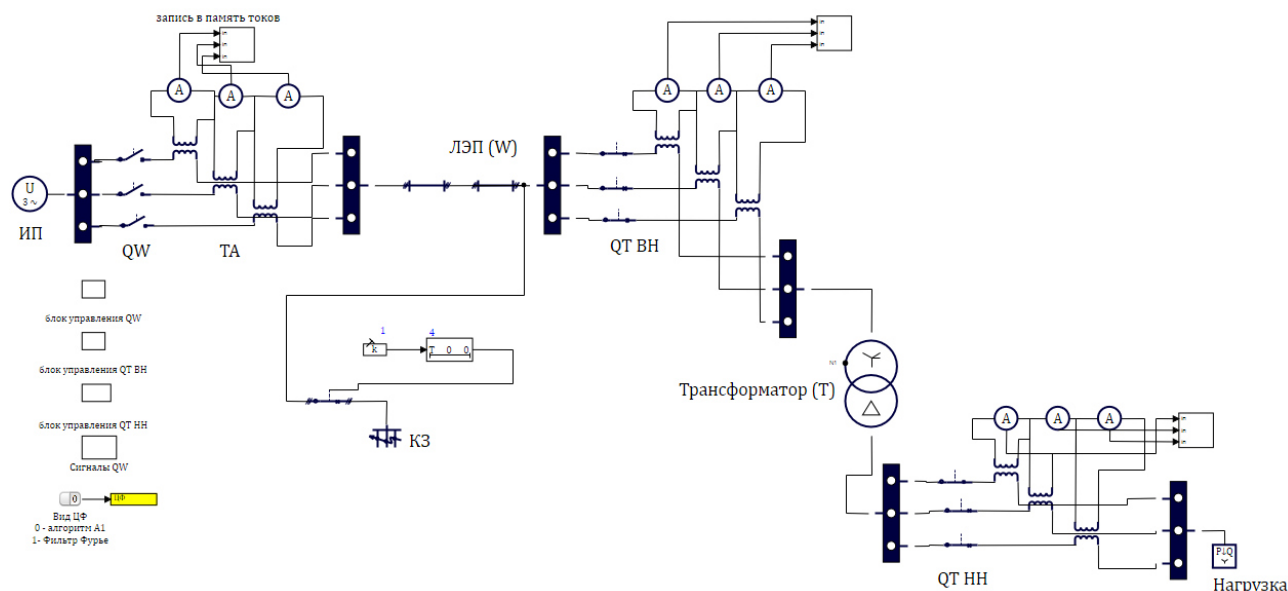


Рис. 1 — Исследуемая модель энергосистемы

Блок релейной защиты линии, входящий в состав блока управления выключателем QW (рис. 2), подключается к первичной схеме через трансформаторы тока (ТА), для моделирования которых без учета магнитных свойств стали использовался блок идеального трансформатора. Коэффициенты трансформации ТА заданы с учетом максимального рабочего тока для данной схемы. Сигналы вторичных токов поступают в блок РЗ, где происходит их дискретизация по времени и цифровая обработка согласно выбранному алгоритму. В данной статье для примера рассматривается сравнение простейшего алгоритма выделения действующего значения по двум выборкам (алгоритм А1) [3] и цифрового фильтра Фурье [4], требующего наличия выборок за период промышленной частоты. Вид цифрового фильтра задается положением кнопки «Вид ЦФ» (рис. 1). Пример реализации модели алгоритма А1 приведен на рис. 2. В зависимости от значения сигнала «ЦФ» от кнопки выходной сигнал или с выхода алгоритма А1 или с фильтра Фурье поступает на вход логической части.

В логической части реализована модель двух ступеней токовой защиты линии: токовая отсечка (ТО) и максимальная токовая защита (МТЗ). С учетом параметров первичной схемы рассчитан ток максимального рабочего режима линии и ток короткого замыкания в конце линии (погрешность расчетов по сравнению с полученными данными по модели не превышает 1%). Согласно полученным значениям рассчитаны и заданы уставки срабатывания реле защиты (91 А для ТО, 3.03 А для МТЗ). Время срабатывания ТО принято равным нулю, МТЗ – 0.05 с. Поскольку ТО не имеет выдержки времени, применена модель цифровой отстройки от броска намагничивающего тока (БНТ) трансформатора. Данная блокировка позволяет действовать ТО, если содержание второй гармоники во входном токе не превышает 15 % по отношению к содержанию основной гармоники. Выделение второй гармоники производится при помощи цифрового



фильтра Фурье, аналогично фильтру основной частоты. При наличии сигнала или с выхода ТО или с выхода МТЗ подается сигнал на отключение выключателя QW.

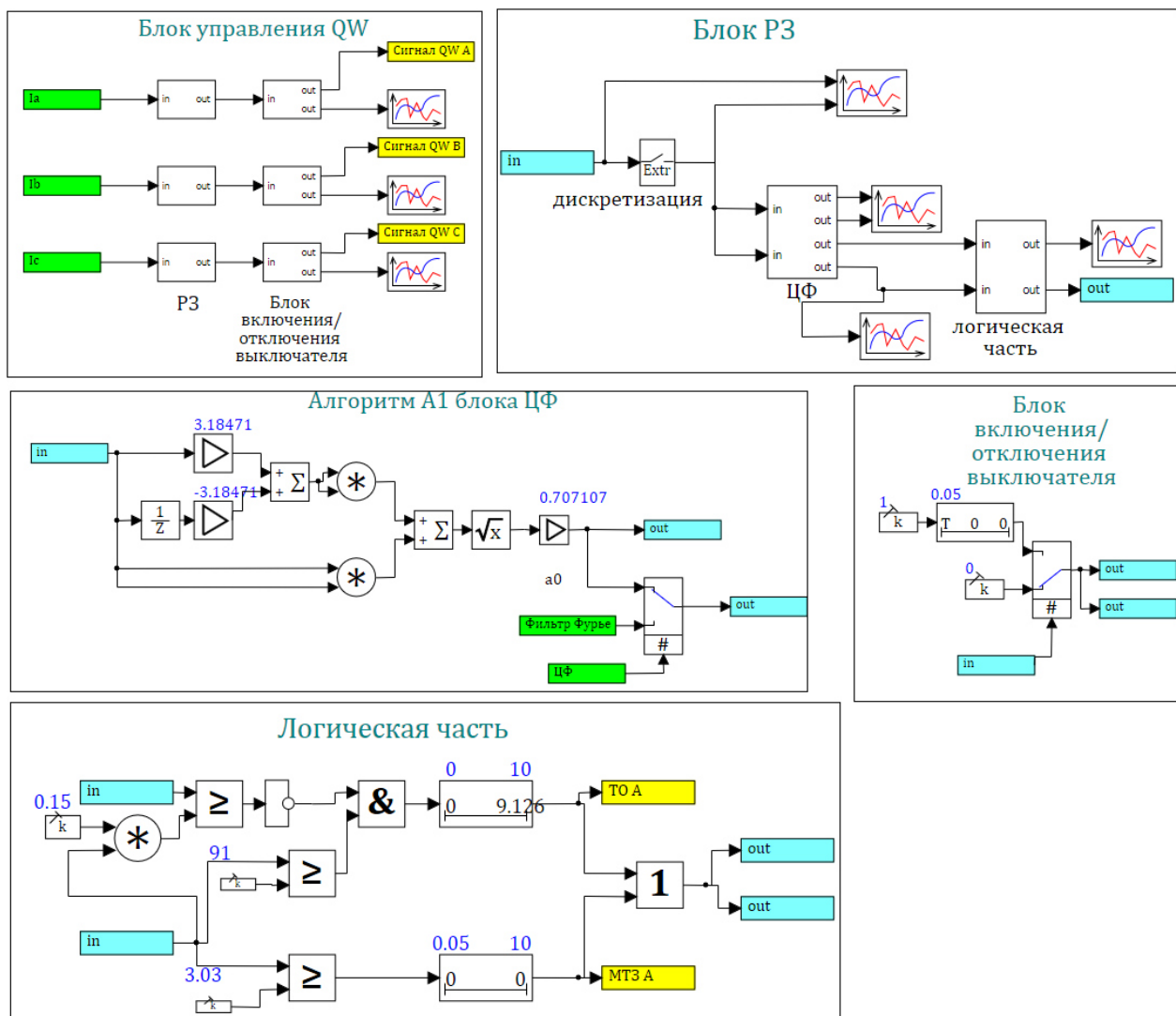


Рис. 2 — Блок управления выключателем QW

Для анализа работы модели защиты рассматривалась следующая последовательность событий:

- в начальный момент времени все выключатели схемы отключены, в момент 0.05 с включается линия;
- в момент 0.1 с включается QT НН, через 0.05 с включается QT ВН;
- в момент 4 с происходит трехфазное КЗ.

Для анализа работы ТО КЗ выполнялось в середине линии (как и показано на рис. 1), для МТЗ – в конце линии.

График тока фазы А и выходные сигналы цифровых фильтров до КЗ представлены на рис. 3. При включении линии на холостой ход через выключатель протекает емкостной высокочастотный ток, при включении трансформатора происходит бросок тока, но его значение невелико. Анализируя графики, можно утверждать, что алгоритм А1, как и предполагает его принцип работы,

обладает большим быстродействием, но разброс выходного сигнала значительно выше, чем для фильтра Фурье. Соответствующие графики при КЗ в конце линии показаны на рис. 4. Скорость изменения сигнала в переходном режиме для алгоритма А1 значительно выше, чем для алгоритма Фурье, но и погрешность в установившемся режиме оказывается выше.

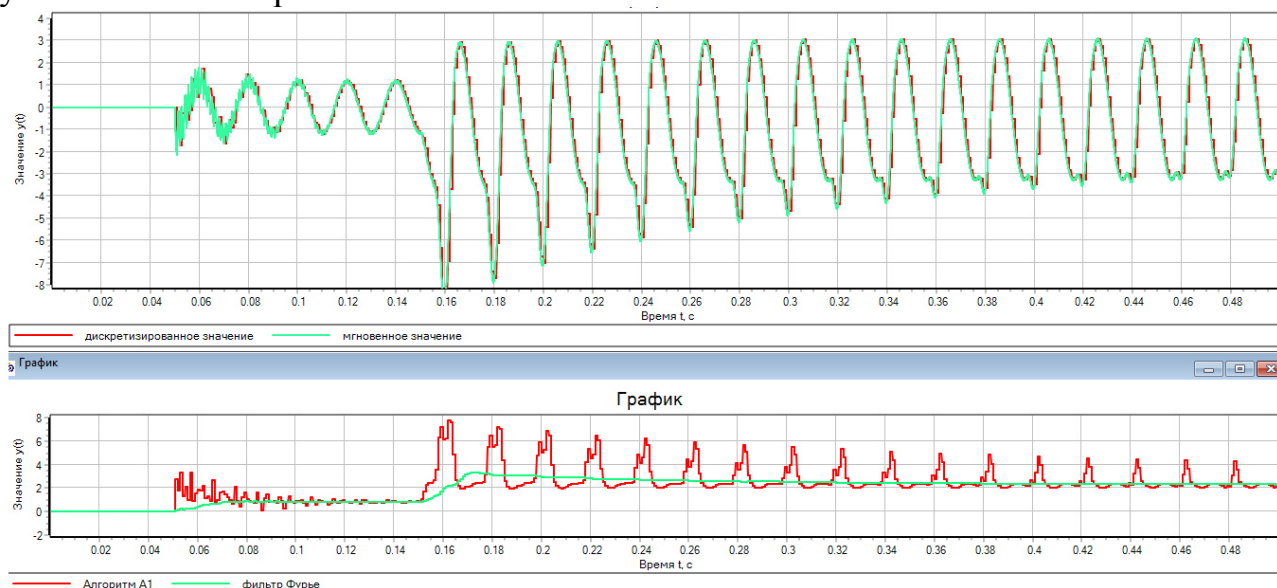


Рис. 3 – Мгновенные и действующие значения тока фазы А до КЗ

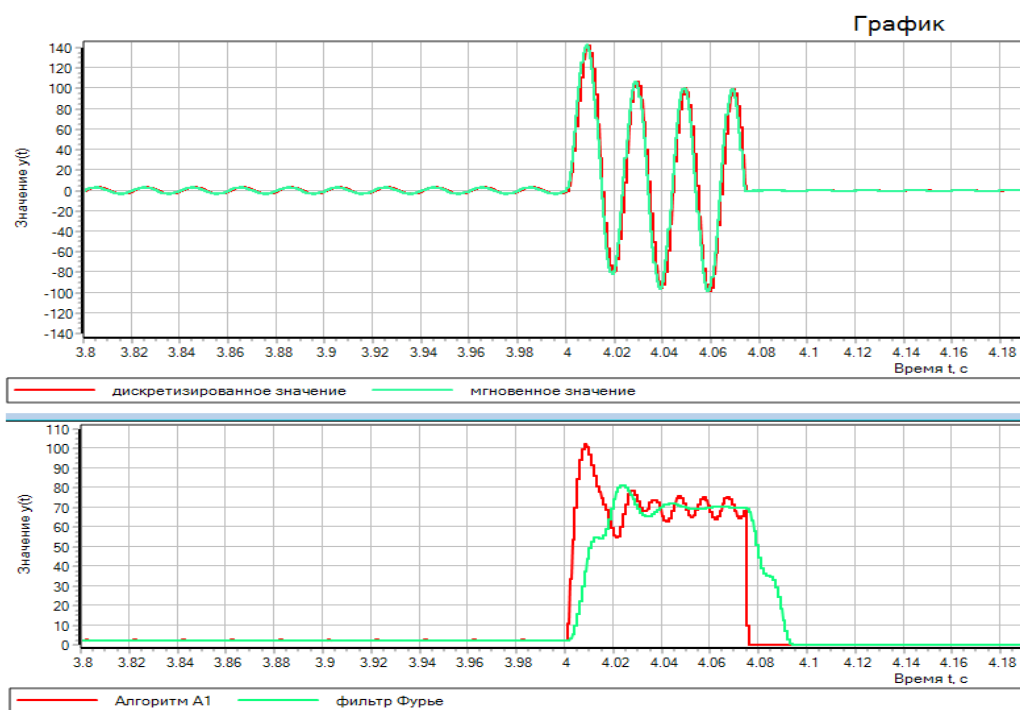


Рис. 4 – Мгновенные и действующие значения тока фазы А во время КЗ

Так как рассматривалось КЗ в конце линии, верно срабатывает МТЗ и с выдержкой времени относительно начала КЗ 0.05 с отключает поврежденную линию.

При КЗ в середине линии получены выходные сигналы срабатывания ТО, МТЗ и реле положения выключателя «Включено» при использовании алгоритма А1 и фильтра Фурье (рис.5).

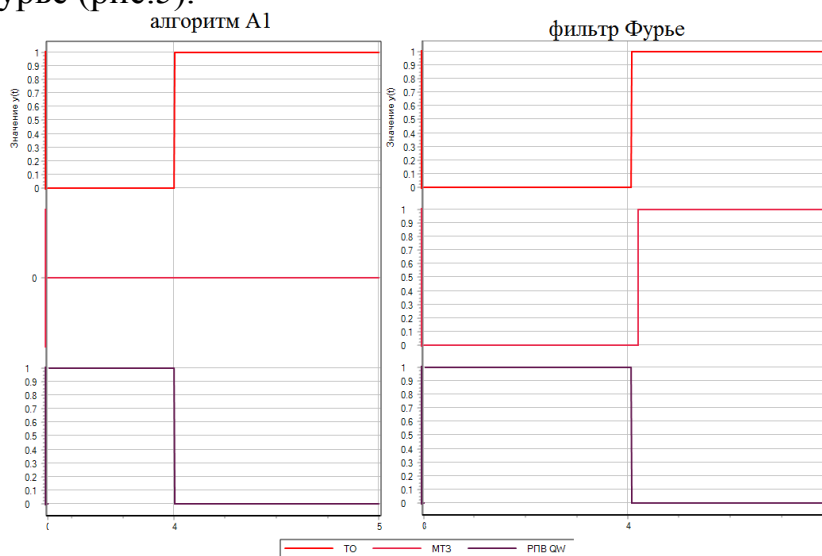


Рис.5 – Выходные сигналы защит и выключателя

При помощи моделирования обнаружено, что во-первых, для алгоритма А1 сигнал на отключение выключателя подается практически мгновенно по сравнению с алгоритмом Фурье, где для обнаружения аварийного режима потребовалось время, практически равное периоду основной частоты. Во-вторых, поскольку скорость обнуления выходного сигнала после отключения линии для фильтра Фурье низкая, помимо пуска быстродействующей ступени также появляется сигнал с выхода МТЗ. Данное обстоятельство может повлиять на правильность расшифровки данных аварийных осциллограмм и вызвать трудности определения сработавшей защиты.

Таким образом, на примере простейшей защиты линии электропередачи в статье рассмотрены принципы имитационного моделирования в среде SimInTech.

#### Литература

1. Гарбарт А.И., Саенко Я.Д. SIMULINK И MATLAB SYSTEM IDENTIFICATION TOOLBOX – ИНСТРУМЕНТАРИЙ СОВРЕМЕННОГО ИНЖЕНЕРА // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 5. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=18936> (дата обращения: 05.10.2021).
2. Справка по SimInTech: <http://simintech.ru>.
3. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита / Э.М. Шнеерсон. - М.: Энергоатомиздат, 2007. - 549 с.
4. Ковженкин, В. С. Оценка точности работы фильтров Фурье в устройствах релейной защиты при несинусоидальных и нестационарных входных сигналах / В. С. Ковженкин, Л. В. Вайтеленок // Оборудование и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Сборник материалов III Поволжской научно-практической конференции. В 2-х томах, Казань, 07–08 декабря 2017 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2017. – С. 125-132.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-10 кВ**

Для обеспечения надежности электроснабжения потребителей в электрических сетях 6-10 кВ применяют компенсированный режим заземления нейтрали с установкой дугогасящих реакторов (ДГР), обеспечивающих компенсацию емкостных токов однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) [1,2].

По электрическим сетям 6-10 кВ тринадцати подстанций (ПС) напряжением 35-110/6-10 кВ филиала ПАО «Россети» было проведено исследование существующих систем компенсации с целью оценки их работоспособности, эффективности и соответствия требованиям нормативно-технической документации (НТД) по режимам нейтрали электрических сетей [3-5].

В ходе исследований был проведен анализ информации по системам компенсации и их электрическим схемам, дана оценка их параметров и характеристик по следующим направлениям:

1. Технические характеристики кабельно-проводниковых систем электрических сетей:

- число и протяженность воздушных линий (ВЛ), кабельных линий (КЛ), смешанных кабельно-воздушных линий (КВЛ);
- конструктивное исполнение линий электропередач (марки проводов и кабелей, типы опор ВЛ);
- сроки службы (эксплуатации) ВЛ, КЛ и КВЛ.

2. Характеристика центров питания – ПС-110/35/6-10кВ, 110/6-10кВ, 35/6-10кВ: число ПС и силовых трансформаторов на ПС, режимы работы секций сборных шин (СШ) 6-10кВ двух трансформаторных ПС, количество и протяженность КЛ и ВЛ по каждой ПС.

3. Особенности построения электрических схем городских электрических сетей, сетей сельских территорий и электроснабжения потребителей от ТП 6-10/0.4кВ.

4. Состав и технические характеристики основных элементов систем компенсации:

- ДГР;
- нейтралеобразующих (заземляющих) устройств, присоединительных трансформаторов дугогасящих реакторов (ТДГР);
- устройств ручной и автоматической настройки и управления ДГР.

5. Точки и способы подключения ДГР с указанием ПС, номинального напряжения секции СШ, даты ввода систем в эксплуатацию.

6. Объемы, периодичность и результаты технического обслуживания, эксплуатирующих испытаний (измерений).

7. Значения емкостных токов ОЗЗ электрических сетей 6-10кВ, полученных по расчетам с использованием данных электрических схем или по замерам при опытах ОЗЗ на СШ ПС.

8. Статистика технологических нарушений (аварий) вида «земля» в электрических сетях 6-10 кВ за 2014-2020 г.г. и характеристики их последствий.

В рассмотренных системах компенсации емкостных токов ОЗЗ встречаются ДГР четырех разных типов с различными видами устройств управления, как ручными, так и автоматическими. Подключение ДГР к сборным шинам (СШ) 6-10 кВ ПС осуществляется с использованием трех видов нейтралеобразующих устройств. Типы используемых элементов устройств компенсации (ДГР + ТДГР + устройство управления) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Элементы устройств компенсации.

| ДГР    | Устройство управления | ТДГР         |
|--------|-----------------------|--------------|
| РОУМ   | САМУР                 | ФМЗО         |
| РДМК   | Бреслер-0107.060      | ФНПМ         |
| РЗДПОМ | МИРК-5                | ФМЗН<br>ФМЗО |
| ЗРОМ   | ручное                | ТМ           |
| РЗДПОМ | МИРК-2                | ТМ           |

Результаты исследований по оценке работоспособности, по организации эксплуатации и степени выполнения требований НТД к системам компенсации емкостных токов в электрических сетях 6-10кВ позволяют сформулировать рекомендации по дальнейшей рациональной эксплуатации уже установленных систем.

При проведении замеров емкостных токов ОЗЗ на СШ необходимо проводить измерения напряжений смещения нейтрали и токов ДГР при вводе ДГР в эксплуатацию и при значительных изменениях режимов работы сети, но не реже 1 раза в 6 лет.

С целью оценки изменения емкостных токов по ПС и линий при отключениях и изменениях электрических схем сети необходимо проведение анализа перспективных планов по автоматизации распределительных сетей 6-10кВ, установке секционирующих аппаратов и пунктов АВР для резервирования линий электропередачи.

Для оценки естественной несимметрии необходимо проведение анализа электрических схем сетей и выявление двухпроводных ответвлений к однофазным потребительским ТП -6-10/0,4кВ по ВЛ6-10кВ и СШ ПС.

При проведении замеров емкостных токов электрических сетей при ОЗЗ на СШ 6-10кВ следует снимать показания вольтметров по фазам.

На ПС с установкой ДГР необходимо при проведении опыта ОЗЗ замерять значения токов при отключенных ДГР. Кроме того, при включенных ДГР следует зафиксировать остаточные токи ОЗЗ, токи реакторов, напряжения смещения нейтрали, расстройку – такая информация может быть получена с использованием автоматических регуляторов ДГР.

На ПС с системами компенсации «ДГР + автоматика» следует провести осциллографирование переходных процессов при проведении опытов ОЗЗ, и по осциллограммам установить такие важные показатели как амплитуды емкостного тока основной частоты и гармонических составляющих, величины активных составляющих тока, характер изменения фазных напряжений при возникновении и протекании ОЗЗ, время и скорость выхода ДГР на установившейся режим компенсации, точность настройки системы компенсации.

Для объективной и полной оценки эффективности функционирования, оценки текущего технического состояния систем компенсации емкостных токов в электрических сетях предприятия следует создать единую базу данных с техническими характеристиками ДГР, ТДГР, устройств управления, электрическими схемами и описанием возможных режимов (емкостных токов) электрических сетей, результатов выполнения функций ДГР при ОЗЗ. Для формирования такой базы рекомендуется разработка и применение инструкций по ведению режима компенсации.

Для организации контроля режимов эксплуатации электрооборудования систем и работы ДГР при технологических нарушениях в электрических сетях 6-10кВ вида «земля» необходима информация – техническая и эксплуатационная. В настоящее время она сосредоточена по различным подразделениям энергосистемы: службам распределительных сетей, ПС, релейной защиты и автоматики, диагностики, диспетчерской. Это не позволяет оперативно оценить работу ДГР, находить причины возможных сбоев или недостатков в работе, оценить допустимость режимов ДГР и др. Поэтому необходима разработка инструкций по эксплуатации систем компенсации емкостных токов ОЗЗ в электрических сетях 6-10кВ.

Эти инструкции должны быть чётко привязаны к конкретной сети и ДГР, установленных в этой сети, и включать следующие разделы:

1. Технические данные основных элементов систем компенсации.
2. Описание работы устройств автоматики.
3. Ведение режима компенсации с указаниями для оперативного персонала его действий при работе ДГР в режиме ОЗЗ и фиксирование параметров (токов и напряжений).
4. Надзор за работой ДГР при длительном режиме ОЗЗ.

Аналогичные журналы должны быть разработаны для ТДГР, устройств настройки и управления ДГР, а также необходимы журналы, содержащие информацию по проведению, результатам, планам проведения эксплуатационных испытаний электрооборудования и автоматики управления.

Для решения всех вопросов по состоянию, контролю систем компенсации и ведению режимов компенсации следует назначать квалифицированного специалиста.

Выполнение изложенных рекомендаций позволит получить точную и достоверную информацию по компенсации емкостных токов для решения следующих общих задач:

- проверка соответствия параметров установленных систем компенсации емкостных токов требованиям нормативов и их выполнения;
- проверка и корректировка параметров настройки устройств управления ДГР;
- планирование реконструкцию и развитие электрических сетей 6-10кВ с целью оптимизации режимов нейтрали и обоснования установки систем компенсации на ПС с электрическими токами сети 6-10кВ не менее 10А;
- проведение сравнительной оценки эксплуатируемых систем компенсации с различными сочетаниями «ДГР + автоматика» с целью выбора для дальнейшего возможного применения в электрических сетях энергопредприятий системы с наиболее эффективной компенсацией емкостных токов ОЗЗ.

#### Литература

1. РД 34.20.179 (ТИ 34-70-070-87) Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35кВ.
2. СТО 34.01.3.2.-008-2017. Реакторы заземляющие дугогасящие 6-35кВ. Общие технические требования. ПАО «Россети». 2017 г.
3. ПУЭ – разд.1 «Общие правила». Утв. Приказом министерства энергетики РФ от 08.07.2002 г. №204 «Об утверждении глав правил устройства электроустановок». Спб.: ДЕАН, 2002. 176 с.
4. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. М.: Энергосервис, 2003. 151 с.
5. СТО 34.01-23.1-001-2017 Объем и нормы испытаний электрооборудования. Стандарт организации ПАО «Россети». 2017. 262с.

*В.П. Кавченков, д. т. н., проф*  
*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске),*  
*А.А. Назаров*  
*(Филиал АО «СО ЕЭС» Смоленское РДУ)*

## **ВЫБОР ПРИОРИТЕТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РЕЖИМНОЙ НАДЕЖНОСТИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭЭС**

Одной из важных задач, решаемых региональными диспетчерскими центрами (ДЦ) является планирование ремонтов оборудования электрических сетей с целью обеспечения надежного электроснабжения потребителей и выполнения требований и нормативных показателей обеспечения режимной надежности энергосистемы (ЭЭС). Учитывая переход ПАО «Россети» на риск-ориентированное управление с использованием новых цифровых технологий, оперирующих большими базами данных, необходима разработка новых методов комплексного анализа технического состояния и надежности объектов электроэнергетики, которые бы обеспечивали ДЦ принятие оптимальных управленческих решений.

В рассматриваемой методике предлагается обобщить традиционный подход, по которому перечень подлежащих техническому обслуживанию и ремонту объектов ЭЭС составляется не только по их техническому состоянию, но и с учетом риска наступления негативных последствий для ЭЭС и потребителей при отказе оборудования [1,2]. В таблице 1 представлены показатели, которые

предлагается использовать для получения обобщенного интегрального показателя, по которому оборудование ЭЭС будет ранжировано по убыванию их надежности и возрастанию риска наступления негативных последствий при аварийном отключении.

Таблица 1. Показатели, выбранные для анализа надежности оборудования ЭЭС

| Показатели   | Условное обозначение | Единица измерения |
|--|----------------------|-------------------|
| Число отключений после капитального ремонта  | $N_{откл}$           | Шт.               |
| Индекс технического состояния  | ИТС                  | о.е.              |
| Коэффициент риска наступления негативных последствий при аварийном отключении оборудования | P                    | о.е.              |

Приведенные в таблице 1 показатели имеют разные размерности. Поэтому в начале их необходимо привести к единой шкале измерений. Для этого возможный диапазон изменения каждого показателя разбивается на пять интервалов по аналогии с оценкой ИТС и принятой системой классификации качества ремонта [2,3]. Ширина интервалов индивидуальна и зависит от свойств рассматриваемых показателей. Каждому интервалу присваивается порядковый номер от 1 до 5, в порядке возрастания или убывания, который называется рангом. В таблице 2 показан пример ранжирования показателей надежности оборудования ЭЭС по убыванию их надежности и возрастанию риска наступления негативных последствий при аварийном отключении.

Таблица 2. Ранжирование показателей надежности для основного оборудования ЭЭС

| Показатель | Ранги и интервалы показателей |          |         |          |        |
|------------|-------------------------------|----------|---------|----------|--------|
|            | 5                             | 4        | 3       | 2        | 1      |
| $N_{откл}$ | 0                             | 1        | 2       | 3        | > 4    |
| ИТС        | 0,85–1                        | 0,7–0,85 | 0,5–0,7 | 0,25–0,5 | < 0,25 |
| P          | < 0,2                         | 0,2–0,4  | 0,4–0,6 | 0,6–0,8  | 0,8–1  |

Для вычисления итогового интегрального показателя  $K$  - приоритетности выполнения ремонтов оборудования, представляющего собой относительную сумму рангов, используется формула:

$$K = \frac{[\sum_{j=1}^n r_j]}{n \cdot m}, \quad (1)$$

где  $r_j$  – ранг  $j$ -го показателя  $k$ -го объекта;  $m$  – число рангов;  $n$  – число показателей.

Предлагается следующая классификация соответствия возможного изменения значений интегрального показателя  $K$  объекта рекомендациям по ремонту и управлению режимами работы ЭЭС:



- если  $0,2 \leq K \leq 0,4$  – требуется внеплановый ремонт в ближайшее время (свободное «окно»). Управление режимом осуществляется по критерию  $(n-2)$  района, в который входит данное оборудование;
- если  $0,4 < K \leq 0,6$  – требуется внеплановый ремонт, который необходимо включить в месячный график ремонтов. Управление режимом осуществляется по критерию  $n - 1$ , но с учетом контроля времени аварийной готовности смежного оборудования, выведенного в ремонт;
- если  $0,6 < K \leq 0,8$  – внеплановый ремонт не требуется, работы можно провести в соответствии с годовым планом ремонтов. Управление режимом осуществляется по критерию  $n - 1$ ;
- если  $0,8 < K \leq 1$  – ремонт не требуется. Управление режимом осуществляется по критерию  $n - 1$ .

На основании данных рекомендаций составляется график ремонтов оборудования, который будет учитывать характеристику технического состояния, надежности и риска последствий нарушений послеаварийного режима.

Рассмотрим пример расчета интегрального показателя  $K$  для тестовой ЭЭС IEEE-14 (рис.1) и определим приоритетность ремонтов оборудования и рекомендации по критериям управления режимом работы ЭЭС [5,6].

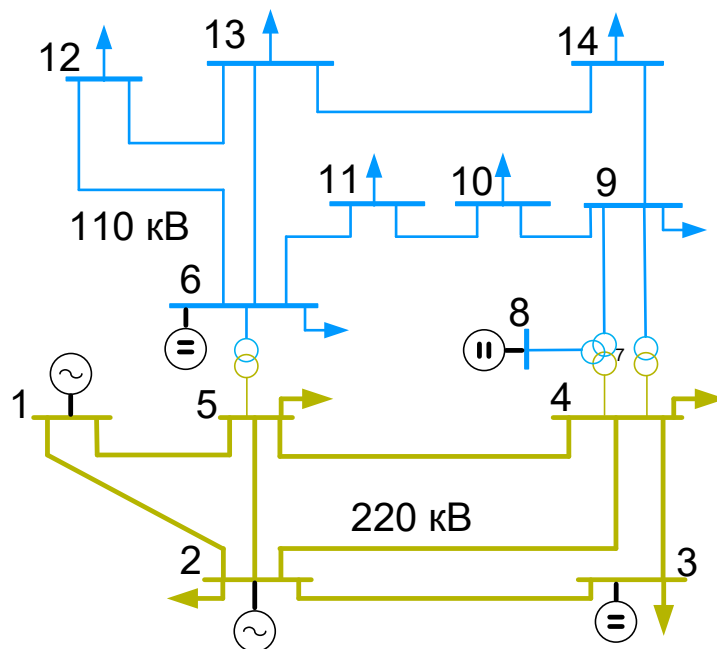


Рис.1. Тестовая схема энергосистемы IEEE-14

При проведении расчетов учтено, что генерация узлов соответствует экономически эффективной, а отклонение от нее, путем включения генерации в узле 2 повышает конечную цену электроэнергии для потребителей. Нагрузка потребителей соответствует зимнему максимуму.

Значения интегрального показателя  $K$  для ветвей исследуемой ЭЭС IEEE-14 представлены в порядке возрастания в таблице 3.

На основании полученных значений интегрального показателя  $K$  произведено ранжирование элементов ЭЭС по приоритетности выполнения ремонтов с учетом разных свойств и показателей надежности ЛЭП. Из рассмотренных элементов ЛЭП 4-5, ЛЭП 1-2, ЛЭП 3-4, ЛЭП 6-12 имеют наименьшее значение интегрального показателя  $K$ . Их неплановый ремонт рекомендуется запланировать на ближайшее время. При этом электроэнергетический режим в районе, в который входят эти ЛЭП, должен вестись по критерию  $n - 2$  с выполнением необходимых режимных мероприятий по недопущению выхода параметров режима из области допустимых значений при их аварийном отключении. Эти мероприятия могут включать в себя работу (загрузку выше планового диспетчерского графика) неэффективной генерации в узлах, где по условиям начальной схемы генерация отключена (разгружена), так и мероприятия по превентивному изменению топологии электрической сети.

Таблица 3. Классификация оборудования ЭЭС, ранжированного с учетом приоритетности выполнения ремонтов

| Наименование ветви ЛЭП |       | $K$   | Интервалы классификации | Рекомендации по планированию ремонтов   | Рекомендации   |
|------------------------|-------|-------|-------------------------|---|--|
| Начало                 | Конец |       |                         |   |  |
| 4                      | 5     | 0,333 | $0,2 \leq K \leq 0,4$   | Требуется внеплановый ремонт в ближайшее время (свободное «окно»)                               | Управление режимом ЭЭС по критерию $n - 2$ района, в который входит данная ЛЭП   |
| 1                      | 2     | 0,4   |                         |   |  |
| 3                      | 4     | 0,4   |                         |   |  |
| 6                      | 12    | 0,4   |                         |   |  |
| 2                      | 3     | 0,533 | $0,4 < K \leq 0,6$      | Требуется внеплановый ремонт, который необходимо включить в месячный план                       | Управление режимом ЭЭС по критерию $n - 1$ для района, в который входит данная ЛЭП, но с учетом контроля аварийной готовности смежного оборудования, выведенного ремонт. |
| 6                      | 13    | 0,533 |                         |   |  |
| 7                      | 9     | 0,533 |                         |   |  |
| 9                      | 14    | 0,533 |                         |   |  |
| 12                     | 13    | 0,533 |                         |   |  |
| 5                      | 6     | 0,6   | $0,6 < K \leq 0,8$      | Внеплановый ремонт не требуется, работы можно провести в соответствии с годовым планом ремонтов | Управление режимом ЭЭС по критерию $n - 1$   |
| 1                      | 5     | 0,667 |                         |   |  |
| 2                      | 5     | 0,667 |                         |   |  |
| 4                      | 7     | 0,667 |                         |   |  |
| 4                      | 9     | 0,667 |                         |   |  |
| 2                      | 4     | 0,733 |                         |   |  |
| 7                      | 8     | 0,733 | $0,8 < K \leq 1$        | Ремонт не требуется   |  |
| 6                      | 11    | 0,867 |                         |   |  |
| 9                      | 10    | 0,867 |                         |   |  |
| 13                     | 14    | 0,867 |                         |   |  |
| 10                     | 11    | 0,933 |                         |   |  |

Разработанная методика может быть использована ДЦ и сетевыми предприятиями при планировании графиков ремонтов и управлении режимом работы ЭЭС.

#### Литература

1. V. P. Kavchenkov and A. A. Nazarov. Assessment of the Electric Power System Elements Reconstruction Priority Taking into Account Mode Reliability. // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engi-

neering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok – P. 9271238. – DOI 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271238. P/ 1– 5.

2. Назаров А. А., Кавченков В. П. Разработка методики оценки надежности и приоритетности ремонтов в региональной энергосистеме с учетом возможного риска. // Электроэнергия. Передача и распределение. № 3(60), 2020. С. 50 –57.

3. Назаров А. А., Кавченков В. П. Методика ранжирования элементов энергосистемы для их реконструкции с учетом режимной надежности. // Энергетик. № 10, 2021. С. 20 –25.

4. Назаров А. А., Кавченков В. П. Ранжирование вариантов реконструкции элементов энергосистем с учетом режимной надежности. // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 72. Надежность систем энергетики в условиях их цифровой трансформации. В 2-х книгах. / Книга 1 / Отв. ред. Н.И. Воропай. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2021. С.363 –372.

5. Назаров А. А., Кавченков В. П. Методика и алгоритм оценки схемно-режимной значимости элементов энергосистем // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 72. Надежность систем энергетики в условиях их цифровой трансформации. В 2-х книгах. / Книга 2 / Отв. ред. Н.И. Воропай. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2021. С. 291–299.

*Д.В. Кудянова, студ.; Е.С. Андреенков, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОСЕТЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДАТА-ЦЕНТРОВ**

Цифровые информационные системы являются неотъемлемой частью жизни современного общества, что привело к быстрому росту числа и размеров центров хранения и обработки данных (ЦХОД – это специализированные здания для размещения серверного и сетевого оборудования и подключения абонентов к каналам сети Интернет) по всему миру.

Было подсчитано, что энергопотребление таких центров по всему миру в 2010 году составило 1,1-1,5% от общего мирового энергопотребления, что обеспечило примерно 2% выбросов  $CO_2$ . В связи с быстрым ростом цифровизации в развивающихся странах ожидается увеличение энергопотребления ЦХОД с 10 МВт до 50 МВт [1].

В таких центрах 50% от общего энергопотребления приходится на поддержание работоспособности оборудования, остальная часть энергии теряется в распределительных сетях, преобразователях, а также расходуется на кондиционирование и отопление. Поэтому задача повышения эффективности энергоснабжения ЦХОД является актуальной.

В связи с активным внедрением в энергосистему ВИЭ (возобновляемых источников электроэнергии) и увеличением нагрузок на преобразователи мощности, всё более актуальным способом повышения энергоэффективности систем электроснабжения становится применение микросетей (*Micro Grids*) постоянного тока, что позволяет уменьшить количество ступеней трансформации и преобразования электроэнергии при комплексном использовании ВИЭ.

В рамках данного исследования была рассмотрена возможность разработки энергоэффективной системы электроснабжения дата-центров на основе микросетей постоянного тока.

Общая структурная схема системы электроснабжения ЦХОД на базе переменного тока показана на рисунке 1. Система подключается к сети переменного тока через входной преобразователь, где входное напряжение переменного

тока сначала преобразуется в постоянное, а затем снова преобразуется в переменное и подаётся на распределительный блок. Шина постоянного тока, соединяющая два преобразователя, необходима для включения в схему источника бесперебойного питания (ИБП), являющегося по сути аккумуляторным накопителем энергии. В общем случае конфигурация ЦХОД может быть разной, но ИБП является ключевым элементом для обеспечения бесперебойности электроснабжения.

Каждый серверный шкаф ЦХОД оснащается своим блоком питания (БП), который преобразует переменное напряжение в постоянное напряжение разных уровней. Напряжение постоянного тока 12 В обычно используют в электронной плате узла локальной сети. Оно дополнительно понижается конвертером постоянного тока («*Point of Load*» – преобразователь напряжения в точке нагрузки (*PoL*)) до 1,8–5 В, что необходимо для питания нагрузки на уровне микросхемы.

Как правило необходимо осуществить от 3 до 5 преобразований напряжения на пути от питающей распределительной сети до микросхемы. При этом только 75-77% электроэнергии поступает на микросхемы, а 23-25% энергии теряется, рассеиваясь в виде тепла [2].

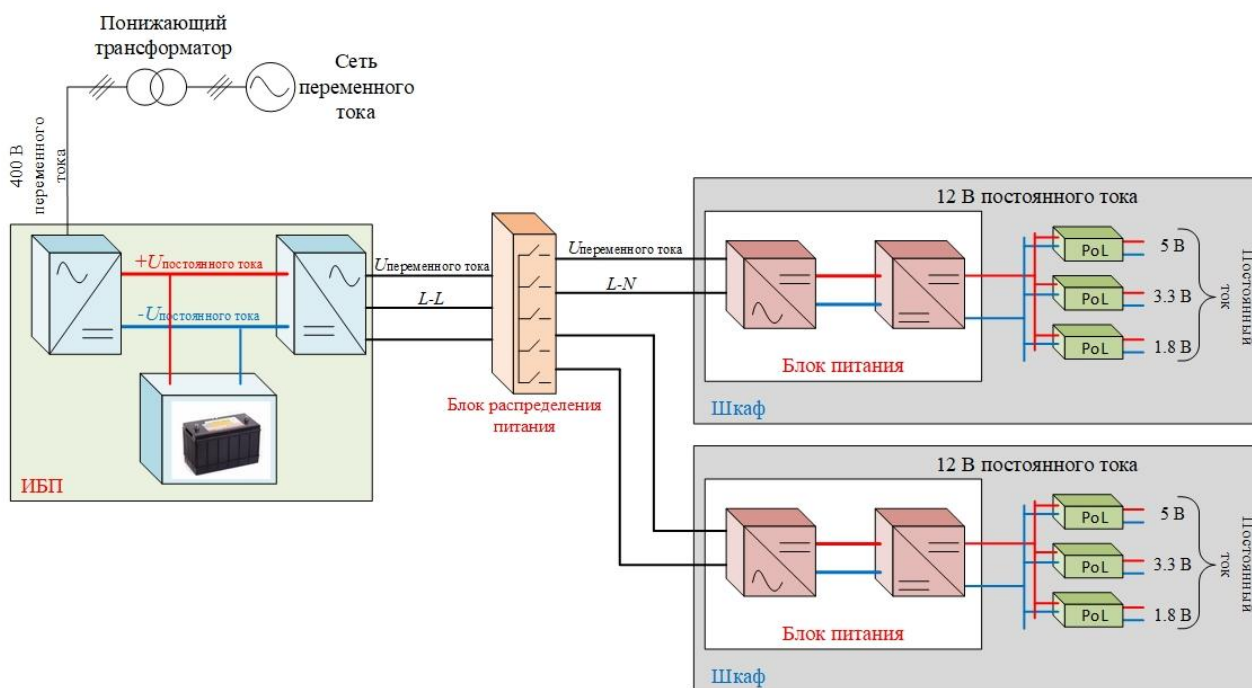


Рисунок 1 – Структурная схема электроснабжения ЦХОД на базе переменного тока

Для контроля температуры в дата-центре рассеиваемое тепло отводится системами кондиционирования воздуха, что требует дополнительного расхода электроэнергии. Поэтому для значительного снижения потребления энергии необходимо комплексное повышение энергоэффективности систем электроснабжения дата-центров. Для этого существует два основных способа:

- уменьшить количество ступеней преобразования так, чтобы меньше энергии рассеивалось в виде тепла, тем самым снижая нагрузку на систему охлаждения;

– увеличить уровень напряжения в системе так, чтобы можно было уменьшить потери при распределении.

Реализовать первый способ можно с помощью микросетей постоянного тока, где напряжение переменного тока во входном преобразователе единственный раз преобразуется в постоянное, питающее общую шину постоянного тока, к которой подключаются все блоки питания и все преобразователи. Структурная схема электроснабжения ЦХОД на базе постоянного тока показана на рисунке 2.

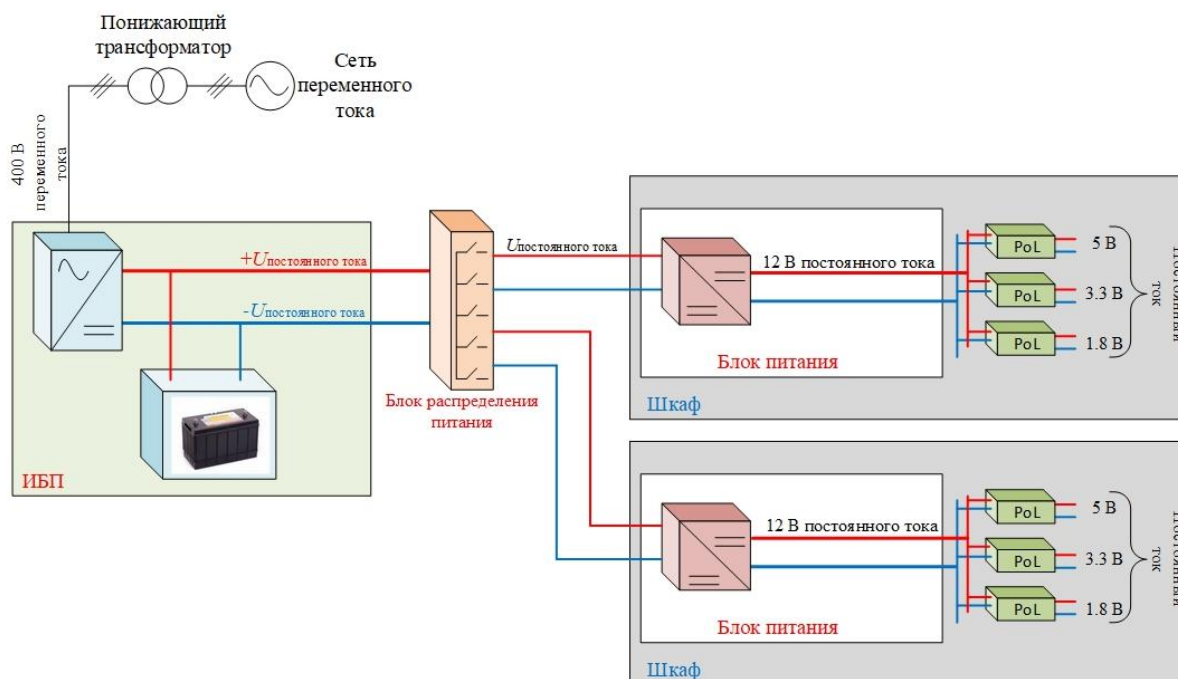


Рисунок 2 – Структурная схема электроснабжения ЦХОД на базе постоянного тока

Такая система обеспечивает более высокую надежность за счет меньшего количества преобразований, и более высокое качество электроэнергии за счет отсутствия высших гармоник.

Одной из задач, которую необходимо решить на пути реализации подобной концепции – выбор оптимального напряжения шины постоянного тока. По результатам проведенных исследований [3] сообщается о преимуществе использования в ЦХОД системы распределения постоянного тока напряжением 380 В. По сравнению с системой переменного тока напряжением 415 В система постоянного тока на 7% эффективнее, на 15% меньше требует капитальных затрат, на 33% занимает меньше площади и на 36% имеет меньшую стоимость в течение всего срока службы. На основании этих данных можно сделать вывод, что уровень напряжения постоянного тока 230-400В является хорошим компромиссом между эффективностью, безопасностью и совместимостью с существующими системами переменного тока.

Рассмотренная технология может дать дополнительные преимущества для реализации концепции зданий, обладающих высокой энергоэффективностью и способных локально вырабатывать энергию для собственных нужд из возобновляемых источников.

#### Литература:

1. J. McClurg, P. S. Shenoy, and R. C. N. Pilawa-Podgurski, «A seriesstacked architecture for high-efficiency data center power delivery», in Proc. IEEE Energy Convers. Congr. Expo. (ECCE), Sep. 2014, pp. 170-177.
2. P. T. Krein, «A discussion of data center power challenges across the system», in Proc. IEEE Int. Conf. Energy Aware Comput., Dec. 2010.
3. G. Allée and W. Tschudi, «Edison redux: 380 Vdc brings reliability and efficiency to sustainable data centers», IEEE Power Energy Mag., vol. 10, no. 6, pp. 50-59, Nov./Dec. 2012.

*Д.В. Кудянова, студ.; Е.С. Андреевков, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ЗАРЯДНЫЕ СТАНЦИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ МИКРОСЕТЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Микросети (*Micro Grids*) постоянного тока (*DC – direct current*) могут быть использованы для повышения производительности электроэнергетических систем с точки зрения их эффективности, надежности и оптимизации затрат.

Темпы энергетического роста в течение следующих 30 лет будут зависеть от того, как эта энергия будет использоваться в основных секторах экономики. В настоящее время около 50% добываемой сырой нефти используется в транспортной сфере, что приводит к значительному загрязнению атмосферы. С целью снижения вредных выбросов происходит постепенный отказ от двигателей внутреннего сгорания, работающих на дизельном топливе или бензине. Поэтому многие автопроизводители все большее внимание уделяют разработке электромобилей, а правительства многих стран субсидируют их реализацию. И можно с уверенностью сказать, что за счет отказа от двигателей внутреннего сгорания и перехода на электрический привод в перспективе до 2050 года потребление электроэнергии в транспортном секторе будет только расти [1].

Подзаряжаемые электромобили хорошо вписываются в концепцию *Smart Grid* (интеллектуальных сетей), предусматривающую широкое внедрение ВИЭ. Подключенные во время зарядки к таким сети электромобили, играют важную роль накопителей электроэнергии, повышающих устойчивость сети за счет возможности обратной передачи электроэнергии в сеть при неустойчивой генерации из ВИЭ [2].

Подзаряжаемые электромобили можно разделить на гибридные электромобили и аккумуляторные электромобили. В гибридных автомобилях обратимый электродвигатель-генератор работает в связке с двигателем внутреннего сгорания, а аккумулятор может заряжаться как от сети, так и от собственной энергоустановки. Такие транспортные средства работают в смешанном режиме, тем самым снижая потребление дизельного топлива или газа.

Аккумуляторные электромобили включают в себя большой аккумулятор в качестве единственного источника энергии для питания тяговых электродвигателей. Решающее значение для таких машин имеет высокоэффективный аккумулятор и наличие инфраструктуры быстрой зарядки.

Существует три типа подзарядки электромобилей, изображенные на рисунке 1: первого уровня, второго уровня и третьего уровня – быстрая зарядка

постоянным током. При зарядке первого и второго уровня переменный ток преобразуется в постоянный с помощью встроенного конвертера в электромобиле. Каждый встроенный в электромобиле конвертер имеет ограниченную пропускную способность и скорость зарядки.

Зарядная инфраструктура и зарядка от розетки относятся к первому уровню, когда для зарядки аккумулятора используется однофазная сеть переменного тока напряжением 110/220/330 В частотой 60/50 Гц. Такой способ заправки автомобиля удобен для домашнего использования, но такой процесс происходит очень медленно. Например, для заправки батареи на дальность поездки 130 км необходимо 16 часов.

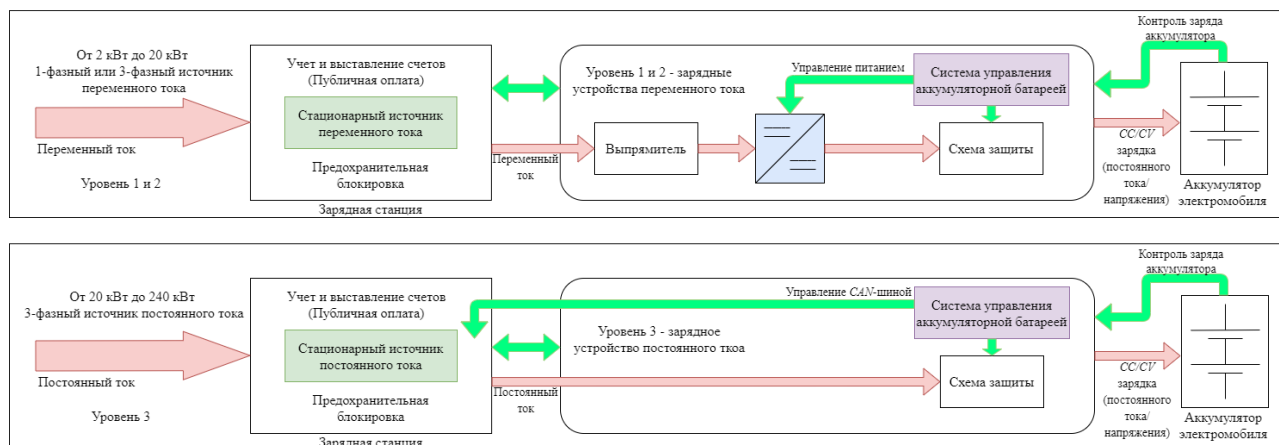


Рисунок 1 – Структурная схема различных типов зарядных систем

Поэтому большинство зарядных станций общего пользования относятся ко второму уровню, где используется трехфазная сеть переменного тока напряжением 400 В частотой 50/60 Гц. Это позволяет заряжать аккумулятор через порт переменного тока *SAE J1772* (североамериканский стандарт электрических разъемов для электромобилей) в течение нескольких часов, то есть это можно считать полубыстрой зарядкой. Например, для зарядки аналогичной батареи на 130 км требуется 3,5 часа.

Основной проблемой первого и второго уровней является ограничение мощности в диапазоне от 2 до 20 кВт, что ограничивает зарядные токи (до 80 А) и замедляет процесс зарядки [3].

Необходимым условием повышения привлекательности технологии электромобилей для потребителей является сокращение времени подзарядки. Обеспечить высокий зарядный токи и сократить время заряда электромобилей, а также снизить вредные выбросы в атмосферу можно при зарядке электромобилей от микросетей постоянного тока с комплексным использованием ВИЭ.

На рисунке 2 показана автономная микросеть постоянного тока, питающая зарядную станцию электромобилей. Рассматриваемая система состоит из ветрогенератора, фотоэлектрических панелей и систем накопления энергии на базе аккумуляторных батарей.

Фотоэлектрический преобразователь подключен к *Micro Grid* постоянного тока через преобразователь постоянного тока, управляемый алгоритмом *Maxi-*



um Power Point Tracker (MPPT – алгоритм слежения за точкой максимальной мощности, при котором солнечный модуль заряжает аккумулятор в точке максимально возможной мощности). Ветрогенератор подключен к *Micro Grid* постоянного тока через преобразователи AC–DC и DC–DC (AC – *alternating current*). В то же время аккумуляторная батарея заряжается и разряжается от микросети с помощью двунаправленного преобразователя DC–DC.

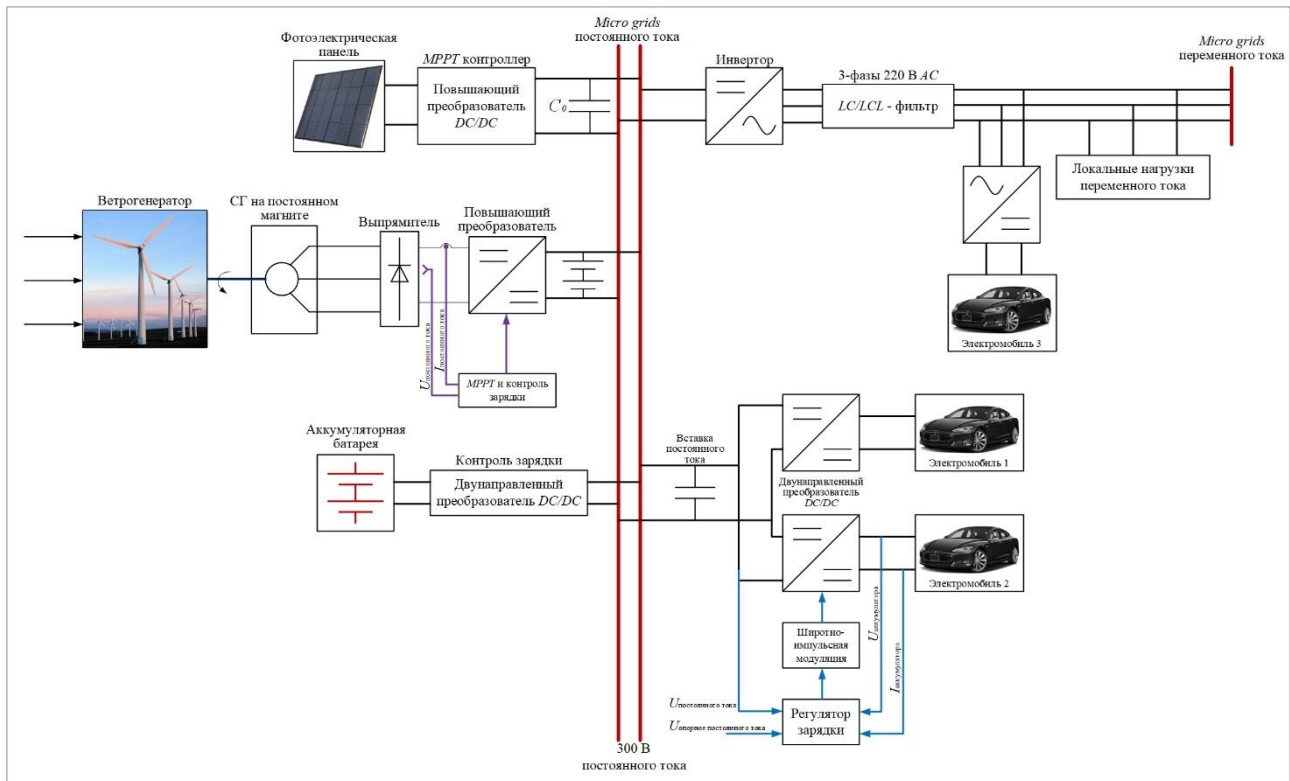


Рисунок 2 – Конфигурация зарядной станции на основе *Micro Grid DC*

В такой системе электромобили являются активными нагрузками. Их аккумуляторы заряжаются от микросети через управляемые двунаправленные DC–DC преобразователи и могут как забирать, так и отдавать электроэнергию в соответствии с условиями выработки ветрогенераторов и фотозлектрических панелей [4].

При правильном проектировании зарядных станций необходимо учитывать, что постоянный ток должен подаваться в аккумулятор при изменении напряжения на постоянном токе в диапазоне 50 – 600 В, чтобы удовлетворять требованиям батарей транспортных средств.

Используя трехфазный источник с постоянным током на выходе такие зарядные станции смогут заряжать автомобильные аккумуляторы за несколько минут. Такой способ зарядки значительно повышает конкурентоспособность электромобилей в сравнении с автомобилями на дизельном или газовом топливе. Таким образом, *Micro Grids* постоянного тока могут изменить представление об использовании электромобилей в эпоху интеллектуальных сетей.

#### Литература:

- Annual Energy Outlook: 2020 edition with Projections to 2050, bp Energy Economics, Washington, DC, USA, 2020.



5. C. Capasso and O. Veneri, «Experimental study of a DC charging station for full electric and plug-in hybrid vehicles», Appl. Energy, vol. 152, pp. 131-142, Aug. 2015.
6. Wikipedia / Nissan Leaf. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Nissan\\_Leaf](https://en.wikipedia.org/wiki/Nissan_Leaf) (дата обращения: 23.09.2021).
7. Sayed, K.; Gabbar, H.; Nishida, K.; Nakaoka, M. A New Circuit Topology for Battery Charger from 200V DC Source to 12V for Hybrid Automotive Applications. In Proceedings of the 2016 IEEE Smart Energy Grid Engineering (SEGE), Oshawa, ON, Canada, 21–24 August 2016; pp. 317–321.

*А.А. Мурашкин, студ.; С.А. Шунаев, ст.преп.  
(Филиал ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## «СКРУГЛЕНИЕ» СИНГУЛЯРНОСТЕЙ ПРИ РАСЧЕТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В настоящее время существует множество программных комплексов, используемых для моделирования конструкций, устройств и процессов во всех областях инженерных, производственных и научных исследований. Одним из них является COMSOL Multiphysics 5.6, который и использовался в данной работе.

Иногда для получения наиболее точных показаний приходится сгущать сетку на углах, но и после этого невозможно определить сходимость электромагнитного поля по величине в данной точке.

Для примера рассмотрим изогнутую медную проволоку (рис. 1). Приложим к её концам напряжение 5 мВ и найдём полный ток. Если использовать сетку с размером *Normal*, получим ток равный 490 А. Затем оцениваем сеточную сходимость, увеличивая плотность сетки. Полученные значения тока изменяются только на несколько мА, а используя более плотную сетку практически отсутствуют какие-либо изменения. Таким образом, на основании полученных данных, можно сделать вывод от том, что результат сходится по сетке, следовательно, достаточно точный.

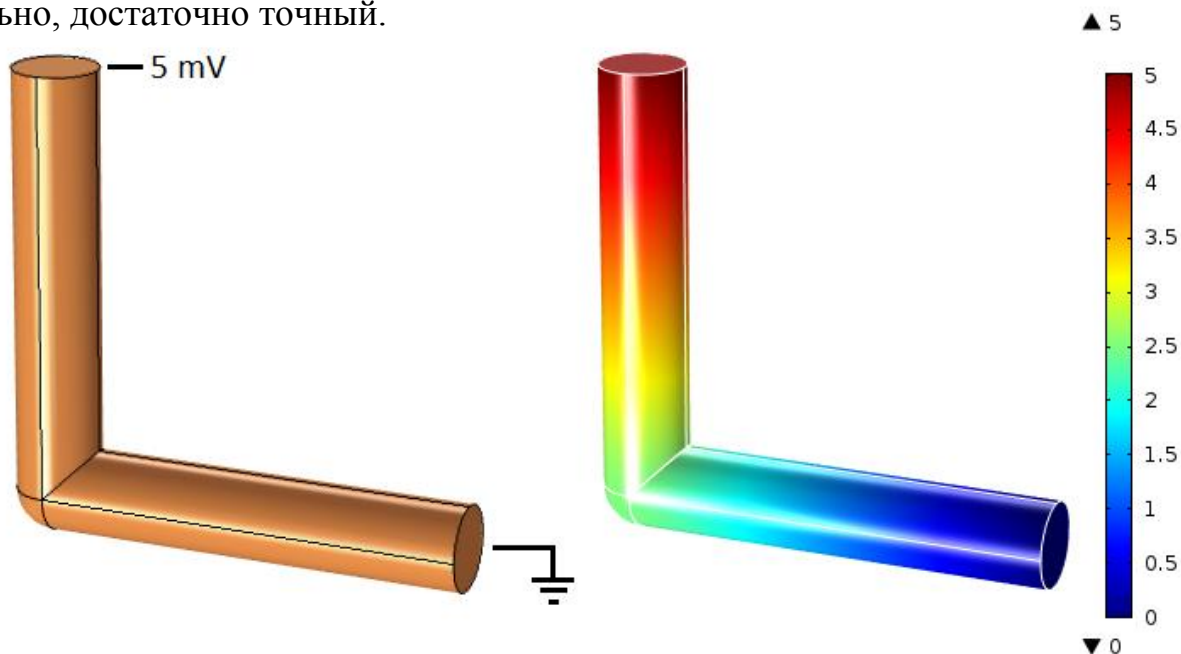


Рисунок 1 – Геометрическая модель провода и расчётное распределение электрического потенциала

Далее оценим *max* плотность тока в проволоке. Если это значение окажется слишком высоким, то в реальном устройстве появится риск повышенного термического износа изоляции проводника, и в конечном итоге может привести к пожару.

Если использовать сетку с размером *Normal* получится, что *max* плотность тока равна  $6,2 \text{ А/мм}^2$ . Данное значение появляется на изгибе проволоки (рис. 2). Для того, чтобы проверить сеточную сходимость этого значения, сгустим сетку в области внутреннего угла изгиба. Получим график зависимости *max* плотности тока от густоты сетки (рис. 3), на котором видно, что даже если увеличить густоту сетки в 200 раз, оценка для *max* плотности тока будет расти. Таким образом, она будет стремиться к бесконечности по мере того, как сгущается сетка. Это явление и называется сингулярностью. Чем острее у модели край, тем выше плотность тока в данной точке.

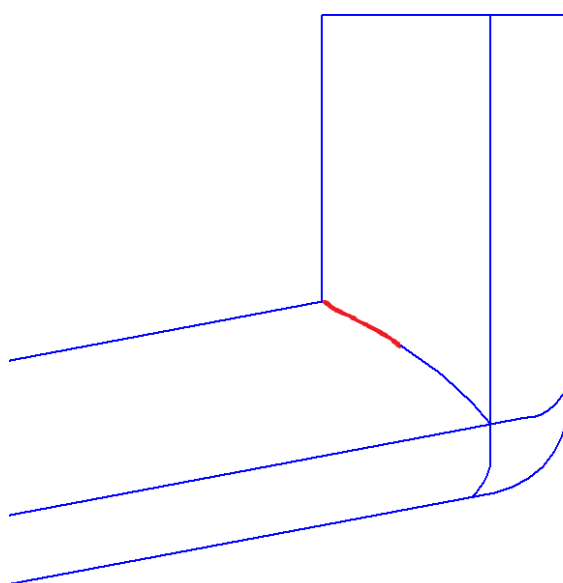


Рисунок 2 - сингулярность для величины плотности тока во внутреннем углу

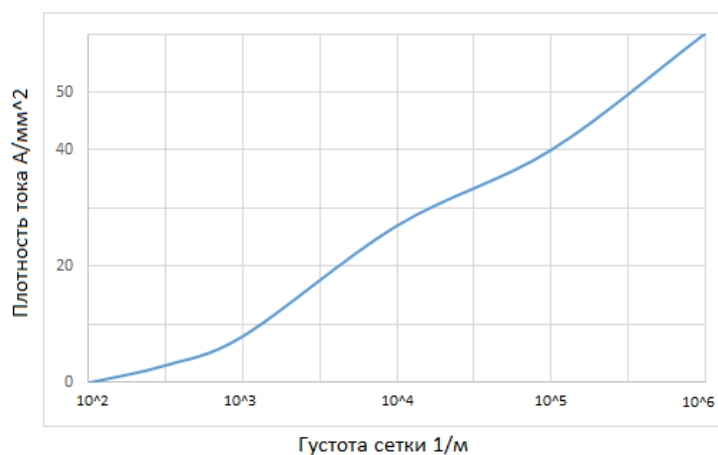


Рисунок 3 - зависимость максимальной плотности тока от густоты сетки

Путём решения данной проблемы является задание на месте изгиба проволоки конечного радиуса кривизны (рис. 4), таким образом, ограничивается плотность тока в модели. Теперь максимальное значение плотности тока не изменяется при сгущении сетки и равно  $5,1 \text{ А/мм}^2$  (рис. 5). Следовательно, результат сходится по сетке.

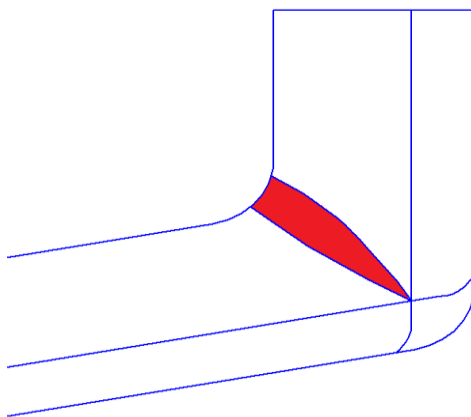


Рисунок 4 – плавное распределение плотности тока

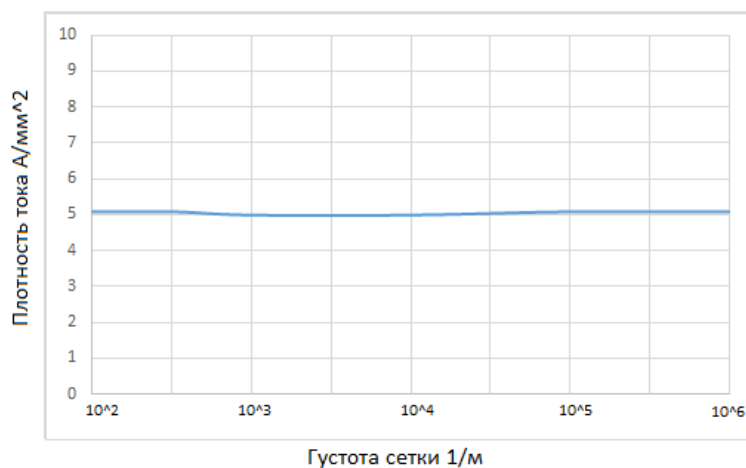


Рисунок 5 – зависимость максимальной плотности тока от густоты сетки при использовании скруглений

Таким образом, если требуется определить общий ток системы и распределение плотности тока и напряжения на небольшом расстоянии от сингулярности, то можно получить хорошие результаты и при отсутствии скруглений. Но лучше избегать острых углов, если нужна уверенность, что локальные токи и поля рассчитаны верно. В общем случае, острые края и углы могут привести к сингулярностям при расчёте электромагнитных полей.

#### Литература

1. Семенова В.С., Шунаев С.А. Построение модели подвесного изолятора в программном комплексе COMSOL Multiphysics 5.6 // Сборник трудов XVIII-ой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Смоленск Издательство «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, т.1, 2021. 100-105 с.

*Д.Ю. Тарасов, ведущий специалист; В.С. Ковжевкин, к.т.н., доцент  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИНИЙ И ВСТАВОК ПОСТОЯННОГО ТОКА**

В настоящее время, выработка, передача и распределение электрической энергии происходит на переменном токе. Это связано с тем, что для этого используются относительно простые и дешевые устройства относительно устройств для постоянного тока, а также возможность коммутации переменного тока в момент его перехода через нулевое значение (дважды за период) и т.д.

Тем не менее, в последнее время, в мировой энергетике получили распространение передачи постоянного тока – ППТ и вставки постоянного тока – ВПТ (передачи постоянного тока, в которых преобразователи в постоянный ток и обратно в переменный расположены рядом без линейного участка).

Для воздушной линии переменного тока существует зависимость максимально передаваемой мощности от ее длины – чем длиннее линия, тем меньше предельная мощность, которую можно по ней передать. Это ограничение связано с тем, что индуктивность линии представляет собой сопротивление для переменного тока (возникает ЭДС самоиндукции, которая противодействует протеканию тока). Большим преимуществом передач постоянного тока является то что у них нет ограничений по длине линии. Кроме того, затраты на сооружение линейной части у ППТ ниже, чем для передач переменного тока, что так же, с учетом затрат на сооружение преобразовательных подстанций, экономически эффективно начиная с 600 км. [1,3].

Такие линии построены во многих странах для передачи больших мощностей из избыточных районов страны с небольшим населением в промышленные районы с большим потреблением. В Пакистане сооружено высоковольтное соединение постоянного тока (high voltage direct current, HVDC) Матьяри – Лахор (Matjari – Lahore) напряжением  $\pm 600$  кВ и пропускной способностью 4 ГВт [6].

Кабельные линии переменного тока имеют еще более ограниченную длину из-за большой зарядной мощности, вследствие значительной емкости кабеля, а, следовательно, и дополнительных потерь на его нагрев. Поэтому, в случаях, когда использование кабелей переменного тока крайне затруднено или невозможно (например, для пересечения больших водных пространств, ввода мощностей в центры крупных городов-мегаполисов и т.д.) применяют кабельные линии постоянного тока, в которых зарядная мощность отсутствует.

В Германии строится подземная кабельная система HVDC SuedOstLink, SuedLink и A-Nord напряжением  $\pm 525$  кВ, пропускной способностью 2 ГВт и протяженностью 270 км. Целью строительства соединений является передача электроэнергии, вырабатываемой ВЭС на севере Германии до точки подключения, расположенный на юге Германии промышленный район – на берегу реки Изар (Isar) неподалеку от Ландсхута (Landshut) [7].

Так же идет строительство трансграничного высоковольтного соединения постоянного тока Celtic Interconnector между Ирландией и Францией в An Bord

Планала напряжением  $\pm 320$  кВ и пропускной способностью 700 МВт. Протяженность HVDC соединения, которое свяжет электрические сети северо-западного побережья Франции (Бретань) и южного побережья Ирландии, составит 575 км, из которых приблизительно 500 км пройдет под водой [8].

Объединение отдельных энергосистем на синхронную (параллельную) работу возможно только с одной номинальной частотой, и только при одинаковых стандартах ее поддержания и регулирования. При этом, объединение систем на параллельную работу приводит к увеличению токов короткого замыкания в связываемых системах. При объединении систем требуется обеспечивать устойчивость их совместной работы, которая может быть нарушена в аварийных ситуациях (при коротких замыканиях, отключениях генерирующего 417 оборудования большой единичной мощности и т.д.). Поэтому при объединении систем, применяют звено постоянного тока (ППТ или ВПТ), которое позволяет не только предотвратить каскадное развитие аварий в объединяемых энергосистемах и не увеличивать токи короткого замыкания, но и включать на параллельную (не синхронную) работу энергосистемы с разной частотой (обеспечивать передачу активной мощности).

В качестве примера можно привести соединение постоянного тока сверхвысокого напряжения (ultra-high-voltage direct current, UHVDC) в Индии. UHVDC соединение напряжением  $\pm 800$  кВ, пропускной способностью 6 ГВт и протяженностью 1 800 км которое связывает энергосистемы Райгарха (Raigarh) в Центральной Индии и Пугалура (Pugalur) в Южной части страны. Это соединение обеспечивает возможность надежной передачи электроэнергии (мощности) в любом направлении (в зависимости от спроса) с исключительно низкими потерями и минимальным воздействием на окружающую среду. UHVDC соединение Райгарх – Пугалур повышает устойчивость национальной энергосистемы и надежность функционирования энергетической инфраструктуры [9].

Применение ППТ и ВПТ так же возможно для регулирования перетоков мощности по шунтирующим связям переменного тока. За счет быстрого регулирования преобразователей практически безынерционно изменять передаваемую мощность. Перераспределение потоков мощности достигается за счет их высокой и быстрой управляемости. В этом случае возможно обеспечить необходимое распределение потоков мощности между частями энергосистем для обеспечения экономичности их работы, а также использовать их, например, для поддержания частоты или демпфирования колебаний тока и напряжения в энергосистеме [3, 4].

Такие связи имеются в больших количествах в Китае. На данный момент находятся в эксплуатации 26 ЛЭП UHVDC, расположенных во всех регионах Китая. В течение следующих 5 лет планируется ввести в эксплуатацию не менее 7 новых ЛЭП для обеспечения передачи электроэнергии, вырабатываемой СЭС, ВЭС и ГЭС, из западного региона Китая в другие регионы и провинции страны.

Такие HVDC были построены и в СССР. Это Москва – Кашира напряжением  $\pm 100$  кВ (или 200 кВ как монополярная, с возвратом по земле) пропускной способностью 30 МВт и протяженностью 112 км и Волгоград – Донбасс

напряжением  $\pm 400$  кВ, пропускной способностью 750 МВт и протяженностью 475 км. Все эти соединения на данный момент разобраны.

Еще одна важная область применения ППТ и ВПТ появилась вследствие бурного развития возобновляемых источников энергии (СЭС, ВЭС, малые ГЭС, ПЭС), где для упрощения конструкции применяются генераторы с переменной частотой вращения, подключаемые через звено постоянного тока [2,5].

Такое звено будет построено между энергосистемами Шотландии и Шетландских островов – Shetland Link. HVDC соединение Shetland Link напряжением  $\pm 320$  кВ, пропускной способностью 600 МВт и общей протяженностью 260 км, из которых 250 км будет проложено по дну Северного моря. Она будет служить для передачи электроэнергии выработанной размещенными на Шетландских островах генерирующими объектами на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), потребителям в Шотландии [10].

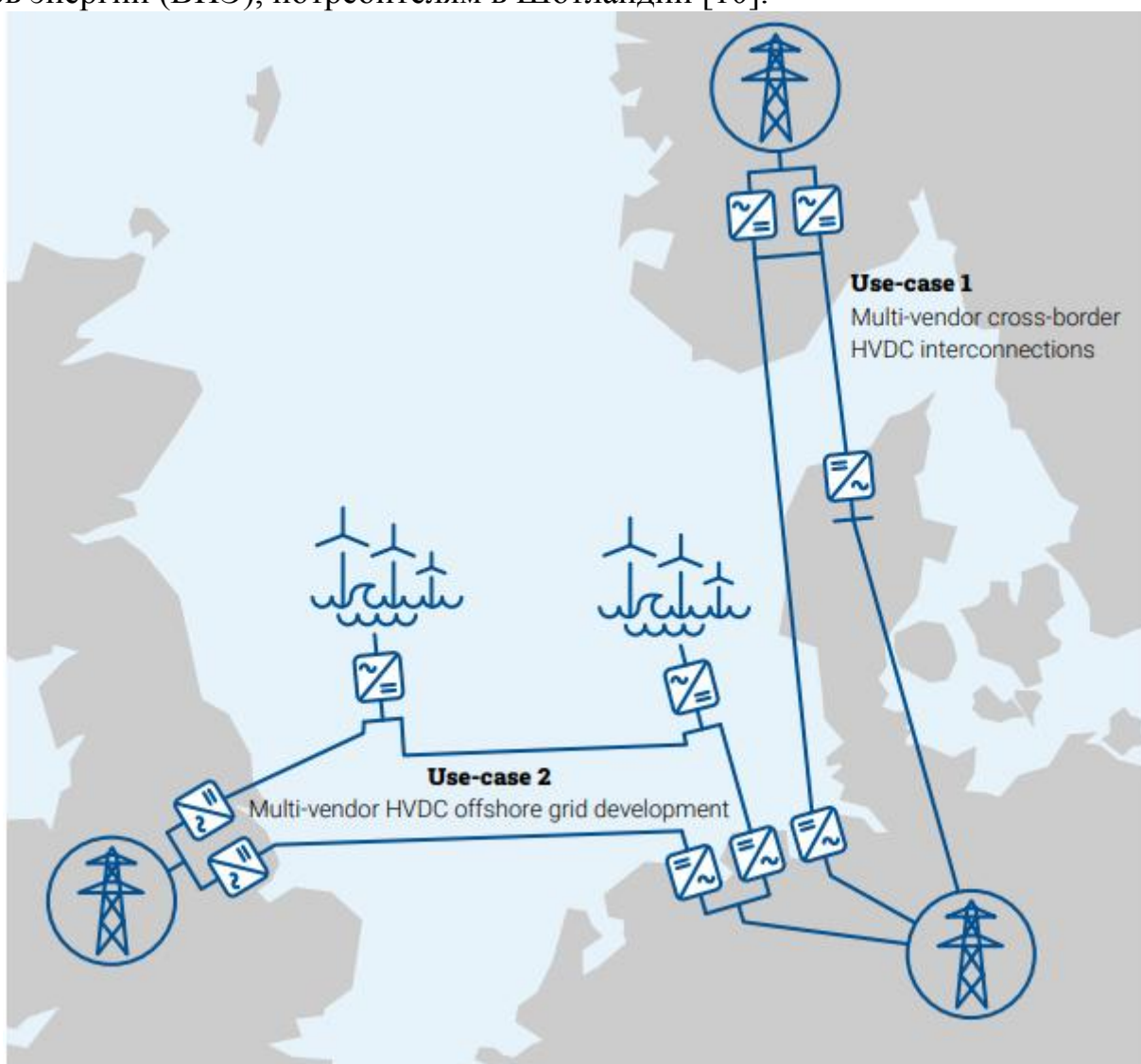


Рисунок 1. Наглядный пример использования систем HVDC для связи возобновляемых источников с энергосистемой страны.

Таким образом, в связи с развитием возобновляемых источников ППТ и ВПТ имеют все предпосылки для широкого применения. Для России с ее большой территорией это особенно актуально, потому что ВПТ можно приме-



нять для связи объединенных энергосистем страны в ЕНЭС. Так же линии постоянного тока сверхвысокого напряжения имеют большое значение для нашей страны. Их можно использовать для регулирования перетоков между энергосистемами и для передачи электроэнергии из Сибири в Центральную часть страны.

#### Литература

- Поссе А.В. Схемы и режимы электропередач постоянного тока / А.В. Поссе. – Ленинград: Изд-во «Энергия», 1973. – 302 с.
- Виджей К. Суд. HVDC and FACTS Controllers. Применение статических преобразователей в энергетических системах / К. Виджей. – Москва: НП «НИИА», 2009. – 344 с.
- Шлайфштейн В.А. Исследования системных аспектов применения передач и вставок постоянного тока / В.А. Шлайфштейн // Известия НТЦ ЕЭС. – 2015. – № 1 (72). – С. 33-43.
- Суслова О.В. Техничко-экономические характеристики преобразовательных подстанций для электропередач и вставок постоянного тока / О.В. Суслова, Р.Н. Шульга // Известия НТЦ Единой энергетической системы. – 2017. – № 1 (76). – С. 125-138.
- Stan A.I. Control of VSC-based HVDC transmission system for offshore wind power plants / A.I. Stan, D.I. Stroe // Department of energy technology pontoppidanstrade 101 Aalborg university.
- Информационно-аналитический ресурс World Energy <http://www.world-energy.org>.
- Информационно-аналитический ресурс 4C Offshore <http://www.4coffshore.com>.
- Информационно-аналитический ресурс Enegy News Line <https://www.energynewsline.co.uk>.
- Официальный сайт Hitachi ABB Power Grids <https://www.hitachiabb-powergrids.com/in/en>.
- Информационно-аналитический ресурс 4C Offshore <http://www.4coffshore.com>.

*С.А. Шунаев, ст.пр., М.В. Громовой, А.Д. Горюнова, С.Р. Ларченкова, студ.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **К ВОПРОСУ НАДЕЖНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ТОПОЛОГИЙ МИКРОСЕТЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Микросеть – это электроэнергетическая система, функционирующая независимо от единой энергосистемы (ЕЭС). Микросети постоянного тока, подключенные к одной шине или к общему контроллеру, по многим показателям имеют существенное преимущество перед сетями переменного тока. Микросети постоянного тока намного удобнее использовать в системах возобновляемых источников энергии (ВИЭ) за счет отсутствия необходимости использовать выпрямители либо инверторы.

Практически вся современная бытовая электротехника и электроника питается от постоянного тока, а, следовательно, уже сейчас можно говорить об организации локальной сети электроснабжения небольшой мощности для частных потребителей. Более того, за микросетями постоянного тока стоит будущее всей микропроцессорной техники с возможным переходом на генерацию энергии от ВИЭ. Поэтому уже сейчас остро стоит вопрос увеличения надежности работы данной микросети.

Увеличить надежность работы необходимо на стадии проектирования, обеспечивать при изготовлении устройств и поддерживать в последующей эксплуатации. Всего на данный момент есть два способа повышения надежности: повышение надежности отдельных элементов, из которых состоит определенный

объект, и создание объекта с высокой степенью надежности из относительно ненадежных элементов. В данном случае перед нами встает задача рассмотрения вариантов увеличения надежности работы микросети постоянного тока с точки зрения структурной топологии сети.

В данной работе рассмотрены два варианта устройства микросетей постоянного тока и дальнейший расчет их надежностей.

Среди множества алгоритмов управления можно выделить два типа: централизованные и децентрализованные. При централизованном управлении физическая топология сети подразумевает наличие центрального элемента управления (контроллера), при децентрализованном элементы управления интегрированы в каждый из элементов сети, то есть с применением общей цельнометаллической пластины - шины. При кажущейся относительной равнозначности функционального исполнения каждого из подходов вызывает интерес вопрос надежности итоговой схемы электроснабжения.

В данной работе исследуем надежность микросети, схема которой представлена на рисунке 1 с применением общей шины.

(DC в данном случае - это преобразователи напряжения).



Рис. 1. Структурная схема микросети постоянного тока.

В данной работе расчетно-аналитическая оценка количественных характеристик проводится по показателям, основанных на статистических оценках, соответствующих вероятностных. Некоторые количественные показатели оценки всей системы были сокращены с целью максимального упрощения расчета увеличения надежности работы микросети постоянного тока. С данным допущением общий результат исследования будет максимально приближен к более подробному анализу работы с применением всех показателей работы сети постоянного тока.

Для дальнейшего расчета условно принимается:

$q$  – вероятность отказа;  $P$  – вероятность безотказной работы.

Большее количество систем устроено таким образом, что при отказе одного из элементов происходит остановка подачи энергии. Примем, что отказ элементов носит независимый случайный характер и не нарушает работоспо-



способности остальных элементов. Структурную схему расчета надежности составим так, чтобы элементами расчета были конструктивно оформленные блоки (звенья), которые имеют свои показатели надежности.

Сопоставление этих двух вариантов:  $q_{\text{контр}} = q_{\text{шины}}$

Было рассмотрено несколько физических топологий схем микросетей постоянного тока и проведен расчет надежностей работы с использованием шины или контроллера. Схема, представленная на рисунке 1 была преобразована путем объединения нагрузки в один блок с целью упрощения проведения дальнейших изысканий. Тогда схема с использованием шины примет следующий вид:

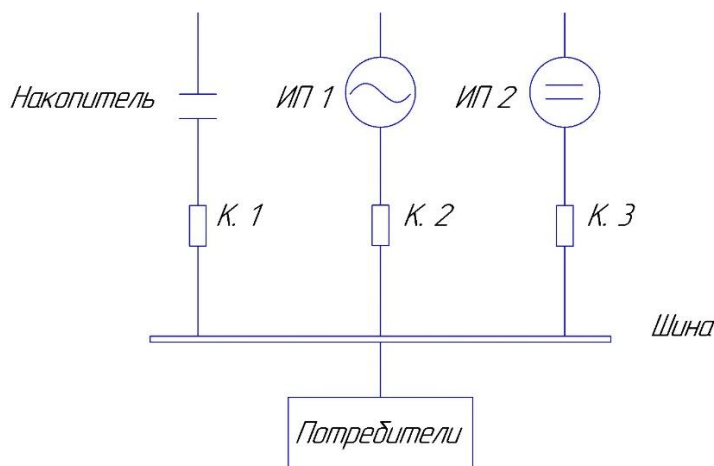


Рис. 2. Блок-схема микросети постоянного тока с шиной.

Схема с общим микроконтроллером имеет следующий вид (рис. 3):

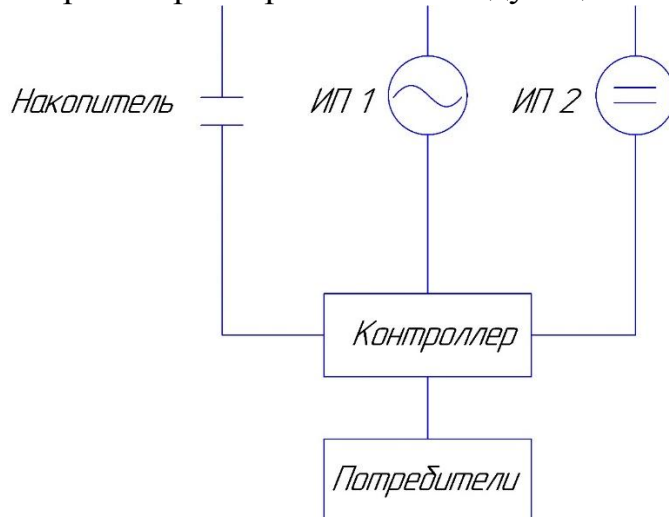


Рис. 3. Блок-схема микросети постоянного тока с контроллером.

С учетом общей статистики среднегодовых отключений систем питания, генераторов, накопителей и других электроэнергетических устройств, примем вероятность отказа  $q$  пунктов управления («К» на схеме рис.2) примерно одинаковыми и равными  $q = 0,1$ .

В данном случае, т.к. все блоки схемы между собой соединены параллельно, вероятность отказа работы всей микросети постоянного тока, представленной на рисунке 2 с использованием общей шины, будет составлять:

$$P(0 \text{ кВт}) = q_1 * q_2 * q_3 = 0,1^3 = 0,001,$$

где  $P(0 \text{ кВт})$  – вероятность отключения всех блоков схемы одновременно;  
 $q$  – вероятность отказа одного блока схемы.

То есть, по результату расчета, вероятность данного события, а именно отключения всех блоков схемы одновременно, крайне мала и составляет всего 0,001 (0,1%).

Вероятность отключения микросети постоянного тока с контроллером, представленной на рис. 3, можно оценить следующим выражением:

$$P(+ \text{ кВт}) = (1 - q_1 * q_2 * q_3) * P_k = 0,8991;$$

$$P(0 \text{ кВт}) = 1 - 0,8991 = 0,1009,$$

где  $P(+ \text{ кВт})$  – вероятность работы всех блоков схемы одновременно.

По результату расчета, вероятность отключения всех блоков схемы одновременно при использовании контроллера составляет уже 0,1009 (10,09%), что является несомненно худшим результатом по сравнению с использованием шины. Исходя из этих данных, прослеживается вывод, что использование шины вместо контроллера повышает надежность работы схемы, что является наиболее приоритетным направлением дальнейших исследований.

#### Литература

1. Балабанов В.Н. Надежность электроустановок: Учебно-методическое пособие. – Хабаровск: ДВГУПС, 1999, - 97с.
2. Ефимов А.В., Галкин А.Г. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог: Учебник для вузов ж/д транспорта. – М.: УМК МПС России, 2000 – 512с.
3. Анищенко В.А. Надежность систем электроснабжения: Учебное пособие. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 160с.

## СЕКЦИЯ 2 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

*Е.О. Андреев, студ.; И.А. Кабанова, к.т.н., доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ

Комбинированная установка – это трансформатор тепла, одновременно осуществляющий в себе функции и холодильника, и теплового насоса. В такой установке перенос тепловой энергии производится от источника низкого потенциала (потребителя холода) к источнику высокого потенциала (потребителю тепла).

Применение комбинированных установок для выработки тепла и холода актуально для объектов, на которых размещены системы холодоснабжения большой мощности и существует потребность в тепловой энергии. Такие системы холодоснабжения при работе выделяют достаточно большое количество теплоты, которое может быть полезно использовано для покрытия нагрузок на отопление, вентиляцию, ГВС и т.д. Именно за счет этого неиспользуемого тепла появляется возможность применения комбинированных установок с целью энергосбережения [1].

Рассмотрим работу комбинированной системы холодо- и теплоснабжения на примере двухступенчатой парожидкостной установки с промежуточным испарителем. Основными элементами такой установки являются: компрессоры верхней и нижней ступени, конденсатор и испаритель верхней и нижней ступени. Особенностью такой установки является то, что для получения искусственного холода используется процесс кипения жидкого хладагента в испарителе на температурном уровне  $T_0$ , а для получения тепла – процесс конденсации рабочего тела на температурном уровне  $T_k$  (рис. 1,2).

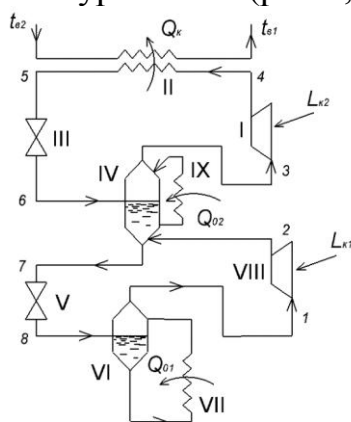


Рис. 1. Принципиальная схема двухступенчатой комбинированной установки:

I, VIII – компрессоры верхней и нижней ступени; II – конденсатор; III, V – дроссельные вентили верхней и нижней ступени; IV – промежуточный сосуд; VI – сепаратор; IX, VII – испарители верхней и нижней ступени.

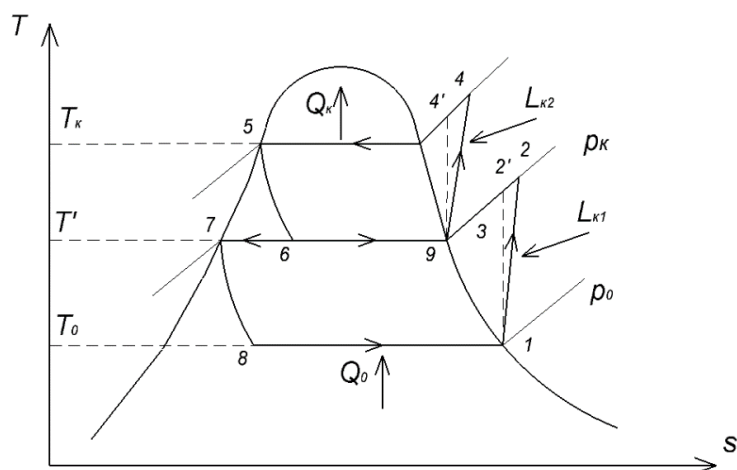


Рис.2. Процесс работы двухступенчатой установки в T, S-диаграмме.

В испарителе нижней ступени VII к рабочему телу (хладагенту) на температурном уровне  $T_0$  подводится количество теплоты  $Q_{01}$  от первого объекта охлаждения, в результате чего происходит испарение хладагента (процесс 8-1).

После испарителя пары рабочего агента, пройдя сепаратор, поступают в компрессор VIII, где в результате совершения работы  $L_{k1}$  происходит их сжатие и давление повышается до  $p'$  (процесс 1-2). Перегретый пар рабочего агента поступает в промежуточный сепаратор IV.

Жидкий хладагент выходит из промежуточного сепаратора двумя потоками: первый поток направляется в испаритель верхней ступени IX, второй поток подается в нижнюю ступень установки. В испарителе верхней ступени к рабочему агенту на температурном уровне  $T_02$  подводится от второго объекта охлаждения количество теплоты  $Q_{02}$ , в результате рабочий агент испаряется. Пройдя промежуточный сепаратор хладагент поступает в компрессор верхней ступени I, где за счет совершения работы  $L_{k2}$  происходит его сжатие, сопровождающееся повышением давления до  $p_k$  и увеличением температуры с  $t_6$  до  $t_7$  (процесс 3-4).

После компрессора верхней ступени перегретый пары рабочего агента подается в конденсатор II, где в результате отвода количества теплоты  $Q_k$  теплоприемнику происходит их охлаждение и конденсация (процесс 4-5). Затем жидкий рабочий агента поступает в дроссельный вентиль III, где происходит его расширение, сопровождающееся понижением давления и температуры, при этом рабочий агент частично испаряется (процесс 5-6).

Эффективность работы трансформатора тепла можно оценить по его эксергетическому КПД – отношению действительно совершенной работы к ее максимально возможному значению. Для рассматриваемой двухступенчатой комбинированной установки эксергетический КПД будет равен:

$$\eta_e = \frac{\eta}{\eta_k}. \quad (1)$$

Коэффициент эффективности комбинированной установки будет равен:

$$\eta = \frac{Q_{\text{пол}}}{L} = \frac{\sum Q_{0i} + Q_{\text{т}}}{\sum G_i l_{ki}}, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{т}}$  – теплопроизводительность установки, кВт;

$Q_{0i}$  – холодопроизводительность  $i$ -ой ступени установки, кВт;

$G$  – расход рабочего r134a агента  $i$ -ой ступени, кг/с;

$l_{ki}$  – удельная работа компрессора  $i$ -ой ступени, кДж/кг.

Коэффициент эффективности цикла Карно в тех же температурных пределах равен:

$$\eta_{\text{к}} = \frac{T_{\text{к2}} + T_{01}}{T_{\text{к2}} - T_{01}}. \quad (3)$$

Наиболее рациональный для комбинированного цикла хладагент должен обладать высокой критической температурой и относительно невысоким критическим давлением. От значения критического давления будет зависеть величина давления в рабочем контуре установки после компрессора. Чем больше критическое давление рабочего вещества, тем более высоким будет его давление после компрессора и, соответственно, затрачиваемая работа на сжатие.

Для проведения анализа цикла были выбраны актуальные на сегодняшний день рабочие вещества, подходящие для данного температурного интервала ( $t_{\text{кр}} > t_{\text{к}}$ ). Их характеристики приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Характеристики рабочих веществ

| Хладагент        | $t_s, ^\circ\text{C}$ | $t_{\text{кр}}, ^\circ\text{C}$ | $p_{\text{кр}}, \text{бар}$ | ОРП | ПГП   |
|------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----|-------|
| R600a (изобутан) | -11,8                 | 134,7                           | 36,3                        | 0   | 0,001 |
| R1233zd          | 18,31                 | 165,6                           | 35,7                        | 0   | 4,5   |
| R152a            | -25,0                 | 113,3                           | 45,2                        | 0   | 124   |
| R1234ze          | -19,0                 | 109,4                           | 36,4                        | 0   | 6     |
| R134a            | -26,5                 | 101,1                           | 40,7                        | 0   | 1300  |
| R290 (пропан)    | -42,1                 | 96,7                            | 42,5                        | 0   | 0     |

Расчет был произведен для следующих исходных данных:

- холодопроизводительность первой ступени установки,  $Q_{01} = 200$  кВт;
- холодопроизводительность второй ступени установки,  $Q_{02} = 50$  кВт;
- промежуточное давление,  $p' = 5$  бар;
- температура кипения хладагента,  $t_0 = -20$  °С;
- температура конденсации хладагента,  $t_{\text{к}} = 80$  °С;
- температура хладоносителя на входе в испаритель,  $t_{\text{н1}} = -10$  °С;
- температура хладоносителя на выходе из испарителя,  $t_{\text{н2}} = -16$  °С;
- температура теплоносителя на входе в конденсатор,  $t_{\text{в1}} = 35$  °С;
- температура теплоносителя на выходе из конденсатора,  $t_{\text{в2}} = 75$  °С;
- температура окружающей среды,  $t_0. \text{ср}} = 20$  °С.

Результаты расчета сведены в таблицу 2.

Таблица 2 –Результаты расчета

| Хладагент        | Q <sub>к, рабо-<br/>его</sub> кВт | p <sub>к</sub> , бар | η <sub>е</sub> , % |
|------------------|-----------------------------------|----------------------|--------------------|
| R600a (изобутан) | 402,3                             | 13,46                | 40,1               |
| R1233zd          | 406,5                             | 6,57                 | 39,3               |
| R152a            | 408,4                             | 23,42                | 38,9               |
| R1234ze          | 421,2                             | 20,21                | 36,7               |
| R134a            | 436,5                             | 26,37                | 34,5               |
| R290 (пропан)    | 483,2                             | 31,29                | 29,5               |

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о более высокой эффективности хладагента R600a, имеющего из рассмотренных рабочих веществ наибольшую критическую температуру (134 °С) и наименьшее давление в конденсаторе (13,46 бар). При использовании R600a в комбинированной установке с холодопроизводительностью нижней ступени 200 кВт, потребитель тепла может получить 402,3 кВт тепловой энергии.

Хладагенты R1233zd и R152a имеют похожие значения эксергетического КПД (39,3% и 38,9% соответственно). Однако, при работе установки на R1233zd при прочих равных условиях давление в компрессоре будет ниже, чем при работе на фреонах R600a и R152a, что может упростить выбор компрессорного оборудования.

Менее эффективны циклы на хладагентах R1234ze, R134a и R290, имеющие более низкие критические температуры. Наименьшим эксергетическим КПД обладает цикл на хладагенте R1270 (25,2%).

R600a (изобутан) – хладагент, который пришел на замену хладагентам R12 и R134a, попавшим под регулирование Монреальским и Киотским протоколами соответственно[3]. Изобутан – низкотоксичный бесцветный природный газ без запаха с высокой горючестью. Этот газ не воздействует на озоновый слой (ОПИ = 0) и не способствует образованию парникового эффекта (ПГП = 0,001). Агрегаты, работающие с R600a, характеризуются низким уровнем шума из-за относительно невысокого давления хладагента в установке.

#### Литература

1. Калнинь И.М., Малафеев И.И. Проблема выбора рабочего вещества для применения в высокотемпературных тепловых насосах // Холодильная техника. 2014. №12. С. 21-24.
2. Цветков О.Б. Озонобезопасные хладагенты// Холодильная техника и кондиционирование. 2014. №3. С. 98-108.
3. Coolselector2 calculation & selection software [Электронный ресурс] – URL: <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/downloads/dcs/coolselector-2/> (дата обращения: 01.02.2020).

А.Ф. Богатырев д.т.н., проф.<sup>1</sup>, О.А. Макеенкова, к.т.н.<sup>2</sup>, В.Р. Белалов, к.т.н.<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, <sup>2</sup>СмоЛГУ)

## К РАСЧЕТУ ТЕРМОДИФФУЗИОННОЙ ПОСТОЯННОЙ ПРИ НИЗКИХ ДАВЛЕНИЯХ

В работе приведены расчеты температурной и концентрационной зависимости термодиффузионной постоянной газовой системы CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> при низких давлениях. Вычисления произведены на основе температурной зависимости коэффициентов вязкости чистых газов и измерений термодиффузионных постоянных. Обработка данных показывает, что для данной системы газов отклонения расчетов от обобщения экспериментальных данных превышают аналогичные показатели, полученные ранее для других газовых систем, но в целом согласуются с погрешностью экспериментов

Ключевые слова: термодиффузия, газовые смеси, метод расчета

В разреженных бинарных газовых смесях расчет теплофизических свойств обычно проводится в рамках молекулярной кинетической теории [1]. Согласно этой теории расчет и обобщение теплофизических свойств производится в рамках модели парных упругих столкновений атомов и молекул. При этом для атомов наблюдается лучшее совпадение с экспериментом, чем для молекул. Расчет показывает, что для несимметричных молекул отклонение тем больше, чем сложнее молекула.

В работе [2] был предложен метод вычисления параметров взаимодействия между атомами и молекулами, включая тот или иной интеграл столкновения. Обычно параметры столкновения вычисляются из вязкости чистых газов:

$$\sigma_i^2 \Omega_i^{(22)*} = 266,93 \frac{\sqrt{M_i T}}{[\eta_i]_1}, \quad (1)$$

где  $T$  – температура, К;  $M_i$  – молекулярный вес газа, г/моль;  $[\eta_i]_1$  – первое приближение вязкости чистого газа.

Нами в работе [2] был предложен метод вычисления параметров взаимодействия бинарной смеси газов:

$$\sigma_{12}^2 \Omega_{12}^{(22)*} = \frac{2\sigma_1^2 \Omega_1^{(22)*} \cdot \sigma_2^2 \Omega_2^{(22)*}}{\sigma_1^2 \Omega_1^{(22)*} + \sigma_2^2 \Omega_2^{(22)*}}; \quad (2)$$

где  $\sigma_{12}$  – эффективный диаметр столкновений разнородных молекул, нм;  $\Omega_{12}^{(22)*}$  – приведенный интеграл столкновения разнородных молекул [1] при приведенной температуре  $T_{12}^* = kT / \varepsilon_{12}$  (где  $k$  – постоянная Больцмана, Дж/К,  $T$  – температура, К;  $\varepsilon_{12}$  – энергия взаимодействия разнородных молекул, Дж);  $\sigma_1, \sigma_2, \Omega_1^{(22)*}, \Omega_2^{(22)*}$  – параметры столкновения для однородных молекул.

Как показали наши многочисленные расчеты как для коэффициентов вязкости, так для коэффициентов взаимной диффузии (КВД) [2, 3], предложенная методика позволяет определить температурную зависимость коэффициентов вязкости при низких давлениях с точностью порядка 3%, для КВД – с точностью около 5%. Указанные отклонения справедливы для смесей одно- и многоатомных газов, включая углеводороды.



Иначе обстоят дела с вычислением термодиффузионной постоянной  $\alpha_{Tij}$ . Согласно работе [1] формула для ее расчета имеет вид:

$$\alpha_{Tij} = (6C_{ij}^* - 5) \frac{S_i x_i - S_j x_j}{Q_i x_i^2 + Q_j x_j^2 + Q_{ij} x_i x_j} = (6C_{ij}^* - 5) \cdot K_{ij}, \quad (3)$$

где  $x_i$  и  $x_j$  – мольные доли газов в смеси;  $C_{ij}^* = \Omega_{ij}^{(12)*} / \Omega_{ij}^{(11)*}$  – отношение приведенных интегралов столкновения при приведенной температуре  $T^* = k\bar{T} / \varepsilon_{ij}$ ; формулы для вычисления коэффициентов  $S_i$ ,  $S_j$ ,  $Q_i$ ,  $Q_j$ ,  $Q_{ij}$  приведены в [1].

Среднюю температуру,  $\bar{T}$ , при которой вычисляют  $\alpha_{Tij}$ , традиционно находят по следующей полуэмпирической формуле [3]:

$$\bar{T} = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{T_2}{T_1}, \quad (4)$$

где  $T_1$  и  $T_2$  – температуры холодной и горячей области смеси газов.

Значения энергетического параметра потенциала межмолекулярного взаимодействия  $\varepsilon_{ij}/k$  обычно вычисляют по формуле [1]:

$$\varepsilon_{ij}/k = \frac{\sqrt{\varepsilon_i \varepsilon_j}}{k}, \quad (5)$$

где  $\varepsilon_i$ ,  $\varepsilon_j$  – энергия взаимодействия молекул сорта  $i$  и  $j$ ;  $k$  – постоянная Больцмана, Дж/К.

Следует отметить, что согласно работе [4], значения  $\alpha_{Tij}$ , вычисленные для потенциала Леннарда-Джонса по формуле (5), согласуются с экспериментальными в пределах погрешности 20-50%.

Нами были рассчитаны термодиффузионные постоянные  $\alpha_{Tij}$  следующих 7 систем газов:  $N_2$ - $H_2$ ,  $Ar$ - $H_2$ ,  $CH_4$ - $H_2$ ,  $CO_2$ - $H_2$ ,  $CO_2$ - $N_2$ ,  $Ar$ - $CH_4$ ,  $CO_2$ - $O_2$ .

Следует отметить, что термодиффузионная постоянная  $\alpha_{Tij}$  находится из экспериментов с различной погрешностью от 5 до 20% [5].

Экспериментальные данные показывают, что температурная зависимость  $\alpha_{Tij}$  слабее, чем дают расчеты по формуле (4), более серьезная зависимость наблюдается от состава смеси. Обобщения экспериментальных данных, проведенные ранее [4], показывают, что  $\alpha_{Tij}$  можно вычислять по следующей формуле:

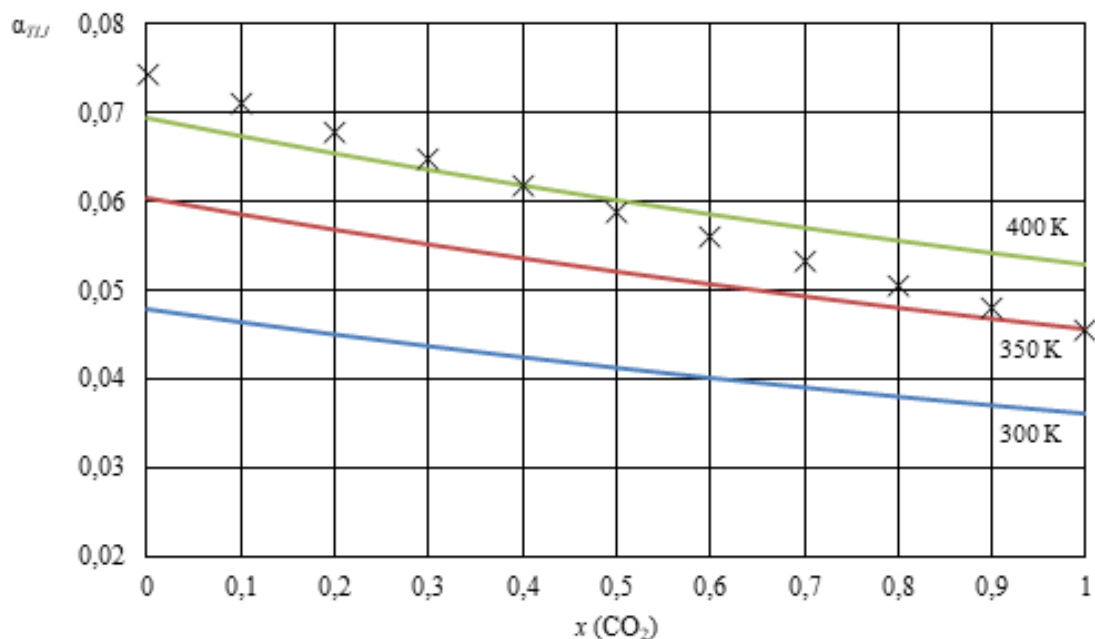
$$\alpha_{Tij} = \left(1 - \frac{a_{ij}}{2}\right) \frac{(\sqrt{m_i} - \sqrt{m_j})}{x_i \sqrt{m_i} + x_j \sqrt{m_j}}, \quad (6)$$

где  $a_{ij} = Ax_j + B$  – зависимость, полученная после обработки большого массива экспериментальных данных [4].

В работе [4] приведены коэффициенты  $A$  и  $B$  для 35 бинарных систем газов, полученные в результате обработки экспериментальных данных, которые были доступны на момент публикации статьи. Анализ показал, что в целом величина  $\alpha_{Tij}$  достаточно слабо, не более чем на 10% зависит от температуры.



Большинство из рассмотренных 7 систем газов показывает совпадение расчетов  $\alpha_{Tij}$  по формулам (1) – (3) с концентрационной зависимостью  $\alpha_{Tij}$ , выявленной в работе [4]. Наиболее характерные отклонения наблюдаются для системы CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>. На рисунке 1 приведены отклонения для данной системы.



× - обобщение экспериментальных данных (6),  $A = -0,2442$ ,  $B = 1,383$  [4]

--- - расчет по методике авторов при различных температурах

Рисунок 1 – Концентрационная зависимость термодиффузионных постоянных  $\alpha_T$  в разреженной бинарной газовой системе CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> при различных температурах

Следует отметить, что даже для рассмотренной системы газов совпадение экспериментальных значений термодиффузионной постоянной с вычисленными по нашей методике находится в пределах 8% в исследованном экспериментально диапазоне составов смеси.

#### Литература

1. Гиршфельдер Дж., Кертис Ч., Берд Р. Молекулярная теория газов и жидкостей. М.: Издательство иностранной литературы, 1961. – 929 с.
2. Bogatyrev A.F., Makeenkova O.A., Belalov V.R., Kucherenko M.A. Calculation of viscosity and diffusion coefficients in binary mixtures of dilute gases // *Advanced Studies in Theoretical Physics*, 2017. Vol. 11. No. 6. 283-296.
3. Bogatyrev A.F., Makeenkova O.A., Kucherenko M.A. Transport properties of natural gas mixtures: viscosity, diffusion, thermal diffusion // *JP Journal of Heat and Mass Transfer*, 2019. Т. 17. № 2. С. 365–377.
4. Богатырев А.Ф., Гудоменко С.Н., Маклецова, Е.Е. Методика обобщения экспериментальных данных по термодиффузионному разделению в разреженных газах // *Теплофизические свойства веществ и материалов*, 1982. № 17. С. 133–139.

*Ю.М. Божин, к.т.н., доцент, Н.Д. Геращенко,  
студ., Т.А. Мансуров, студ., А.Г. Мизеркин, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)*

## **ПОЛЕВОЙ РАСЧЕТ ОХЛАЖДЕНИЯ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ СРЕДАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИ- РОВАНИЯ**

Усилители мощности – распространенные элементы электрооборудования, которые используются в самых различных энергетических системах. От качественного расчета охлаждения этих устройств зависит работоспособность и эффективное функционирование таких систем. Развитие компьютерных технологий позволяет усовершенствовать методы и инструменты расчета технического оборудования. Примером таких инструментов являются системы автоматизированного проектирования (САПР). Одна из функций этих систем – это расчет полевых моделей электротехнических устройств. Применение САПР в инженерной деятельности позволяет делать расчеты точными, универсальными и современными.

Целью данной статьи является анализ полевого расчета охлаждения усилителя мощности в современной среде автоматизированного проектирования.

В исследовании ставились задачи подготовки полевой модели, её расчёт и выявление наиболее значимых для эксплуатации тепловых участков данного устройства.

В качестве САПР была выбрана широко используемый программный комплекс SolidWorks. Модель используемого в работе усилителя представлена на рисунке 1.

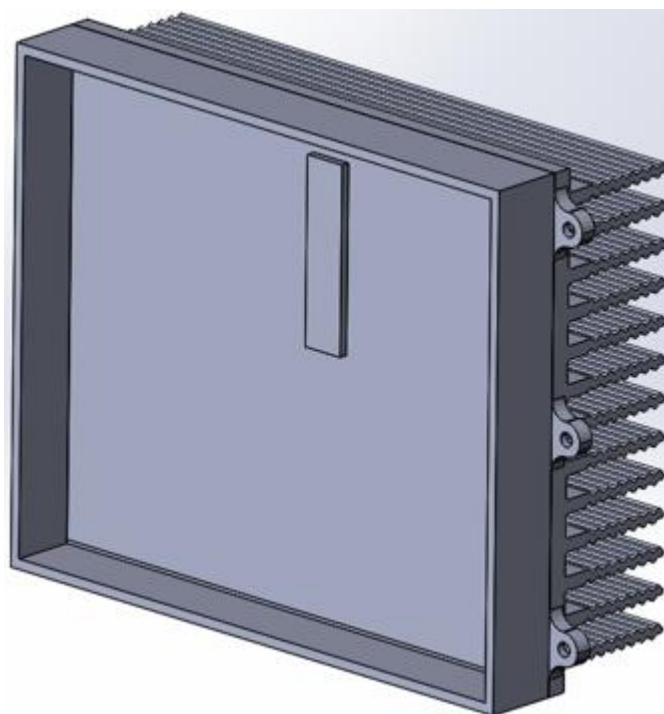


Рисунок 1 — Полевая модель усилителя с радиатором

Усилитель весом 1,66 кг показан совместно с радиатором, в центре корпуса воспроизведена электрическая часть, которая претерпевает наибольший нагрев. Для наглядности представления самой модели, процесса расчета и его результатов у усилителя отсутствует крышка. В данной работе используется принудительное охлаждение, в качестве охлаждающего устройства выступает вентилятор мощностью 70 м<sup>3</sup>/час.

В качестве теплового воздействия задан тепловой поток мощностью 200 Вт в электрической части усилителя. В SolidWorks данную нагрузку можно реализовать через функцию «Тепловой поток». Этот этап подготовки модели представлен на рисунке 2.

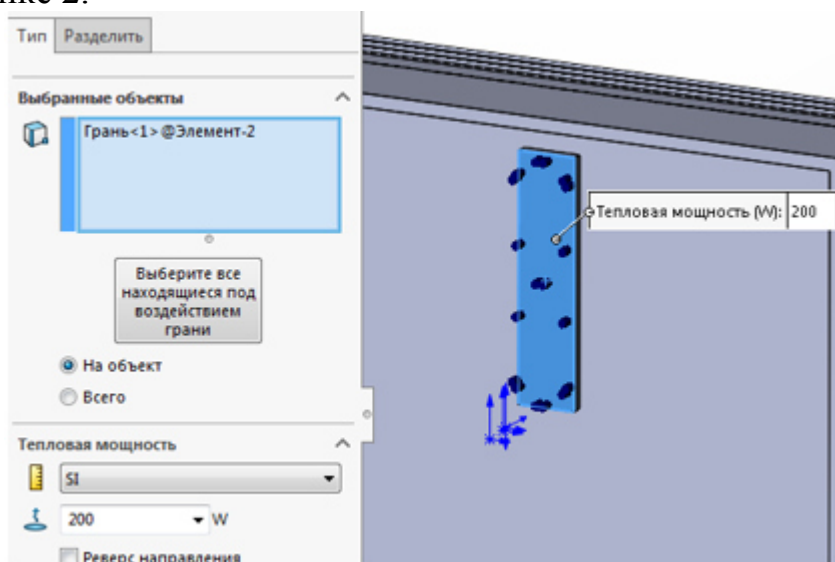


Рисунок 2 — Задание теплового потока

В местах соприкосновения деталей в сборке были заданы тепловые сопротивления, равные 0.000125 К·м<sup>2</sup>/Вт. Охлаждение в данной САПР реализуется через функцию «Конвекция», в данной работе необходимо в качестве охлаждающего воздействия задать в SolidWorks коэффициент конвективной теплоотдачи. Этот коэффициент рассчитывается следующим образом. В качестве исходных данных вычислений выступают производительность вентилятора  $\Pi = 70$  м<sup>3</sup>/час, площадь сечения воздушного канала  $S = 1052$  мм<sup>2</sup>, температура окружающего воздуха  $t_{\text{возд}} = 60^\circ\text{C}$ , длина радиатора (ребра)  $L = 180$  мм. Сначала определяется минимальная скорость потока воздуха  $V = 18.483$  м/сек.

Далее исходя из заданной температуры окружающего воздуха по табличным данным (табл.1) определяется коэффициент кинематической вязкости воздуха  $\nu$  и коэффициент теплопроводности воздуха  $\lambda$ , а также число Прандтля  $Pr$ .

Таблица.1 Физические параметры сухого воздуха

| $t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$ | $\lambda \cdot 10^2, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ | $\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$ | $Pr$  |
|--------------------------------|---|---------------------------------------|-------|
| 10                             | 1,51  | 14,16                                 | 0,705 |
| 20                             | 2,59  | 15,06                                 | 0,703 |
| 30                             | 2,67  | 16,00                                 | 0,701 |
| 40                             | 2,76  | 16,96                                 | 0,699 |

|    |      |       |       |
|----|------|-------|-------|
| 50 | 2,83 | 17,95 | 0,697 |
| 60 | 2,90 | 18,97 | 0,696 |
| 70 | 2,96 | 20,02 | 0,694 |
| 80 | 3,05 | 21,09 | 0,692 |

Затем определяется число Рейнольдса  $Re = \frac{V \cdot L}{\lambda} = 175381.98$  и число Нуссельта  $Nu = 0.021 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.43} = 281.66$ . По полученным данным можно рассчитать коэффициент конвективной теплоотдачи  $h = \frac{Nu \cdot \lambda}{L} = 45,343 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .

Реализация задания конвекции в данной работе представлена на рисунке 3.

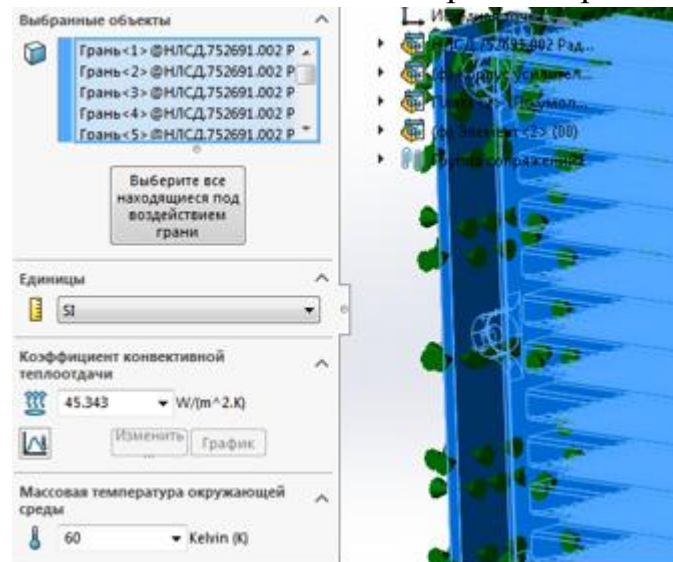


Рисунок 3 — Задание коэффициента конвективной теплоотдачи

Полевой расчет основывается на методе конечных элементов. Программный комплекс SolidWorks для этого применяет сетку разбиений модели. Это процедура представлена на рисунке 4. Для смоделированного усилителя мощности была создана смешанная сетка из 297088 элементов.

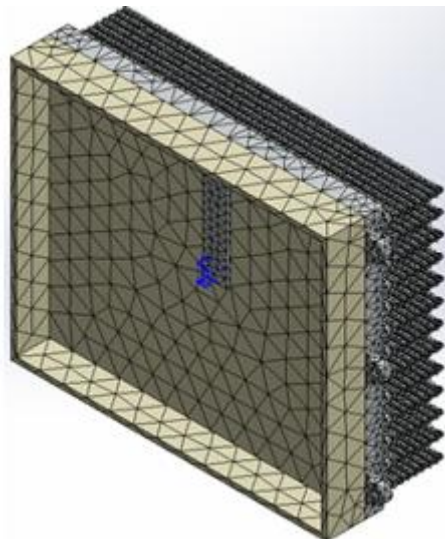


Рисунок 4 — Сетка смешанной кривизны

Далее был запущен расчёт. Результатами расчёта являются тепловые картины полевой модели, также существует возможность показать отдельные участки модели с определённой температурой. Результаты полевого расчёта усилителя мощности представлены на рисунках 5 и 6.

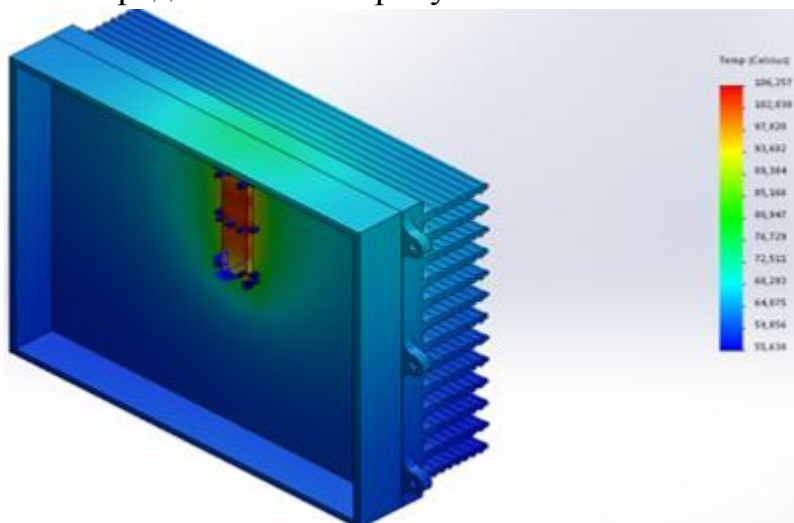


Рисунок 5



Рисунок 6

Проанализировав результаты расчёта, можно отметить, что наиболее нагретым местом ожидаемо является электрическая часть усилителя. Самая высокая температура равна  $106.257\text{ }^{\circ}\text{C}$ , самая низкая температура равна  $55.638\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Следовательно, усилитель с запасом выдерживает данную тепловую нагрузку при данном охлаждении, так как по паспорту усилителя критически выдерживаемая температура —  $155\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, благодаря системам автоматизированного проектирования можно быстро и просто произвести различные расчёты.

#### Литература

- Берлинер, Э. М. САПР в машиностроении / Э.М. Берлинер, О.В. Таратынов. - М.: Форум, 2011. - 448 с.
- Гольдберг, О. Д. Инженерное проектирование и САПР электрических машин / О.Д. Гольдберг, И.С. Свириденко. - М.: Academia, 2008. - 560 с.
- Ушаков, Д. М. Введение в математические основы САПР. Курс лекций / Д.М. Ушаков. - М.: ДМК Пресс, 2015. - 208 с.

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В мировой экономической системе холод выступает неизменным элементом современной жизни и область его применения практически повсеместна – ведь невозможно представить жизнь крупных агломераций без постоянного снабжения продуктами питания, которые в свою очередь, требуют применения холодильных машин определенной мощности.

Применение тепловой изоляции в холодильной технике позволяет снизить теплопотери и уменьшить мощность холодильной машины, что по итогу позволит сократить расходы на содержание оборудования.

В зависимости от сферы применения материалы, используемые в качестве тепловой изоляции, можно разделить на два вида:

- изоляция ограждающих конструкций;
- изоляция внутренних элементов.

Ограждающие конструкции в основном имеют простую, геометрически протяженную форму, и процесс монтажа теплоизоляции не вызывает особой сложности. Монтаж изоляции можно осуществлять как методом напыления или с использованием ее заливки в формы, так и в форме рулонов, плит или листов.

Монтаж изоляции внутренних элементов имеет некоторые сложности, связанные со сложной геометрической формой поверхностей, малым диаметром трубопроводов, стесненностью условий и т.д.

В холодильной технике на поверхностях, температура которых ниже температуры окружающей среды, существует проблема конденсации влаги. Это связано с разностью парциальных давлений пара наружного и внутреннего воздуха. В результате снижается срок службы поверхностей и трубопроводов [1]. Также, это способствует появлению плесени, что неблагоприятно сказывается на самочувствии людей.

Еще одним отрицательным фактором для тепловой изоляции является образование конденсата внутри изоляционного слоя. Важным условием при проектировании общестроительной теплоизоляции является расчет толщины изоляционного слоя, при котором температура точки росы приходилась бы на середину изоляционного слоя. Это позволит сохранить теплоизоляцию в сухом состоянии, так как пар, образовавшийся внутри помещения, свободно проходит через ограждающую конструкцию. Наличие дефектов при монтаже теплоизоляции также может привести к образованию конденсата.

Таким образом, можно выделить основные требования, предъявляемые к современным теплоизоляционным материалам:

- низкий коэффициент паропроницаемости;
- низкий показатель коэффициента теплопроводности;
- хорошая эластичность при пониженных температурах;
- биостойкость;



- морозостойкость.

Рынок строительных теплоизоляционных материалов, применяемых в холодильной технике достаточно широк, ниже представлены свойства и особенности основных из них.

Пенополиуретан (ППУ). Может использоваться в форме сэндвич-панелей, листов и т.д., либо методом напыления жидких материалов на изолируемую поверхность с последующим их вспениванием и затвердеванием. В результате на изолируемой поверхности образуется бесшовное покрытие, представляющее собой прочную газонаполненную массу с открытыми или закрытыми (до 98%) ячейками, в зависимости необходимых прочностных характеристик подбирается плотность из диапазона  $35-80 \text{ кг/м}^3$ . Такой способ нанесения значительно упрощает процесс монтажа изоляции даже на поверхностях со сложной геометрией, а также исключает появление мостиков холода. Слой ППУ подходит для любого типа конструкций – адгезия обеспечивает сцепление с любыми поверхностями. В слое утеплителя не заводятся грызуны, насекомые, не образуются грибки и плесень. В закрытых порах материала присутствует углекислый газ, который имеет лучшие величины сопротивления теплопередачи по сравнению с воздухом, что позволяет достичь низких значений коэффициента теплопроводности  $0,025-0,03 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ . Однако постепенно за счет диффузии углекислый газ замещается воздухом, что приводит к незначительному ухудшению теплопроводности. Класс горючести Г1-Г3. Под воздействием ультрафиолета разрушается, необходима защита от солнечного света. В целом материал достаточно широко используется в различных сферах благодаря своей универсальности и отличным теплоизоляционным свойствам.

Пенополистирол. В теплоизоляции применяется двух основных видов: вспененный (EPS) и экструдированный (XPS). EPS имеет вид гранул размером 2-8 мм, образуется при вспенивании полистирола в результате температурной обработки. До развития XPS и ППУ был широко распространен, однако из-за худших, по сравнению с последними характеристик: выше значения коэффициента теплопроводности, водопоглощения и паропроницаемости, а также хуже механическая прочность. Экструдированный пенополистирол имеет низкий коэффициент теплопроводности  $0,029 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ , за счет закрытой и мелкоячейистой структуры имеет низкую паропроницаемость  $0,007-0,008 \text{ мг/м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}$ , низкое водопоглощение (менее 3%) и хорошую морозостойкость. XPS химически устойчив, но при этом горюч, класс горючести Г3-Г4. Плотность  $25-45 \text{ кг/м}^3$ . Может использоваться в качестве изоляции полов и транспортных коридоров благодаря высокой прочности (прочность на сжатие при деформации 10% –  $15-100 \text{ т/м}^2$ ). Применяется в форме листов и цилиндров.

Вспененный полиэтилен (пенополиэтилен, ППЭ). Вспененный полиэтилен – это полимерный термоизоляционный материал, изготовленный из полиэтилена и содержащий мелкие закрытые ячейки. По способу производства выделяют несшитый (НПЭ) и сшитый (ППЭ) [2]. Выпускается в виде листов, плит и т.д. В теплоизоляции холодильных помещений и оборудования чаще применяется

сшитый пенополиэтилен, так как его характеристики выше, чем у несшитого, однако при этом ППЭ дороже. Коэффициент теплопроводности немного выше, чем у вышеперечисленных материалов, составляет 0,035-0,04 Вт/м\*К, плотность изделий подбирается в диапазоне от 20 до 200 кг/м<sup>3</sup>. Размер ячеек – от 0,05 до 15 мм, обладает низким водопоглощением около 2 %, коэффициент паропроницаемости 0,001 мг(м·ч·Па). Группа горючести Г1-Г4. При низких температурах может охрупчиваться, что ухудшает качество теплоизоляции.

Минеральная вата. Теплоизоляционный материал, имеющий структуру ваты и выпускается трех основных видов, в зависимости от вида исходного сырья: каменная, стекловата и шлаковата. Коэффициент теплопроводности варьируется в диапазоне от 0,030 до 0,052 Вт/м·К. При использовании в качестве теплоизоляции требуется монтаж слоя пароизоляции, так минеральная вата имеет не ячеистую структуру, из-за этого затруднен монтаж изоляции фасонных частей и арматуры, так как имеются многочисленные швы. Имеет ограничения по применению в связи с эмиссией волокон и пыли, поэтому часто применяется с кашировкой, например, алюминиевой фольгой. Группа горючести НГ, поэтому минеральная вата используется в сферах, где требуется использование негорючих материалов. В основном используется для изоляции крупных сосудов, ресиверов и баков, а также стен и перекрытий, имеющих простую форму.

Также, в холодильной технике в качестве теплоизоляционных материалов используются пробковые плиты, пенобетон, минеральный войлок, туф и т.д. Однако к настоящему моменту, многие из этих материалы неактуальны и практически не производятся, либо не применяется из-за высокой цены.

Таблица 1

Изоляционная конструкция стены

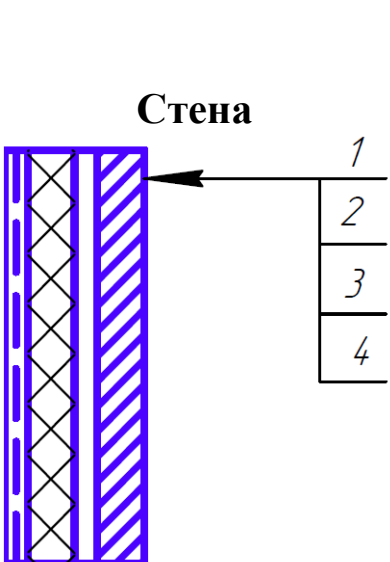
| Наименование и конструкция ограждения   | № слоя | Наименование и материал слоя                        | Толщина $\delta$ , м | Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м*К) |
|---|--------|---|----------------------|---|
|  | 1      | Панель из керамзитобетона                           | 0,24                 | 0,47  |
|   | 2      | Пароизоляция: 2 слоя гидроизола на битумной мастике | 0,004                | 0,30  |
|   | 3      | Теплоизоляция: выбор                                | -                    | -   |
|   | 4      | Штукатурка сложным раствором по металлической сетке | 0,02                 | 0,98  |



Таблица 2

## Результаты расчета толщины слоя

| Теплоизоляция  | Толщина слоя, м |
|----------------|-----------------|
| Пенополиуретан | 0,042           |
| Пенополистирол | 0,049           |
| Пенополиэтилен | 0,058           |
| Стекловата     | 0,062           |

Сравним требуемые значения толщины изоляционного слоя для рассмотренных теплоизоляционных материалов на примере камеры хранения охлажденного мяса мясокомбината (температура в камере  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). В качестве ограждающей конструкции возьмем стену, отделяющую камеру от неохлаждаемого помещения. В качестве пароизоляции возьмем 2 слоя гидроизола на битумной мастике. Изоляционная конструкция стены представлена в таблице 1.

Расчет произведем для следующих материалов теплоизоляции: пенополиуретан, пенополистирол, пенополиэтилен, стекловата. Результаты расчета представлены в таблице 2.

По результатам расчета наименьшая толщина слоя изоляции получится при использовании ППУ, так как у него наименьший коэффициент теплопроводности, однако значения отличаются несущественно.

Можно сделать вывод, что наиболее оптимальным будет использование в качестве теплоизоляции пенополиуретана, так как материал имеет низкое значение коэффициента теплопроводности, устойчив к попаданию влаги, гигиеничен, не уступает по цене другим материалам, а также имеется возможность нанесения слоя методом напыления, что позволяет избежать появления мостиков холода и упрощает процесс монтажа изоляции.

## Литература

1. Комарова Н.А. Холодильные установки. Основы проектирования: учебное пособие / Н.А. Комарова; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – 2-е изд., перераб. и доп. – Кемерово, 2012. – 368 с.
2. Большаков С.А. Холодильная техника и технология продуктов питания: Учебник для студ. Высш. Учеб. заведений / Сергей Алексеевич Большаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 304 с.

*В.А. Галковский, к. т. н., доц.; С.Н. Халютин, студент  
(Филиал ФГБОУ «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ НА ИСТОЧНИКЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Энергоэффективность и энергосбережение – одно из стратегических направлений приоритетного технологического развития страны. Энергосберегающие технологии активно внедряются во все сферы общественной жизни и технологические процессы в промышленном производстве.

Установка современных теплообменных аппаратов позволяет существенно повысить энергоэффективность предприятия и снизить затраты на эксплуатацию инженерных систем.

Эффективность теплообменника определяется количеством тепловой энергии, которое он передает за определенное время.

Снижение габаритов и массы теплообменных аппаратов за счет интенсификации теплообмена позволяет повысить эффективность и снизить затраты.

В качестве способов интенсификации теплообмена можно использовать: повышение скорости теплоносителя, повышение разницы температур между греющим и нагреваемым теплоносителями, при конденсации пара – снижение сопротивления пленки конденсата и повышение скорости пара (при испарении жидкости), увеличение числа центров парообразования, турбулизация потока и т.д.

При выборе метода интенсификации теплообмена необходимо учитывать универсальность метода для различных теплоносителей, загрязняемость поверхности, технологичность изготовления и сборки теплообменного аппарата и особенности эксплуатации. Все эти ограничения значительно снижают возможность выбора одного из возможных методов интенсификации.

Проблема повышения эффективности теплообменного оборудования является комплексной и требует совместного решения ряда задач: теплофизической, направленной на исследование и поиск гидродинамических и теплотехнических условий, обеспечивающих оптимальное соотношение между интенсивностью теплообмена и уровнем гидравлических сопротивлений; эксплуатационной, обеспечивающей длительную и надёжную работу оборудования [1].

В отдельных случаях эффективность работы теплообменных аппаратов можно повысить за счёт применения теплоносителей с высокими теплофизическими свойствами, использования материала стенки с большими коэффициентами теплопроводности и малой её толщиной, увеличения давления теплоносителей, повышения температурного напора.

Обычно физические свойства рабочих сред и температурный режим заданы условиями протекания теплотехнологических процессов и не могут выбираться произвольно.

Максимально эффективная работа теплообменного аппарата достигается посредством расчета площади поверхности теплообмена. Правильно рассчитанная площадь поверхности теплообмена позволяет подобрать подходящий теплообменный аппарат и достичь оптимальных гидродинамических условий для выполняемых процессов.

Существует несколько методов определения площади поверхности теплообмена: «расчетный» метод и графоаналитический.

Графоаналитический метод представляет собой упрощенный метод расчета, обеспечивающий однозначное наглядное решение.

При конденсации пара, если расчет коэффициентов теплоотдачи производить по приближенным формулам, применение графоаналитического метода позволяет сократить затрату времени, так как в данном случае позволительно не учитывать температуру стенки.

«Расчетный» метод является наиболее совершенным, поскольку метод позволяет достигнуть наибольшей точности результатов расчета. Данный метод

может быть использован при создании алгоритмов и программ для тепловых и гидравлических расчетов теплообменного оборудования.

Целью научно-исследовательской работы является сравнительный анализ двух приведенных методов определения площади поверхности теплообмена кожухотрубчатых и пластинчатых теплообменных аппаратов для подогрева сетевой воды на источнике теплоснабжения.

Рекуперативные кожухотрубчатые и пластинчатые теплообменные аппараты широко применяются в качестве подогревателей сетевой воды на производственных котельных.

В производственной паровой котельной, обеспечивающей покрытие отопительной и вентиляционной тепловых нагрузок, и нагрузку на ГВС применяется двухступенчатая схема подогрева сетевой воды. Используются два теплообменных аппарата: пароводяной (вторая ступень ПСВ) и водо-водяной (первая ступень ПСВ).

Исходными данными для расчетов пароводяного и водо-водяного теплообменных аппаратов являются: суммарная тепловая нагрузка, греющий и нагреваемый теплоносители, температура и давление пара на входе во вторую ступень ПСВ, температура конденсата на выходе из второй ступени ПСВ, температура и давление конденсата на входе в первую ступень ПСВ, температура конденсата на выходе из первой ступени ПСВ, температура нагреваемой сетевой воды на выходе из второй ступени ПСВ и на входе в первую ступень ПСВ.

Теплопроводные стенки рассматриваемых теплообменных аппаратов гладкие, изготовлены из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т, толщиной 1,5 мм. Расположение труб в трубном пучке кожухотрубчатых теплообменных аппаратов: шахматное и коридорное.

Расчет пароводяного теплообменного аппарата имеет свои особенности, обусловленные характером изменения температур и коэффициентов теплопередачи вдоль поверхности теплообмена. В данном случае можно выделить две зоны. Первая зона предполагает охлаждение перегретого пара до температуры насыщения, вторая зона – конденсация пара. Коэффициент теплопередачи в первой зоне имеет меньшую величину, чем во второй.

Площадь поверхности теплообмена кожухотрубчатых и пластинчатых теплообменных аппаратов напрямую зависит от значения величины коэффициента теплопередачи.

Результаты расчета кожухотрубчатого водо-водяного теплообменного аппарата:

- При «расчетном» методе аппарат имеет: значения коэффициента теплопередачи, равное  $1547,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ , и площади поверхности теплообмена, равное  $126,3 \text{ м}^2$  при коридорном расположении труб в трубной решетке; значения коэффициента теплопередачи, равное  $1527,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ , и площади поверхности теплообмена, равное  $128,0 \text{ м}^2$  при шахматном расположении труб;
- При графоаналитическом методе аппарат имеет: значения коэффициента теплопередачи, равное  $1451,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ , и площади по-

верхности теплообмена, равное  $135,7 \text{ м}^2$  при коридорном расположении труб в трубной решетке; значения коэффициента теплопередачи, равное  $1265,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ , и площади поверхности теплообмена, равное  $154,4 \text{ м}^2$  при шахматном расположении труб.

Результаты расчета кожухотрубчатого пароводяного теплообменного аппарата:

- При «расчетном» методе аппарат имеет значения коэффициентов теплопередачи, равные  $698,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  в первой зоне и  $1734,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  во второй зоне, суммарной площади поверхности теплообмена (сумма площадей в первой и второй зонах), равное  $575,4 \text{ м}^2$  при коридорном расположении труб в трубной решетке; значения коэффициентов теплопередачи, равные  $715,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  в первой зоне и  $1734,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  во второй зоне, суммарной площади поверхности теплообмена, равное  $573,4 \text{ м}^2$  при шахматном расположении труб;
- При графоаналитическом методе аппарат имеет значения коэффициентов теплопередачи, равные  $493,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  в первой зоне и  $1511,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  во второй зоне, суммарной площади поверхности теплообмена, равное  $671,5 \text{ м}^2$  при коридорном расположении труб в трубной решетке; значения коэффициентов теплопередачи, равные  $439,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  в первой зоне и  $1511,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  во второй зоне, суммарной площади поверхности теплообмена, равное  $678,8 \text{ м}^2$  при шахматном расположении труб.

Результаты расчета пластинчатого водо-водяного теплообменного аппарата:

- При «расчетном» методе аппарат имеет значения коэффициента теплопередачи, равное  $1276,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  и площади поверхности теплообмена, равное  $148,4 \text{ м}^2$ ;
- При графоаналитическом методе аппарат имеет значения коэффициента теплопередачи, равное  $1447,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  и площади поверхности теплообмена, равное  $135,2 \text{ м}^2$ .

Результаты расчета пластинчатого пароводяного теплообменного аппарата:

- При «расчетном» методе аппарат имеет значения коэффициентов теплопередачи, равные  $1706,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  в первой зоне и  $1809,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  во второй зоне, суммарной площади поверхности теплообмена, равное  $528,6 \text{ м}^2$ ;
- При графоаналитическом методе аппарат имеет значения коэффициентов теплопередачи, равные  $1821,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  в первой зоне и  $2015,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  во второй зоне, суммарной площади поверхности теплообмена, равное  $475,3 \text{ м}^2$ .

Таким образом, в результате расчетов водо-водяных и пароводяных рекуперативных кожухотрубчатых и пластинчатых теплообменных аппаратов в зависимости от различных методов расчета можно заметить, что у пластинчатых

теплообменных аппаратов площадь поверхности теплообмена меньше, чем у кожухотрубчатых, следовательно, габариты теплообменного пластинчатого аппарата меньше, чем у кожухотрубчатого.

Расположение труб в трубном пучке практически не влияет на площадь поверхности теплообмена кожухотрубчатых теплообменных аппаратов.

Сравнительный анализ, использования «расчетного» и графоаналитического методов определения площади поверхности теплообмена, показывает, что результирующие величины весьма разнятся (максимальная погрешность измерений достигает 17,1 % у кожухотрубчатых пароводяных теплообменных аппаратов при шахматном расположении труб в трубном пучке).

Точность результатов напрямую зависит от выбранного метода определения площади поверхности теплообмена. «Расчетный» метод позволяет создать алгоритмы и программы, пользуясь которыми достигается высокая точность при определении результирующих значений, поэтому данный метод наиболее востребован.

Литература:

1. Иванов А.Н. Теплообменное оборудование предприятий: учебное пособие/ А.Н. Иванов, В.Н. Белоусов, С.Н. Смородин. – Санкт-Петербург: 2016. – 184 с.

*А.С. Демин, магистр; И.С. Саватеева, к.т.н., доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ОЦЕНКА СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИСТОЧНИКОМ ТОКА**

Электропривод по системе «источник тока – двигатель постоянного тока с независимым возбуждением» (ИТ-Д) обычно рассматривают с точки зрения возможности создания управляемого источника момента [1]. При использовании наиболее простой схемной реализации - параметрических источников тока и изменении магнитного потока такая система способна обеспечить достаточно хорошие показатели качества регулирования момента в двигательном и в определенных тормозных режимах при любом направлении скорости.

Однако возможности системы ИТ-Д значительно расширяются при введении в нее обратных связей [2]. Это позволяет легко сформировать характеристики различного вида, требуемые для электропривода того или иного механизма.

В качестве одного из классов механизмов, для которых система ИТ-Д органично подходит по своим свойствам, рассматриваются механизмы, осуществляющие технологический процесс обработки длиномерного движущегося материала [3]. Обязательным узлом таких механизмов является приемное устройство – барабан, на который производится намотка обрабатываемого изделия (ленты, нитей, ткани, бумаги, провода, кабеля и т. п.). Для формирования качественной бобины в идеале требуется обеспечение постоянной линейной скорости укладки материала и поддержание постоянного его натяжения. Создание электропривода со стабилизацией натяжения материала требует наличия датчика натяжения, что осложняет техническую реализацию системы.

Обратная связь по линейной скорости реализуется значительно проще, но при этом не контролируется натяжение, с которым происходит укладка материала в бобину.

Использование системы электропривода с источником тока позволяет достаточно простыми средствами обеспечить стабилизацию мощности электропривода и тем самым реализовать контроль за основными технологическими параметрами процесса намотки.

Использование системы электропривода с источником тока позволяет достаточно простыми средствами реализовать косвенный контроль за технологическими параметрами процесса намотки, обеспечив стабилизацию мощности электропривода.

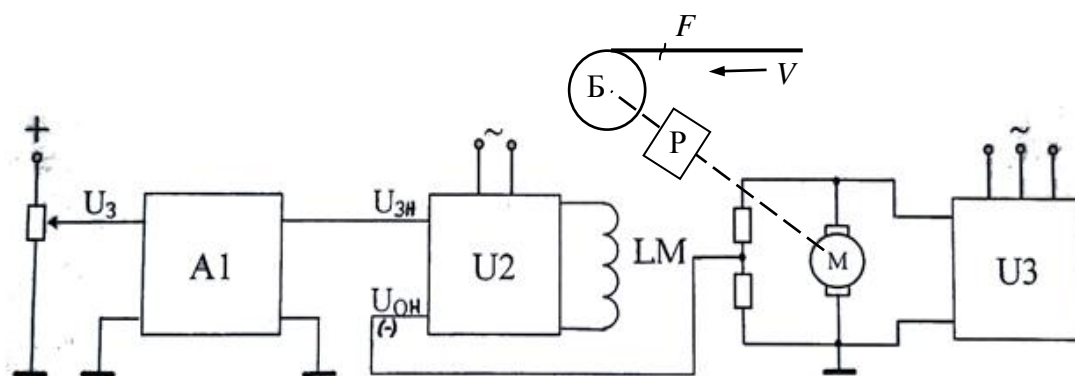


Рисунок 1 – Функциональная схема системы стабилизации мощности: Б – барабан приемного устройства;  $F$ ,  $V$  – линейная скорость и натяжение материала; P – редуктор; A1 – блок задатчика интенсивности; U2 – управляемый выпрямитель, питающий цепь возбуждения двигателя; U3 – параметрический источник тока

Проведем анализ работы электропривода наматывающего устройства. Функциональная схема привода показана на рисунке 1, структурная схема, учитывающая нелинейность кривой намагничивания, представлена на рисунке 2. Идея, заложенная в построение схемы электропривода, состоит в следующем. Поддержание постоянства натяжения одновременно со стабилизацией линейной скорости означает необходимость работы механизма с постоянной мощностью  $P_m = F \cdot V = \text{const}$ . При этом по мере наработки бобины, то есть возрастания ее радиуса, угловая скорость двигателя приемного барабана должна уменьшаться обратно пропорционально радиусу бобины, а его момент - возрастать прямо пропорционально радиусу, с тем, чтоб сохранялось условие  $P_m = M \cdot \omega = \text{const}$ . С другой стороны, мощность, потребляемая двигателем из сети, определяется произведением  $P_3 = I_a \cdot U_a$ .

Учитывая то, что при питании от источника тока имеем  $I_a = I_{ит} = \text{const}$ , и стабилизируя напряжение на якоре за счет введения отрицательной обратной связи по напряжению, можно тем самым обеспечить стабилизацию электромагнитной мощности. Соответственно, с учетом того, что  $U_a = k\Phi\omega + I_a R_a$ , по-

лучаем выражение для электромагнитной мощности:  $P_э = M \cdot \omega + I_я^2 R_я = P_м + I_я^2 R_я$ . Следовательно, точность стабилизации мощности механической при под-  
 держании постоянства мощности электромагнитной будет зависеть от величины  
 падения напряжения на якоре двигателя, являющегося в приводе по системе  
 ИТ-Д постоянной величиной.

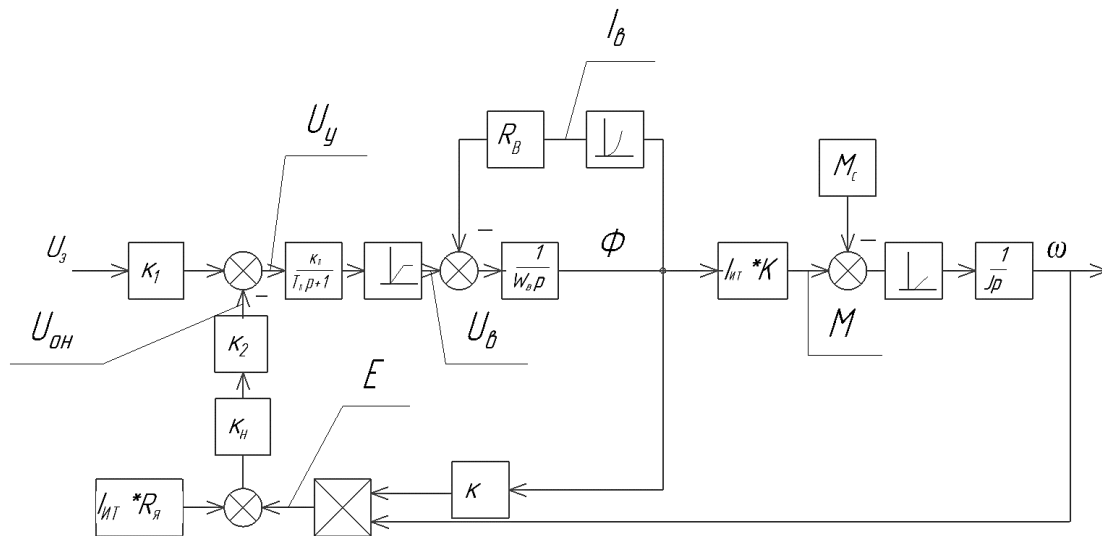


Рисунок 2 - Структурная схема объекта регулирования

Для оценки точности работы рассмотренной системы были проведены  
 расчеты характеристик электропривода приемного барабана наматывающего  
 устройства в диапазоне регулирования линейной скорости намотки материала,  
 равного двум, и изменении радиуса наматываемой паковки в пять раз. Меха-  
 нические характеристики, рассчитанные для этих условий, показаны на рисунке 3.  
 Диапазон регулирования угловой скорости при этом составил 10:1.

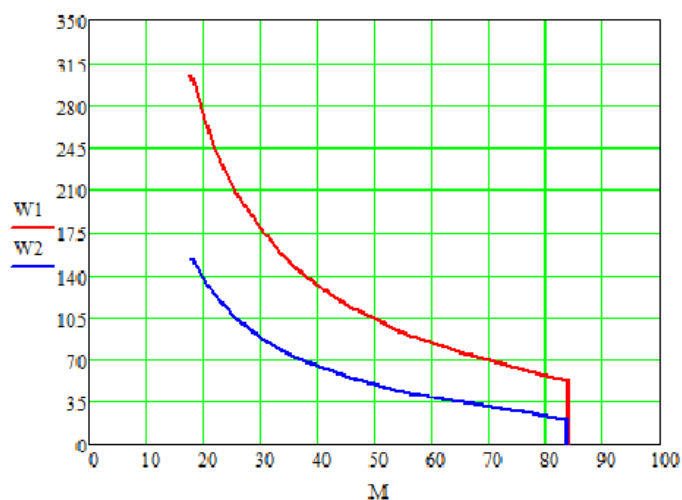


Рисунок 3 – Статические механические характеристики  
 электропривода приемного барабана

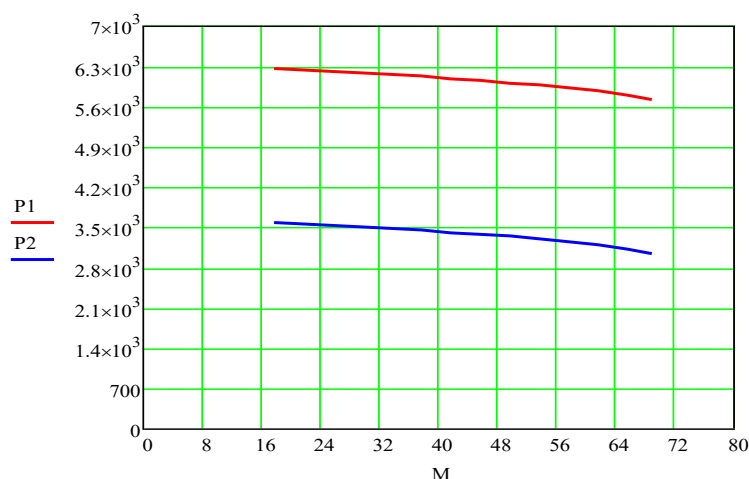


Рисунок 4 - Мощностные характеристики электропривода за цикл перемотки

На рисунке 4 представлены графики изменения мощности электропривода за цикл намотки бобины материала при работе с различной линейной скоростью. Нелинейность характеристик в конце цикла связана с наличием в контуре управления нелинейности кривой намагничивания двигателя. Как показали расчеты, при этом точность стабилизации мощности составляет на нижней характеристике диапазона 14,8%, а для верхней характеристики - 8,5%. Такие показатели приемлемы для подобных механизмов, работающих, например, в кабельном производстве, где не предъявляется очень высоких требований к точности поддержания параметров намотки, но существенными являются простота и надежность системы электропривода. Разработанное устройство вполне отвечает этим требованиям, позволяя с приемлемой точностью осуществлять технологический процесс и косвенный контроль за основными технологическими параметрами без использования специальных датчиков.

#### Список литературы

1. Данилов П.Е. Теория электропривода. [Текст]: монография / П.Е. Данилов, В.А. Барышников, В.В. Рожков. – Смоленск, 2014. – 348 с.
2. Ильинский Н.Ф. Электроприводы постоянного тока с управляемым моментом. – М.: Энергоиздат, 1981. – 144 с.
3. Ильинский Н.Ф. Электропривод в современном мире. Труды V Международной (XVI Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу «АЭП-2007». С-Петербург, 2007. С 17-19.

*И.А. Кабанова, к.т.н., доц., Т.А. Колденкова, А.С. Овсянникова, маг.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **БИВАЛЕНТНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО НАСОСА В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ**

В последние года актуальность использования тепловых насосов становится более очевидной не только в профессиональной среде, но и обществе в целом. Степень интереса общественности свидетельствует о том, что надвига-



ющиеся проблемы энергетики становятся ощутимыми уже на личностно-индивидуальном уровне.

В основном, теплонасосное оборудование используют для решения задачи покрытия необходимой тепловой нагрузки зданий. Но для небольших объектов использование, к примеру, грунтовых, тепловых насосов с целью обеспечения необходимой тепловой нагрузки здания неприемлемо из-за высоких капитальных затрат, которые обуславливаются достаточно длительным сроком окупаемости. Совершенно иные перспективы открывают тепловые насосы, которые в качестве низкопотенциального источника теплоты используют воздух. Воздушные тепловые насосы отличаются своей дешевизной, простотой монтажа и последующей эксплуатацией. Именно поэтому появление в последнее время на мировом и российском рынке низкотемпературных воздушных тепловых насосов, применяемых для теплоснабжения в условиях холодного климата, обращает на себя всё более пристальное внимание, как и специалистов, так и обычных потребителей данных систем.

Но главным вопросом остаётся то, насколько нижний предел наружной температуры низкотемпературного воздушного теплового насоса, заявленный производителем, является приемлемым для эксплуатации в условиях климата нашей страны и насколько он будет эффективен при покрытии тепловой нагрузки.

Эффективность функционирования системы отопления на базе воздушного теплового насоса напрямую зависит от изменения температуры наружного воздуха. При понижении температуры производительность установки снижается и система не способна покрывать необходимую тепловую нагрузку здания. Именно поэтому с целью увеличения эффективности работы воздушного теплового насоса и поддержания энергетической безопасности рекомендуют выбирать бивалентный режим работы. Данный режим предполагает работу теплонасосной установки совместно с другим нагревательным прибором. Выбор бивалентного режима работы обычно бывает обусловлен необходимостью подачи более высокой температуры в систему отопления при низких температурах наружного воздуха. Если температура опускается ниже точки бивалентности, то тепловой насос может отключаться или же работать вместе с дополнительным источником тепла, но при этом не покрывать всю необходимую тепловую нагрузку.

Так как для воздушных тепловых насосов источником теплоты является наружный атмосферный воздух, то с изменением его температуры меняются условия работы теплового насоса.

Задачей данного исследования является выявление зависимости наступления точки бивалентности от температуры наружного воздуха и уровня подогрева воды в конденсаторе теплового насоса.

Области с холодным климатом обычно характеризуются большими сезонными и суточными изменениями температуры и очень низкими ее значениями в зимний период, что значительно затрудняет эксплуатацию воздушных теплонасосных установок (ТНУ) в данных регионах. В первую очередь, необ-

ходимо отметить сильную зависимость основных параметров ТНУ от температуры окружающей среды ( $t_0$ ). При понижении температуры наружного воздуха  $t_0$  производительность ТНУ и коэффициент трансформации тепла сильно падают (рис. 1).

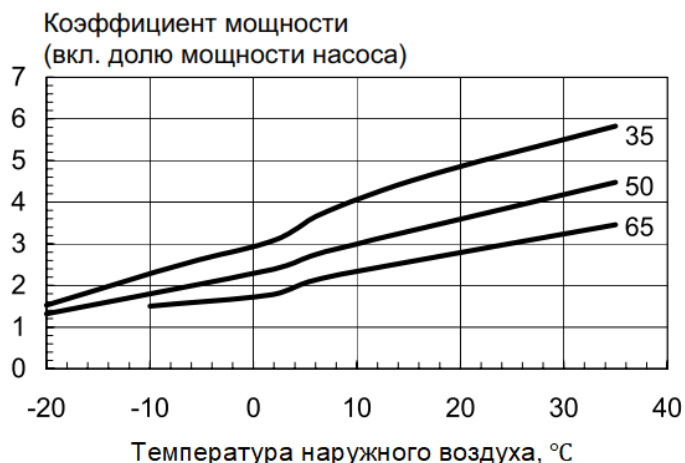


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента мощности теплового насоса от температуры наружного воздуха

Представленные на рис.1 зависимости построены применительно к тепловому насосу марки LA11PS компании Dimplex тепловой мощностью 11,8 кВт для трёх уровней подогрева воды: 35, 50 и 65 °C [1].

Данная закономерность объясняется тем, что при понижении температуры испарения  $t_0$  снижается и перепад температур в испарителе, т.е. разность температур атмосферного воздуха и кипящего хладагента ( $t_{и}$ ).

Таким образом, если значения коэффициента теплопередачи ( $k_{и}$ ) и площади поверхности теплообмена в испарителе ( $F_{и}$ ) остаются постоянными, то наблюдается уменьшение подвода тепла от окружающей среды к рабочему телу ТНУ ( $Q_0$ ). Также уменьшаются значения теплопроизводительности ТНУ ( $Q_{ТНУ}$ ), производительности компрессора и интенсивности парообразования. Из-за уменьшения температуры воздуха  $t_0$ , значение теплопроизводительности ТНУ  $Q_0$  уменьшается намного быстрее, чем мощность компрессора ( $L$ ), которая идёт на поддержание необходимого давления хладагента в конденсаторе. Данный процесс приводит к понижению значения коэффициента трансформации тепла ( $\varphi$ ), что наглядно прослеживается в следующих соотношениях (1.1) – (1.3) [1]:

$$Q_{ТНУ} = Q_0 + L \quad (1.1)$$

$$Q_0 = k_{и} \cdot F_{и} (t_0 - t_{и}) \quad (1.2)$$

$$\varphi = \frac{(L + Q_0)}{L} = 1 + \frac{Q_0}{L} \quad (1.3)$$

В пределе, при  $t_0 = t_{и}$  имеем  $Q_0 = 0$ ,  $Q_{ТНУ} = L$ ,  $\varphi = 1$  и ТНУ превращается, по сути, в электронагреватель. При  $t_0$  ниже определенного уровня ТНУ не может обеспечить требуемую температуру нагреваемого теплоносителя. Чем ниже последняя, тем шире рабочий диапазон ТНУ и тем выше  $\varphi$  при одной и той же  $t_0$ .

В конденсаторе теплового насоса нагретый хладагент отдает тепло высокотемпературному теплоносителю, который, в свою очередь, поступает в систему отопления. Температура воды после конденсатора определяет температурный график, который будет использован в сети отопления.

На сегодняшний день широко применяются различные температурные графики. Для воздушных тепловых насосов, использующих в контуре теплоносителя воду, характерны низкотемпературные (до  $55^{\circ}\text{C}$ ) и среднетемпературные графики (до  $70^{\circ}\text{C}$ ).

Целью исследования является выявление зависимости точки бивалентности от различных температурных графиков. Для выполнения цели исследования будет рассмотрено три системы с одинаковой теплопроизводительностью объектов по  $Q_p^T = 10 \text{ кВт}$ , но с различными температурными графиками. Расчёт будет проводиться по данным II климатической зоны России для города с расчётной температурой наружного воздуха равной  $t_{\text{н}}^P = -25^{\circ}\text{C}$ . Данные для построения зависимости приведены в таблице 1.

Расчетная температура воздуха в помещении в зимний период принимается равной  $t_{\text{п}}^3 = 20^{\circ}\text{C}$ .

Для покрытия основной тепловой нагрузки выбран тепловой насос Dimplex LA11PS. Три выбранные кривые, определяющие теплопроизводительность оборудования, характеризуют нагрев воды в системе после конденсатора до температур  $t_k = 35; 50, 65^{\circ}\text{C}$  [1]. В качестве резервного источника теплоты выбран настенный газовый котёл BAXI ECO-4s 10 F.

Объединив линию зависимости тепловой нагрузки от температуры наружного воздуха и три выбранных линии теплопроизводительности теплового насоса, характеризующих разные температуры воды после конденсатора, получаем три характерные точки бивалентности. Результат объединения представлен на рисунке 2.

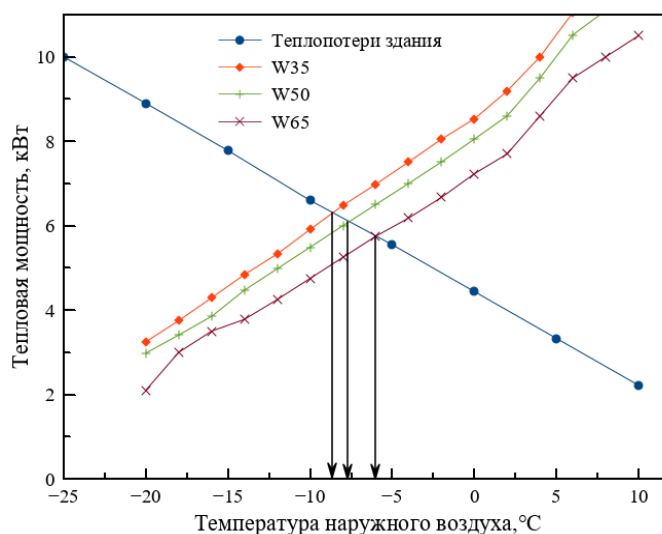


Рисунок 2 – Зависимость точки бивалентности от температуры конденсации

На основании проведенных расчётов можно сделать вывод, что температура воды, поступающей в систему отопления, напрямую влияет на точку би-

валентности. В ходе исследования была выявлена следующая зависимость: при более низкой температуре конденсации точка бивалентности наступает позже. Полученные результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчёта

| Температура на выходе из конденсатора, °С | Точка бивалентности, °С |
|---|-------------------------|
| 35  | –8,8                    |
| 50  | –7,3                    |
| 65  | –6,2                    |

Таким образом, для систем с невысокой тепловой нагрузкой целесообразно применение именно низкотемпературных графиков с температурой «прямой»/«обратной» воды 35/30 °С, и 45/40 °С. Данные графики предполагают под собой использование таких систем обогрева, как «тёплые полы».

Применение в системах отопления низкотемпературных графиков позволяет сократить нагрузку на пиковый нагреватель и обеспечить большее покрытие тепловой нагрузки воздушным тепловым насосом, что позволит обеспечить экономию топлива.

Общий анализ эффективности систем в определенных условиях и с определенным оборудованием позволит сделать более оптимальный экономичным выбор модели отопления.

#### Литература

1. Руководство по проектированию и монтажу. Тепловые насосы для отопления и горячего водоснабжения. / Dimplex. 2006. – 230с.

*И.А. Кабанова, к.т.н. доц., А.С. Овсянникова, маг., Т.А. Колденкова, маг.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛО И ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ**

Вопрос экономии энергетических ресурсов затрагивает все сферы жизнедеятельности. Для большинства производственных и административных помещений проектируются системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха на базе приточно-вытяжных систем с применением рекуператоров различного типа. Альтернативным вариантом с точки зрения энергосбережения является применение схем с тепловым насосом для нужд отопления и кондиционирования (рисунок 1).

Кондиционирование наряду с отоплением обеспечивают комфортные параметры микроклимата помещений и требуют значительных энергетических затрат. При этом энергетическая нагрузка зависит от теплозащитных свойств здания и от климатических параметров, соответствующих географическому расположению.

Поэтому при установке теплового насоса как основного источника теплоснабжения можно предусмотреть возможность эксплуатации теплового насоса для обработки воздуха в том числе в системах кондиционирования.

Задачей данного исследования является оценка эффективности применения тепловых насосов в режиме кондиционирования воздуха, а также оценка рационального выбора хладагента с учетом климатических особенностей регионов.



Рисунок 1– Схема обогрева и охлаждения с помощью теплового насоса

Существует два основных вида кондиционирования помещения с применением тепловых насосов различные по принципу действия, потреблению энергии и эффективности хладоснабжения:

- пассивное кондиционирование;
- активное кондиционирование;

Пассивное (естественное) кондиционирование требует минимальных затрат электроэнергии однако будет менее производительным. Данный тип кондиционирования можно использовать только в рассольных схемах работы тепловых насосов, т.е. использующих грунт или воду в качестве низкопотенциального источника тепла (рисунок 2). В воздушных тепловых насосах источником низкопотенциальной энергии является окружающий воздух, температура которого выше комфортной температуры в помещении в летний период.

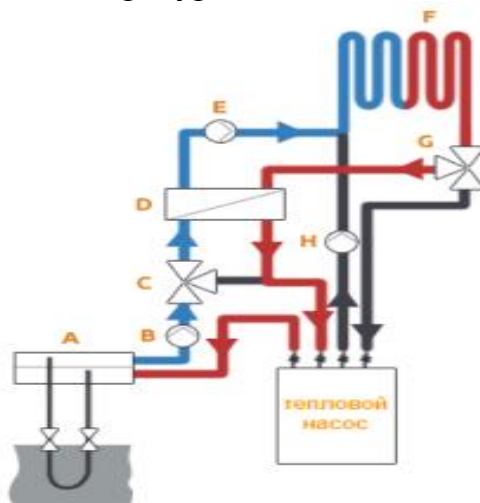


Рисунок 2– Схема реализации пассивного кондиционирования тепловым насосом "грунт-вода": А-грунтовый зонд; В-циркуляционный насос; С- трех-

ходовой переключающий клапан; D- пластинчатый теплообменник; E- циркуляционный насос; F- система распределения холода/тепла; G- трех-ходовой переключающий клапан; H- циркуляционный насос

Для реализации пассивного кондиционирования в контур теплового насоса устанавливается дополнительное оборудование: трехходовой клапан, пластинчатый теплообменник и дополнительные насосы. Это позволяет использовать низкую температуру грунта и грунтовых вод (6-10°С) для охлаждения помещения. Охлажденный в грунте теплоноситель (рассол) направляется непосредственно на дополнительный теплообменник, минуя компрессор теплового насоса. Затем охлажденный теплоноситель поступает в систему распределения энергии и поглощает избыточное тепло из комнат.

Дополнительным преимуществом пассивного кондиционирования является быстрая регенерация грунта и дополнительное накопление тепла в грунте перед отопительным сезоном, что, в свою очередь, улучшит COP теплонасосной системы в отопительный период.

Пассивное кондиционирование не сможет покрыть полную нагрузку по охлаждению дома, однако является экономически выгодным т.к. коэффициент преобразования COP достигает значения 15-20.

Активное кондиционирование доступно для всех типов тепловых насосов. При активном охлаждении тепловой насос работает в обратном цикле или еще этот процесс называют «реверсным режимом» [1].

При проектировании теплонасосной системы с возможностью работы на кондиционирование необходимо предусмотреть систему распределения холода и тепла. Наиболее оптимальным вариантом является использование фэнкойлов для распределения холода в летнем режиме и тепла в зимнем периоде. Фэнкойлы эффективно работают как для охлаждения, так и для отопления, поэтому могут работать как основные приборы распределения энергии в доме, так и как вспомогательные для летнего сезона. Для качественной работы системы необходимо исследовать рабочие агенты для тепловых насосов, которые обеспечат максимальную работоспособность.

Наибольшее распространение среди хладагентов, используемых в тепловых насосах, получили: R134a, R410a, R600a. Определим на каком из представленных фреонов система холодоснабжения с тепловым насосом функционирует более эффективно. Принимаем температуру испарения  $t_{и} = -30^{\circ}\text{C}$  и температуру конденсации  $t_{к} = 28^{\circ}\text{C}$  (г.Сочи) и  $t_{к} = 20^{\circ}\text{C}$  (г.Мурманск), основными определяющими величинами являются:

- расход хладагента через испаритель:

$$G_{и} = \frac{Q_0}{h_1 - h_4}, \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (1)$$

- расход хладагента через компрессор:

$$G_{к} = \frac{Q_0 (h_2' - h_3)}{h_2 - h_3}, \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (2)$$

- эксергетический КПД установки:

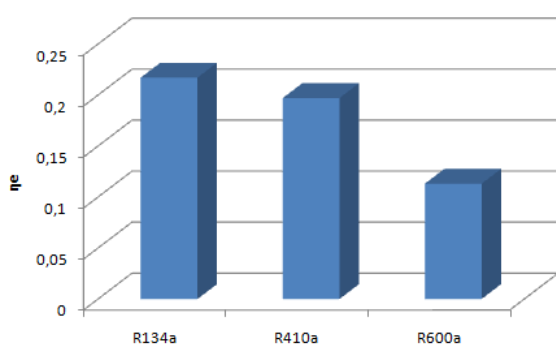


$$\eta_{\Sigma} = \frac{\sum |\tau| \cdot Q_0}{2N_{\Sigma}} \quad (3)$$

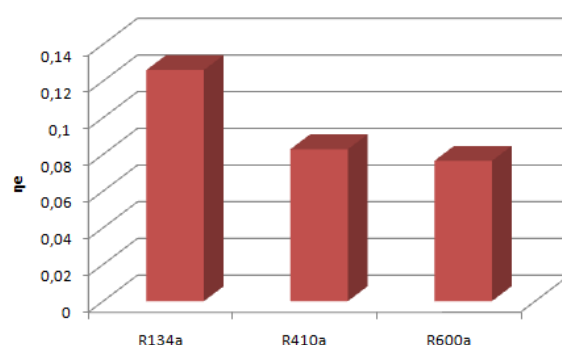
Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1– Анализ работоспособности теплового насоса на разных фреонах и температурных режимах

| Параметр  | Хладагент |        |        |
|---|-----------|--------|--------|
|   | R134a     | R410a  | R600a  |
| $t_{\text{н}} = 28^{\circ}\text{C}$ (г. Сочи)     |           |        |        |
| $G_{\text{и}}$ , кг/с                             | 0,483     | 0,424  | 0,28   |
| $G_{\text{к}}$ , кг/с                             | 0,519     | 0,510  | 0,318  |
| $Q_{\text{к}}$ , кВт                              | 94,97     | 114,14 | 111,9  |
| $\eta_{\text{е}}$                                 | 0,126     | 0,0828 | 0,0765 |
| $t_{\text{н}} = 20^{\circ}\text{C}$ (г. Мурманск) |           |        |        |
| $G_{\text{и}}$ , кг/с                             | 0,401     | 0,555  | 0,381  |
| $G_{\text{к}}$ , кг/с                             | 0,956     | 0,982  | 0,979  |
| $Q_{\text{к}}$ , кВт                              | 188       | 223    | 337    |
| $\eta_{\text{е}}$                                 | 0,217     | 0,197  | 0,113  |



а)



б)

Рисунок 3 – Сравнительная оценка эффективности применения фреонов для различных климатических условий: а) г. Мурманск, б) г. Сочи.

На основании полученных результатов исследования можно сделать вывод, что наиболее оптимальным для применения является фреон R134a для исследуемых регионов. Об эффективности использования фреона свидетельствует эксергетический КПД, обеспечивающий преимущество в 48%.

Для определения эффективности использования и выявления достоинств и недостатков системы кондиционирования без применения теплового насоса и с ним произведен сравнительный расчёт при условиях: средняя за летний период

температура наружного воздуха в г.Сочи 28°C и г.Мурманске 20°C; температура воздуха внутри помещения 18°C; производительность системы холодоснабжения 1 кВт; температура источника низкого потенциала в г.Сочи 16°C и г.Мурманск 6°C [2].

В качестве основных критериев сравнительной оценки были рассмотрены:

- расход рециркуляционного воздуха:

$$G_{рец} = \frac{3.6Q_{я}^{изб} + Q_{ni}}{n_{\tilde{e}}(t_{\tilde{e}} - t_{np}^M)}, \frac{кг}{ч} \quad (4)$$

- расход холода на охлаждение рециркуляционного воздуха в кондиционере:

$$Q_{xi}^M = 0.278G_{\tilde{fi}}^{макс}(i_{\tilde{e}} - t_{np}^M), Вт \quad (5)$$

- максимальная холодопроизводительность теплового насоса при расчётном режиме утилизации отработанного воздуха:

$$Q_{op} = Q_p^T \frac{t_n - t_{\tilde{e}}}{t_{\tilde{e},n} - t_{n,n}}, Вт \quad (6)$$

Результаты расчёта СКВ и системы с тепловым насосом приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительный анализ различных схем СКВ

| Схема СКВ                | Город    | Температура наружного воздуха, °C | $\varepsilon^л$ , кДж/кг | $G_{рец}$ , кг/ч | $Q_{xi}^M$ , Вт | $Q_{op}$ , Вт |
|--------------------------|----------|-----------------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|---------------|
| СКВ без теплового насоса | Сочи     | 28                                | 23,8                     | 560              | 3744            | -             |
|                          | Мурманск | 20                                | 19,2                     | 432              | 3347            | -             |
| СКВ с тепловым насосом   | Сочи     | 28                                | 18,9                     | 612,33           | -               | 2667          |
|                          | Мурманск | 20                                | 12,65                    | 528              | -               | 2268          |

Таким образом, анализируя полученные результаты, следует отметить, что применение теплового насоса в системах кондиционирования воздуха увеличивает энергоэффективность всей системы 10-20% как для регионов с высокой средней температурой воздуха в летний период, так и для регионов с более низкими среднемесячными показателями. Результаты расчёта работы теплового насоса на разных фреонах сведены в таблицу 2.

Исследования энергоэффективности систем с применением теплового насоса и без него свидетельствует об экономии энергоресурсов при применении теплового насоса в системах кондиционирования воздуха, однако, следует отметить, что более полную оценку можно сделать только с учётом реверсивного решения по работе теплового насоса в течение года, когда система работает не только на охлаждение воздуха, но и на отопление. Данная система создаёт комфортный микроклимат при любых погодных условиях, обеспечивая энергоэффективность и экономичность энергообеспечения здания, но несёт за собой увеличение капиталовложений на сооружение данной системы.



#### Литература

1. Ковалёва А.С., Кабанова И.А. Эффективность применения тепловых насосов в системах кондиционирования воздуха//Научный журнал «Актуальные вопросы энергетики»: г. Омск «ОмГТУ» №3 (3) май 2021. —36–41 с.
2. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами/ Е.М. Белова. М.: Техносфера: ЗАО «Евроклимат»,2006.-400с.

*И.А. Кабанова, к.т.н., доц.; А.А. Рябцев, студ.;  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОЭЖЕКТОРНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЕПЛА

Пароэжекторные холодильные машины нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. В них совмещены пароэнергетическая установка и двигателем-эжектором и холодильная машина со струйным компрессором-эжектором.[1] Эта установка состоит из эжектора, конденсатора, дроссельного вентиля и испарителя. Широко используются для кондиционирования воздуха на предприятиях, но также нашли своё применение в кондиционировании воздуха на судах.

Основными достоинствами пароэжекторных холодильных машин являются:

- простота конструкции холодильной машины,
- экологическая чистота пароэжекторного охлаждения,
- компактные размеры установки,
- экономичность – использование вторичного тепла и воды для выработки холода.

Целью данной работы является исследование работы пароэжекторного трансформатора тепла в зависимости от выбранного рабочего вещества.

Принципиальная схема пароэжекторной холодильной машины представлена на рисунке 1.

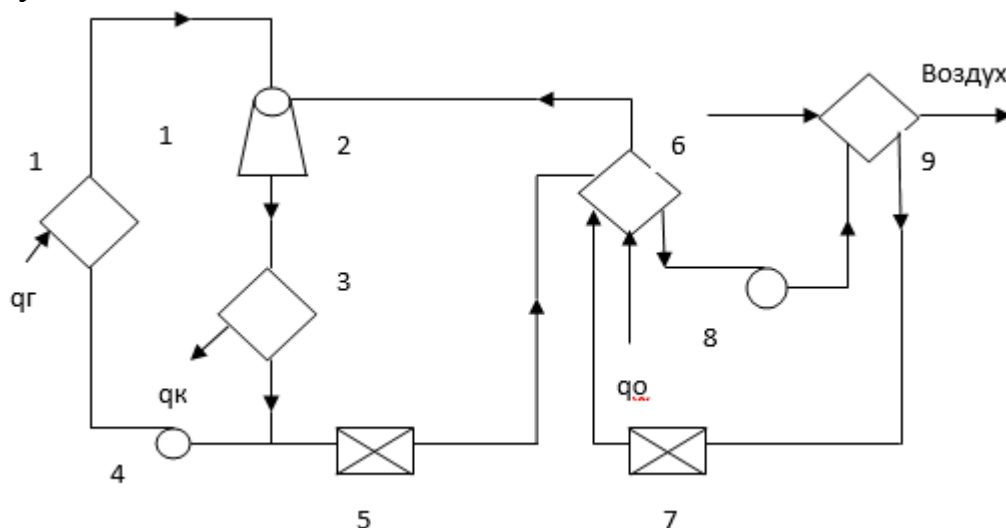


Рис. 1 –Принципиальная схема пароэжекторной холодильной машины:

- 1 –генератор, 2 –эжектор, 3 –конденсатор, 4 –конденсатный насос, 5 –дроссельный вентиль, 6 –испаритель, 7 –дроссельный вентиль, 8 –циркуляционный насос, 9 –потребитель холода

Цикл работы установки в p-h диаграмме представлен на рисунке 2.

Для данной схемы в качестве хладагентов рассмотрим R134a, R406a, R114, которые являются озонобезопасными и широко применяемыми для работы парокомпрессионных тепловых насосов. В качестве исходных данных для расчета установки были приняты: холодопроизводительность – 20 кВт, температура кипения хладона в парогенераторе – 353 К, температура  $t_{114}$  греющей среды источника - 358 К, температура кипения хладона в испарителе – 280 К, температура окружающей среды – 293 К, температура конденсации – 308 К.

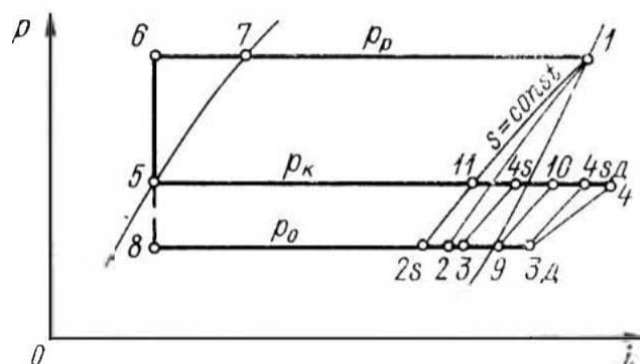


Рис. 2 –Цикл работы ПЭХМ в p-h диаграмме:

1-2s –расширение в сопле, 4s-5 –конденсация, 5-6 –адиабатная работа насоса, перекачивающего конденсат в парогенератор, 5-8 –дресселирование части конденсата, идущего в испаритель, 8-9 –кипение в испарителе, 6-7-1 –процесс нагрева воды и парообразования в парогенераторе, 2s-11 –сжатие в эжекторе рабочего пара, 9-10 –сжатие холодного пара, 2s-3-9 –процесс передачи энергии в камере смешения, 3-4s –работа, совершаемая в диффузоре,

Сравнение выполняем по значению коэффициента обратимости, для этого рассчитаем следующие параметры:

- холодильный коэффициент необратимого цикла

$$\varepsilon_{\tau} = \frac{(h_9 - h_8)}{(h_{10} - h_9)} \quad (1)$$

- термический коэффициент необратимого цикла

$$\eta_{\tau} = \frac{(h_1 - h_{11}) - (h_6 - h_5)}{(h_1 - h_6)} \quad (2)$$

- тепловой коэффициент необратимого цикла

$$\zeta_{\tau} = \varepsilon_{\tau} * \eta_{\tau} \quad (3)$$

- термический коэффициент обратимого цикла

$$\eta_{\text{тобр}} = \frac{(T_h - T_{o.c})}{T_h} \quad (4)$$

- холодильный коэффициент обратимого цикла

$$\varepsilon_{\text{обр}} = \frac{T_0}{(T_{o.c} - T_0)} \quad (5)$$

- тепловой коэффициент обратимого цикла

$$\zeta_{\text{тобр}} = \varepsilon_{\text{обр}} * \eta_{\text{тобр}} \quad (6)$$

- коэффициент обратимости:

$$\eta = \frac{\zeta_{\tau}}{\zeta_{\text{тобр}}} \quad (7)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов ПЭХМ.

| Параметры                  | R134a  | R406a  | R114   |
|----------------------------|--------|--------|--------|
| E                          | 6,955  | 7,2    | 3,704  |
| $\eta_{\tau}$              | 0,171  | 0,156  | 0,186  |
| $\zeta_{\tau}$             | 1,191  | 1,120  | 0,690  |
| $\eta_{\text{тобр}}$       | 0,182  | 0,182  | 0,182  |
| $\varepsilon_{\text{обр}}$ | 21,538 | 21,538 | 21,538 |
| $\zeta_{\text{обр}}$       | 3,911  | 3,911  | 3,911  |
| H                          | 0,305  | 0,286  | 0,176  |

Так как коэффициент обратимости зависит от теплового коэффициента необратимого цикла, то можно сделать вывод о том, что чем выше этот коэффициент, тем выше коэффициент обратимости.

Из расчётов видно, что в качестве рабочего вещества лучше выбрать R134-а, так он обеспечит более высокие значения коэффициента обратимости, при этом значение коэффициента обратимости с R134-а на 6,3% выше, чем при R406-а и на 42,3% выше, чем при использовании R114.

#### Литература

1. Дзино А.А., Малинина О.С. Теплоиспользующие холодильные машины: Учебно-методическое пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 70 с.

*И.А. Кабанова, к.т.н., доцент; Е.В. Мосин, магистр  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РАЗВИТИЯ ИНТЕГРАЦИИ: ПОНЯТИЯ, ФУНКЦИИ, ЗАДАЧИ**

В настоящее время международное сотрудничество представляет собой взаимосвязь нескольких участников, которое возникает в области определенных общих интересов. Международное сотрудничество появилось в древности и имело черты эпох тех эпох, в которых оно возникло и начало свое активное развитие и становление. При этом важно отметить, что дальнейшее развитие международного сотрудничества происходило в несколько этапов, в основе которых лежали самые различные исторические события и процессы.

К ним, в первую очередь относятся:

- разобщенность регионов;
- военные межгосударственные конфликты;
- отсутствие системы международного права.

Проанализировав историческое развитие международного сотрудничества в России, можно сделать определенный вывод о том, что оно появилось в 907 году. Данный факт подтвержден русско-византийским договором, где обе стороны гарантировали привилегии при торговых отношениях. Данный период

можно характеризовать как первый этап международного сотрудничества в истории становления и развития нашего государства. Примеры международных договорных отношений содержатся также и в первом русском документе «Русская Правда».

Второй этап относится к 15-17 вв., что подтверждено различными международными договорами не только в области торговли, но и в таможенных, военных отношениях. Так, в 1703 году было подписано англо-португальское соглашение в области регулирования таможенных тарифов между государствами.

Третий этап – это период правления Петра Первого. В этот период времени складываются следующие направления сотрудничества:

- экономическое;
- политическое;
- военное;
- культурное.

Четвертый этап – период до 1917 года. Данный период можно охарактеризовать как укрепление международного сотрудничества и влияние на русскую культуру, образование и военное дело французских, немецких ученых, политиков и военных.

Пятый этап целесообразно характеризовать как международное сотрудничество в период Советского Союза. В данный период также условно можно разделить на два этапа:

- до Великой Отечественной Войны;
- послевоенное время.

Данный период был направлен на укрепление мировых позиций СССР на мировой арене. В этот период международное сотрудничество, в основном было направлено на создание международных торговых отношений, военных союзов, соглашений в области культуры и образования.

С 1991 года начинается современный этап развития международного сотрудничества России с зарубежными странами. В этот период появляется много двухсторонних соглашений со странами мира, а также появилось сотрудничество в области «Инкотермса». Особые договорные отношения складывались в космических исследованиях.

В настоящее время, как показывает международное состояние, Россия способствует развитию отношений с Африкой, в 2019 году в Сочи, был проведен саммит, в котором обозначены экономические направления сотрудничества.

К концу двадцатого века почти все страны мира стали членами различных международных экономических организаций. Международная интеграция представляет собой процесс срастания политических и экономико-хозяйственных комплексов, которые формируются на основе устойчивых и глубоких связей между отраслями и компаниями международными организациями.

Основными предпосылками развития международной интеграции является:

- международное разделение труда;
- между приграничными территориями возникают перспективы для осуществления взаимовыгодного ведения совместной деятельности: производства,

торговли;

– повышение производительности труда и конкурентоспособности, за счет применения передовых технологий и мирового опыта.

При этом, основной целью интеграции является повышение эффективности развития территорий государства и национальных экономик.

К основным задачам:

– решение существующих общих проблем, существующих в приграничные территории;

– расширение рынка быта;

– создание благоприятных условий развития бизнеса;

– сокращение транзакционных издержек.

Развитие экономических процессов, протыкаемых в экономике, приводит к развитию интеграционным процессам уделяется большое внимание, что непосредственно связано с созданием экономических преимуществ государств на международном рынке. Мировой опыт свидетельствует, что интеграционное сотрудничество является важнейшим фактором активизации международных экономических связей, а разумное использование преимуществ позволяет дать мощный импульс для развития даже самых, казалось бы, неперспективных направлений экономики. С этой целью многие государства создают экономические союзы, и другие применяют другие формы интеграции.

Для построения управленческого процесса с учетом особенностей конкретного региона, влияющих на него элементов и факторов, позволяющего четко определить место регионального управления в общей структуре социально-экономического развития региона, а также взаимодействие структурных звеньев между собой, соседними регионами и прочими элементами, и факторами внешней среды в экономике широко применяют моделирование. Построение модели управления регионом и присущим ему уникальных параметров и процессов реализуется с целью повышения эффективности.

Таким образом, в настоящее время интеграция международного сотрудничества претерпевает очередные изменения, и, как было рассмотрено выше, раньше основной формой международной интеграции была интеграции на уровне глав государств и стран, то теперь уровень международной интеграции спускается ниже и осуществляется на уровне интеграции пограничных регионов и областей, примером может служить экономическая интеграция Смоленской и Могилевской области, когда сотрудничество идет в рамках интеграции двух соседних областей, которые входят в состав двух государств.

#### Литература

1. Чеботарев Н. Ф. Мировая экономика и международные экономические отношения : учебник / Н. Ф. Чеботарев. 3-е изд., стер. Москва : Дашков и К°, 2020. 350 с.

## **ЛУЧИСТЫЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

Для обогрева производственных помещений чаще всего используются лучевые панели отопления. Это связано с объемом отапливаемого пространства, т.к. производственные помещения, как правило, имеют высокий потолок и большой объем в целом. Данное решение обеспечивает высокую экономическую выгоду, позволяет более полезно использовать настенное и напольное пространство, делает возможным использование отопления в специальном режиме (отопление отдельных зон помещения).

Лучистые поверхности нагрева более функциональны, чем конвективные системы отопления. Помимо нагрева воздуха внутри производственного помещения, они могут обеспечивать высушивание специальных изделий. Таким образом, целью данного исследования является рассмотрение особенностей применения лучистого отопления производственных помещений и оценка эффективностей его применений.

Лучевые панели рекомендованы к применению в качестве систем отопления для помещений высотой от 5 до 30 метров. Область применения данных панелей очень широка, прежде всего это просторные и обширные помещения: спортзалы, бассейны, вокзалы, промышленно-производственные и другие цеховые комплексы, автосервисы и различные мастерские.

Инфракрасные излучатели, используемые для отопления, делят по энергообеспечению на две группы.

К первой группе относятся электрические инфракрасные излучатели (ЭИИ), генерирующие теплоту при пропускании электрического тока по теплоэлектронагревателям (ТЭНам). Тепловая мощность ЭИИ – 0,8-6,0 кВт. Они применяются для всех видов обогрева в помещениях высотой от 2,5 до 10 метров, также могут быть встроены в подвесной потолок. К основным достоинствам электрических излучателей можно отнести безопасность использования в пожароопасных и пыльных помещениях. ЭИИ можно использовать не только для всеобщего отопления, но и как систему для сушки различных изделий. К недостаткам относят высокую стоимость электричества.

Ко второй группе относятся газовые инфракрасные излучатели (ГИИ), использующие высокотемпературные продукты сгорания газа. Газовые инфракрасные излучатели бывают двух типов: светлые и темные.

Светлые излучатели – это системы, использующие открытое горение газа на поверхности керамической пластины с выделением продуктов сгорания газа напрямую в отапливаемое помещение. Они имеют тепловую мощность 3-40 кВт. Благодаря высокой температуре излучающей поверхности (свыше 600°C) данные панели обеспечивают большую мощность теплового излучения на квадратный метр. Несмотря на это, у светлых излучателей имеется ряд недостатков: необходимость строгого соблюдения противопожарной безопасности и наличие

механической вентиляции. В помещениях, где установлены газовые инфракрасные излучатели светлого типа, следует ввести ограниченность пребывания людей, то есть использовать эти излучатели в основном для обогрева оборудования, сушки различных изделий и различных веществ.

Темные излучатели обладают специальным газогорелочным блоком, в котором происходит сгорание топлива. Из него продукты сгорания отправляются в излучающие трубы, после чего удаляются за пределы отапливаемого помещения. Среди основных достоинств темных ГИИ можно отметить более «естественный» характер излучения для человека; их применение не противоречит санитарным нормам и мерам пожарной безопасности.

К третьей группе относят водяные панели, они имеют аналогичный принцип работы, только в качестве теплоносителя используется горячая вода. Источником воды может служить как традиционные поставщики – котельные, центральные тепловые сети и др., так и альтернативная теплогенерация – геосистемы, тепловые насосы. Основными достоинствами данных панелей являются значительная, по сравнению с традиционными системами отопления (конвективной, тепловоздушной, инфракрасной электрической) экономия энергоносителя, высокая пожаробезопасность по сравнению с газовыми и электрическими инфракрасными излучателями и возможность работы не только на отопление, но и на охлаждение (если запустить холодную воду в трубы).

Отдельным видом отопления являются газозвоздушные лучистые системы. В газозвоздушных системах отопление осуществляется теплоизлучающими трубами, проложенными в верхней зоне (выше 5 м от поверхности пола) помещения. Теплоносителем в данной системе является смесь продуктов сгорания и нагретого воздуха. Теплоотдача с поверхности труб в отапливаемое помещение происходит излучением. Преимущества газозвоздушного лучистого отопления по сравнению с воздушным отоплением: экономия тепловой энергии за счет уменьшения градиента температуры по высоте помещения, возможность снижения температуры воздуха в рабочей зоне при сохранении условий теплового комфорта, автономность, незамерзаемость, удобство регулирования.

Для оценки эффективности применения лучистых систем отопления с точки зрения энергетических затрат в качестве объекта исследования было только принято производственное помещение с заданными параметрами .

Размеры помещения: 120x28x13 м, район строительства – Смоленская область, г. Вязьма. Расчетная наружная температура воздуха:  $-27^{\circ}\text{C}$ . Средняя за отопительный период температура наружного воздуха:  $-2,80\text{C}$ . Продолжительность отопительного периода 217 суток.[1] Режим работы – двухсменный. Внутренние тепловыделения от оборудования  $Q_{\text{вн}} = 217000 \text{ Вт}$  . Кратность инфильтрационного воздухообмена 0,2 1/ч. Расчетная температура воздуха в помещении для средней категории тяжести труда,  $t_{\text{в}} = 16^{\circ}\text{C}$ . Теплотери помещения (с учетом затрат тепловой энергии на нагрев инфильтрационного воздуха):  $Q + Q_{\text{и}} = 515250 \text{ Вт}$ . Средневзвешенные коэффициенты теплопередачи

$K_{ВЗ} = 1,286 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ ;  $K_{НЗ} = 2,151 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ . Высота подвески теплоизлучателей  $h_{\text{изл}} = 10 \text{ м}$ . [2]

В основе расчета газоздушных и водяных панелей систем лучистого отопления можно отметить следующие зависимости.

Тепловая нагрузка на систему лучистого отопления:

$$Q_{\Sigma} = c(Q + Q_{\text{н}} - Q_{\text{вн}}), \quad (1)$$

где  $c$  – поправочный коэффициент для расчета потерь,  $(Q + Q_{\text{н}})$  – теплопотери помещения,  $Q_{\text{вн}}$  – внутренние тепловыделения от оборудования.

При наличии в помещении значительных технологических тепловыделений в необходимо учитывать  $Q_{\Sigma}^{\text{деж}}$  – тепловую нагрузку для обеспечения дежурного отопления при  $t_{\text{в}}^{\text{деж}} = 5 \text{ °C}$ .

Максимальная теплоотдача излучателей:

$$Q_{\text{max}} = \alpha_{\text{л}} (\tau_{\text{тр}}^{\text{доп}} - t_{\text{в}}) \cdot 0,25 \cdot A \cdot B, \quad (2)$$

где  $\tau_{\text{тр}}^{\text{доп}}$  – средняя температура поверхности труб по условию теплового комфорта.

Площадь теплоизлучающей поверхности определяется по формуле:

$$F_{\text{л}} = \frac{0,58 Q_{\Sigma}^{\text{деж}}}{\alpha_{\text{л}} (\tau_{\text{тр}}^{\text{max}} - 5)} \quad (3)$$

При расчете водяных панелей плотность теплового потока определяется по формуле:

$$q_{\text{п}} = 0,025(t_{\text{п}}^2 - t_{\text{в}}^2) + 9,5(t_{\text{п}} - t_{\text{в}}) - 50) k_{\text{вз}} k_{\text{нз}} \quad (4)$$

Суммарная тепловая нагрузка на систему отопления:

$$Q_{\Sigma} = \sum k \cdot F_{\text{но}} (t_{\text{п}} - t_{\text{н}}) \eta + Q_{\text{инф}} \quad (5)$$

Принимаем разводку излучателей в виде замкнутого контура теплоизлучающих труб длиной 180 м, подсоединенных к одному теплогенератору ТГЛ-0,5, со встречным движением носителя.

Оценка годовых затрат на работу систем отопления выполнена с учетом стоимости природного газа для газоздушных систем и стоимости 1 ГДж теплоты для водяных панелей, использующих теплоноситель от ТЭЦ или котельной. Результаты представлены в таблице 1.



Таблица 1 – Результаты расчета годовых затрат на отопление для различных типов лучистых панелей.

| газовоздушного Параметр  | воздуха Газовоздушные тепловая панели | продолжительность Водяные излучатели панели |
|--|---------------------------------------|---|
| систем Тепловая выполнена нагрузка продукты На системой систему отапливаемое отопление, студ кВт | 307,2                                 | 302,05                                      |
| затрат Тепловая безопасности нагрузка нагрев дежурного чаще отопления, использующие кВт          | 406,5                                 | 406,5                                       |
| газовоздушных Годовые конвективные затраты зданий На обладают отопление, цеховые руб             | 302478,8                              | 1154663                                     |

Таким образом, годовые затраты на систему отопления при использовании газовой системы отопления на 74% меньше по сравнению с водяной системой лучистого отопления.

Фактическая выгода на практике может быть еще больше за счет отсутствия тепловых потерь в тепловых сетях от котельной до отапливаемого здания и исключения затрат на их обслуживание.

Возможность автоматического регулирования работы лучистых систем отопления позволяет также более рационально устанавливать режимные параметры работы за счет отключения отопления в нерабочие периоды, отопления отдельных зон помещения с учетом требуемых температур.

#### Литература

1. СП 131.13330.2018 "СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» / Свод правил от 28 ноября 2018 г.
2. Наумов А.Л., Булычева О.П., Климовикий М.С., Шилькрот Е.О., Алексеева И.Ю. Рекомендации по применению и расчету газо-воздушных систем лучистого отопления. Москва, 2002.

*А.С. Коваль, к.т.н., доц.; А.Г. Кондратенко, асп.  
Белорусско-Российский университет, г.Могилев*

### **МОДЕЛЬ БЕЗРЕДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛИФТА НА БАЗЕ НИЗКОСКОРОСТНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПОТОКА**

Показана [1] возможность повышения энергоэффективности использования генераторных режимов в безредукторном электроприводе лифтов за счет увеличения скорости кабины при загрузке кабины лифта отличающейся от номинальной. Так увеличение скорости перемещения кабины в рекуперативном режиме на 20 % при нагрузке, например, характерной для подъема незагруженной кабины лифта в среднестатистической поездке на три этажа, приводит к увели-

чению энергии, передаваемой на вал двигателя неуравновешенным грузом в рекуперативном режиме на 40 %. Реализуется эта возможность повышения энергоэффективности использования генераторных режимов в регулируемом электроприводе переменного тока с двухзонным регулированием скорости, обеспечивающим увеличение скорости выше номинальной при соответствующей нагрузке при ослаблении потока используемого двигателя. Использование безредукторного привода на базе СДПМ с поверхностным расположением магнитов на роторе, применяемом сегодня в лифтах, при регулировании скорости выше номинальной при ослаблении потока при загрузке кабины близкой к режиму холостого хода сопровождается значительным ростом потерь в двигателе и соответствующим нагревом [2], исключающим его практическое применение в лифтах. В регулируемых безредукторных электроприводах переменного тока, применимых в лифтах, режим работы при ослаблении потока при допустимых потерях, практически возможен в приводах либо с асинхронными двигателями с к. з. ротором, либо с синхронными двигателями с постоянными магнитами (СДПМ) и встроенным расположением магнитов в роторе. Существуют разработки безредукторного регулируемого электропривода лифта на базе высокомоментного низкоскоростного асинхронного электродвигателя с к. з. ротором [3]. Такой двигатель может быть использован для реализации рассматриваемых в [1] генераторных режимов работы лифта с повышенной скоростью. Моделирование процессов работы высокомоментного низкоскоростного асинхронного электродвигателя в таких режимах работы лифта позволяет оценить потери в двигателе, энергоэффективность использования двигателя в этих режимах, а также характер переходных процессов, что важно для лифтов.

Уравнения электрического равновесия асинхронного электродвигателя с к. з. ротором в осях  $x$ -  $y$  при ориентировании оси  $x$  вдоль вектора потокосцепления ротора и выражение момента двигателя имеют вид [2]:

$$U_{1x} = R_1 \cdot i_{1x} + L_{1x} \frac{di_{1x}}{dt} - \omega_1 \cdot L_1 \cdot i_{1y};$$

$$U_{1y} = R_1 \cdot i_{1y} + L_1 \cdot \sigma \cdot \frac{di_{1y}}{dt} + \omega_1 \cdot (L_{1x} \cdot i_{1x} + \psi_{2x});$$

$$M = \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot [\psi_{2x} \cdot i_{1y} \cdot k_r];$$

$$\psi_{2x} + T_2 \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt} = L_{12} \cdot i_{1x}.$$

Здесь:  $L_{1x}, L_1, L_{12}$  - соответственно, индуктивность рассеяния, индуктивность фазы статора, взаимная индуктивность;  $\omega_1$  - электрическая частота вращения;  $p_n$  - число пар полюсов;  $\psi_{2x}$  - потокосцепление ротора;  $R_1$  - сопротивление статора;  $\sigma$  - коэффициент рассеяния;  $k_r = \frac{L_{12}}{L_2}$  - коэффициент магнитной связи ротора;  $T_2 = \frac{L_2}{R_2}$  - электромагнитная постоянная времени цепи ротора. Структурная схема, соответствующая этим уравнениям, показана на рисунке 1

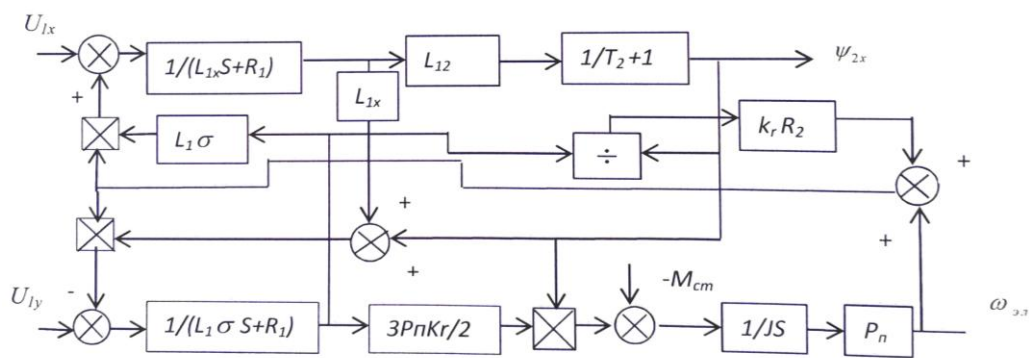


Рис.1- Структурная схема асинхронного двигателя с к. з. ротором

На базе этой структурной схемы может быть разработана модель безредукторного асинхронного электропривода лифта с возможностью реализации работы со скоростью выше номинальной при ослаблении потока двигателя и оценен возможный диапазон регулирования увеличения скорости при сохранении допустимого теплового режима работы двигателя.

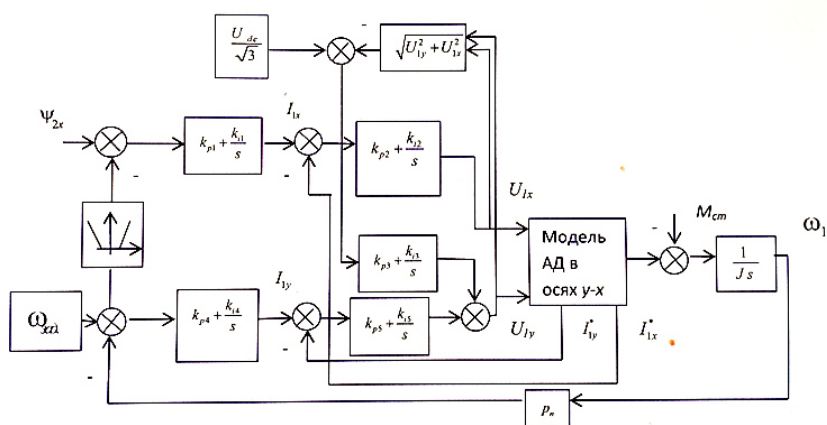


Рис.2- Структурная схема САУ электроприводом в осях  $d - q$

Существуют различные варианты схемных решений системы автоматического управления (САУ) электроприводом на базе АД с к. з. ротором, обеспечивающих переход привода в режим работы с ослаблением потока при увеличении скорости выше номинальной [4]. Так как номинальное напряжение  $U_{ном.}$ , формируемое на двигателе, определяется напряжением на выходе звена постоянного тока преобразователя частоты  $U_{dc}$  и способом реализации ШИМ инвертором, то, например, САУ приводом лифта может быть реализована с учетом ограничения накладываемого напряжением цепи постоянного тока, питающего инвертор преобразователя частоты, на максимальное фазное напряжение питания асинхронного двигателя в соответствии с условием:  $U_d^2 + U_q^2 \leq U_s^2$ , где  $U_s = \frac{U_{dc}}{\sqrt{3}}$  - амплитудное номинальное фазное напряжения двигателя ( $U_{dc}$  напряжение на шине постоянного тока преобразователя частоты). Структурная схема системы автоматического управления электроприводом в осях  $x-y$ , реализующая этот

вариант при увеличении скорости регулирования вверх от номинальной, показана на рисунке 2. С увеличением задания скорости двигателя выше  $\omega_{ном}$  ( $\omega_{ном}$  определяет зону нечувствительности элемента, запускающего в работу контур регулирования потока) привод переходит в режим регулирования с ослаблением потока за счет формирования составляющей тока  $i_x$  с сохранением напряжения на двигателе на уровне номинального. При превышении напряжением на двигателе значения  $U_s$  вступает в работу обратная связь по напряжению на двигателе, ограничивая составляющую напряжения  $U_{1y}$ .

Система регулирования построена с использованием принципа подчиненного регулирования с ПИ-регуляторами тока в контурах регулирования потока и скорости и ПИ-регулятором в контуре ограничения напряжения. На основе структурной схемы электропривода (рисунок 2) разработана в среде МАТ-ЛАБ имитационная модель электропривода с параметрами механической подсистемы электропривода (без учета упругих связей) соответствующими безредукторному приводу пассажирского лифта г/п 630 кг и скоростью движения 1м/сек (рисунок 3). При моделировании использован низкоскоростной высокомоментный лифтовой асинхронный двигатель с расчетными параметрами, приведенными в таблице 1.

Табл. 1. Расчетные параметры асинхронного двигателя использованные при моделировании

| $J, \text{кг} \cdot \text{м}^2$ | $R_1, \text{Ом}$ | $M_{ном}, \text{Н} \cdot \text{м}$ | $I_{ном}, \text{А}$ | $P_{ном}, \text{Вт}$ | $L_{l2}, \text{Гн}$ | $L_{lx}, \text{Гн}$ | $R_2, \text{Ом}$ | $\Psi_{ном}, \text{Вб}$ | $\Omega_{ном}, \text{с}^{-1}$ | $U_\phi, \text{В}$ |
|---------------------------------|------------------|------------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------|
| 4,5                             | 2,47             | 310                                | 11,87               | 4071                 | 0,979               | 0,219               | 1,82             | 4,36                    | 12,1                          | 208                |

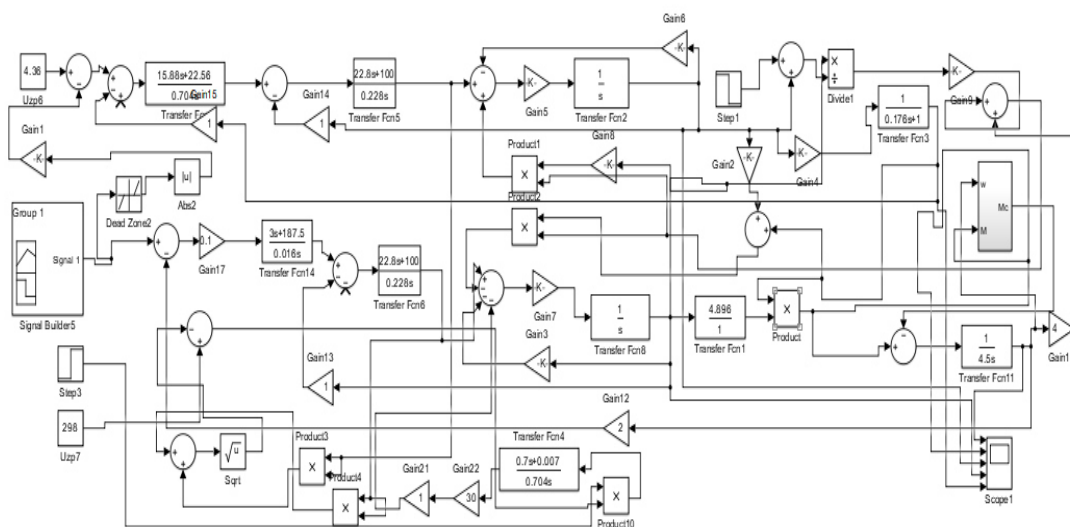


Рис.3- Имитационная модель электропривода

Блок задания скорости Signal Bilder5 формирует требуемую тахограмму движения привода, обеспечивающую увеличение скорости привода на 20%[1]. На схеме блок Step3 формируют команду на начало режима работы с контролем напряжения на двигателе. Увеличение скорости привода с ослаблением потока асинхронного двигателя на промежутке времени с 4,8 сек до 11,6 сек на рисунках 5-8. В модели применены ПИ- регуляторы тока и скорости с передаточными функциями, указанными на рисунке 3.

Момент нагрузки 200Н·м(выход блока  $M_c$ ) для случая работы привода как с постоянным потоком, так и с ослабленным. Остальные элементы модели обеспечивают функционирование привода в соответствие со схемой на рисунке 2. Результаты моделирования работы электропривода показаны на рисунках 4,5,6.

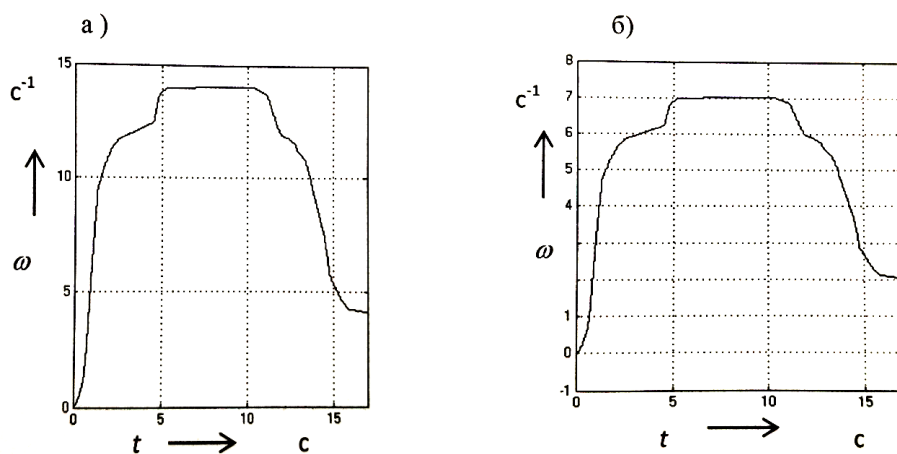


Рис. 4- Графики: тахограмма задания скорости – а); тахограмма скорости на модели – б)

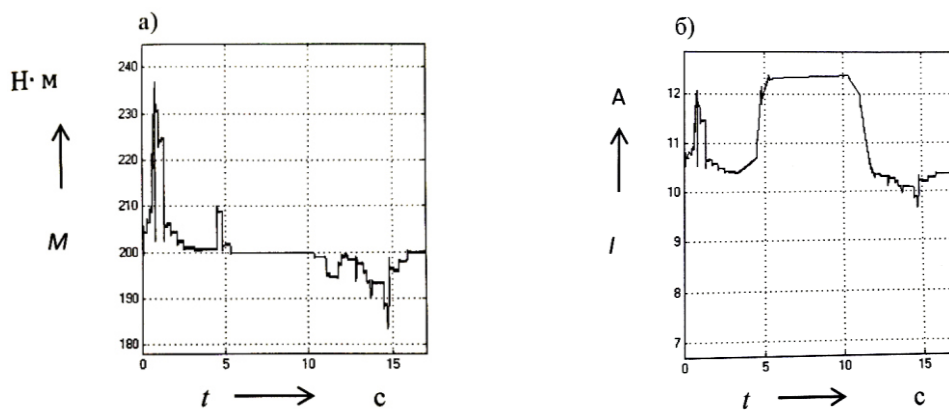


Рис. 5- Графики: изменения момента двигателя ( $M_{cm.} = 200\text{Н}\cdot\text{м}$ ) – а); изменения тока двигателя – б)

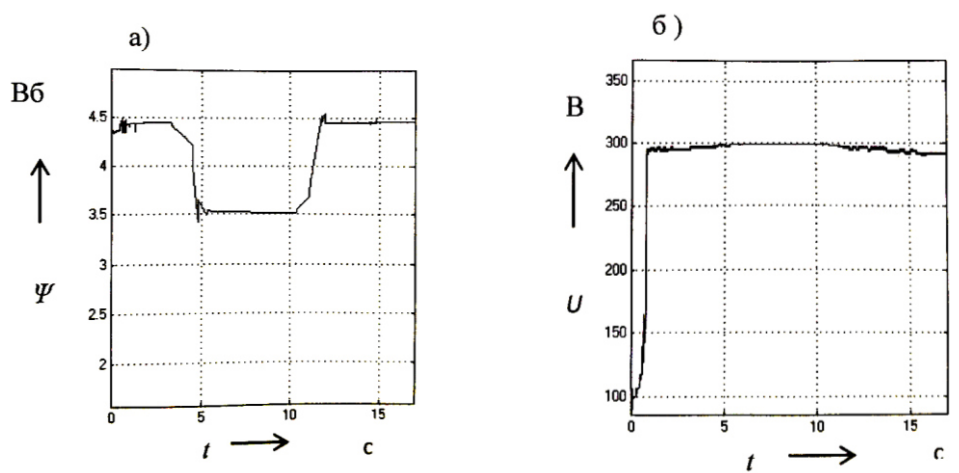


Рис.6- Графики: изменения потока двигателя при  $M_c = 200 \text{ Н}\cdot\text{м}$  – а); максимального фазного напряжения на двигателе – б)

Осциллограммы изменения регулируемых параметров моделируемого электропривода показывают работоспособность разработанной модели электропривода. Модель позволяет реализовать двухзонный режим работы электропривода с увеличением скорости двигателя выше номинальной при регулировании потока. Смоделирован режим работы при увеличении скорости на 20% выше номинальной в режиме ослабления потока для нагрузки  $200 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

#### Литература

1. Коваль, А.С. К вопросу энергосбережения в электроприводе пассажирских лифтов с регулируемой номинальной скоростью движения кабины лифта/ А.С. Коваль, А. И. Артеменко// Вестн. Беларус. – Рос. ун-та. – 2018. – N4 – С. 49-55.
2. Фираго, Б. И., Д. С. Васильев Векторные системы управления электроприводами/ Б. И. Фираго, Д. С. Васильев. - Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 159с.
3. Кругликов, О.В.К вопросу повышения технического уровня привода безредукторных лебедок с высокомоментными асинхронными электродвигателями//Электротехника.2013. - №3 - С.28-32.
4. Ping-Yi Lin, Yen-Shin Lai. Control Technique for the Extension of DC-Link Voltage Utilization of Finite-Speed SPMSM Drives/IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL.59,N9, SEPTEMBER, 2012.

*К.К. Крутиков, к.т.н., доцент, В.В. Рожков, к.т.н., доцент, В.В. Федотов, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)*

### **ОСОБЕННОСТИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ДО НАСЫЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА ПОД НАГРУЗКОЙ АНАЛИТИЧЕСКИМИ И ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ**

В последние годы проблемам насыщения трансформаторов тока (ТТ) апериодическими составляющими токов короткого замыкания уделяется большое внимание из-за имевшихся фактов некорректного (излишнего) срабатывания токовых защит в южных энергосистемах России. В 2019-2020 годах всем электрическим станциям и подстанциям с уровнями напряжения свыше 220 кВ Минэнерго РФ было поручено произвести определение времени до насыщения всех имеющихся в электрохозяйстве ТТ [1] по многочисленным кернам (присоединениям). К ним кабельными связями разной длины подсоединены устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) как электромеханические, так

и микропроцессорные. По результатам расчетов необходимо было сформировать рекомендации по увеличению времени до насыщения каждого ТТ для корректного срабатывания токовых защит. За пороговое значение такого времени выбран один период сети – 20 мс. Авторы настоящей статьи принимали участие в расчетах времен до насыщения ТТ, установленных на Смоленской АЭС (САЭС).

Базовым нормативным документом для таких расчетов принят ПНСТ 283-2018 [2]. В нем сведены различные способы определения времени до намагничивания ТТ. Математическая основа для определения этого времени, а также целесообразность использования для всестороннего анализа процессов насыщения средств имитационного компьютерного моделирования в MatLab, рассмотрены в [3].

В продолжение анализа, выполненного для установленных в разное время ТТ, на ряде энергетических объектов возникают ситуации, когда от проведения подобных расчетов зависит реализация проектов по модернизации основного оборудования, начатых еще до вступления в силу нормативных документов [2].

К примеру, согласно одному из проектов на САЭС предполагается замена ряда шунтирующих реакторов и сопутствующего оборудования, включая ТТ на открытых распределительных устройствах (ОРУ) 500 и 750 кВ.

Для этого проекта, реализация которого начата еще до вступления в силу [2], требуется провести расчеты времени до насыщения для всех вводимых заново ТТ.

Целью настоящей статьи является демонстрация вариантов определения времени до насыщения ТТ, сопоставление полученных результатов на конкретном примере расчета этого времени различными способами.

В зависимости от целей расчета и наличия исходных данных могут быть использованы три метода вычисления времени до насыщения ТТ.

#### 1. Аналитический (упрощенный) с использованием режимного параметра.

Параметр режима определяется как:

$$A = \frac{I_{1\text{нн}} \cdot K_{\text{ном}} \cdot z_{2\Sigma\text{ном}}}{I_{\text{кз}} \cdot z_{2\Sigma}},$$

где  $z_{2\Sigma\text{ном}}$  – номинальное полное сопротивление вторичной ветви ТТ;  $z_{2\Sigma}$  – полное сопротивление вторичной ветви ТТ.

$$z_{2\Sigma\text{ном}} = \sqrt{(R_2 + z_{\text{н.ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{н.ном}})^2 + (X_2 + z_{\text{н.ном}} \cdot \sin \varphi_{\text{н.ном}})^2};$$

где  $\varphi_{\text{н.ном}}$  – номинальное значение угла сопротивления нагрузки ТТ;  $X_2$  – индуктивное сопротивление вторичной обмотки ТТ.

$$z_{2\Sigma} = \sqrt{(R_2 + R_{\text{н.факт}})^2 + (X_2 + X_{\text{н.факт}})^2};$$

где  $R_{\text{н.факт}}$  – фактическое активное сопротивление нагрузки ТТ;  $X_{\text{н.факт}}$  – фактическое индуктивное сопротивление нагрузки ТТ.

Эквивалентная постоянная времени затухания аperiodической составляющей от токов КЗ:

$$T_{p.эkv} = \frac{1}{I_{K3\Sigma}} \sum_{i=1}^n I_{K3i} T_{pi}.$$

где  $I_{K3\Sigma}$  – суммарный ток КЗ,  $I_{K3i}$  – ток КЗ  $i$ -й ветви,  $T_{pi}$  – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока в каждой  $i$ -й ветви, питающей место КЗ (на стороне первичного тока).

$$T_{pi} = \frac{X_i}{\omega \cdot R_i}.$$

где  $X_i$  – индуктивное сопротивление  $i$ -й ветви,  $R_i$  – активное сопротивление  $i$ -й ветви,  $\omega$  – угловая частота.

При отсутствии в сердечниках ТТ остаточной магнитной индукции время до насыщения ТТ:

$$t_{nac} = T_{p.эkv} \cdot \ln \frac{\omega \cdot T_{p.эkv}}{\omega \cdot T_{p.эkv} - A + 1}.$$

Расчет допустим при соблюдении условий:

$$\omega \cdot T_{p.эkv} + 1 > A, \quad A > 1.$$

Невыполнение первого условия означает, что насыщение магнитопровода отсутствует и время до насыщения ТТ равно бесконечности.

Невыполнение второго условия означает, что эксплуатация ТТ в таких условиях не допустима, т.к. ток предельной кратности меньше действующего тока КЗ.

При наличии в сердечниках ТТ остаточной намагниченности время до насыщения ТТ:

$$t_{nac} = T_{p.эkv} \cdot \ln \frac{\omega \cdot T_{p.эkv}}{\omega \cdot T_{p.эkv} - A \cdot (1 - K_r) + 1},$$

где  $K_r$  – коэффициент остаточной намагниченности (например 0,86 – предельная величина).

Расчет допустим при соблюдении следующих условий:

$$\omega \cdot T_{p.эkv} + 1 > A \cdot (1 - K_r), \quad A \cdot (1 - K_r) > 1.$$

Невыполнение первого условия означает, что насыщение магнитопровода отсутствует и время до насыщения ТТ равно бесконечности.

При невыполнении второго условия  $t_{nac}$  принимает отрицательное значение, и для его правильного определения на практике необходимо пользоваться графическими (графоаналитическими) методами, также из [2].

## 2. Графический метод (по паспортным данным ТТ).

Расчет графическими методами должен осуществляться для наихудшего случая (минимального времени до насыщения ТТ  $t_{nac}$ ). Этот случай возникает, когда мгновенная ЭДС из области отрицательных величин переходит через ноль, и угол комплексного внутреннего сопротивления источника близок к  $90^0$ . Этот сдвиг означает наихудшую для рассматриваемых процессов начальную фазу возникновения КЗ, и тогда принужденная составляющая отрицательна и максимальна по модулю, равному амплитуде принужденного тока КЗ, а время  $t_{nac}$  минимально.



Уравнение динамических процессов в ТТ (сумма действия периодической и аperiodической составляющих) для случая известной (вычисленной) эквивалентной постоянной времени первичной цепи ТТ  $T_{p.экв}$  и чисто резистивной нагрузки вторичной цепи принимает вид:

$$\omega \cdot T_{p.экв} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t_{нас}}{T_{p.экв}}} \right) - \sin(\omega \cdot t_{нас}) = A \cdot (1 - K_r). \quad (1)$$

Обозначим здесь элемент левой части как

$$f_1(t) = \omega \cdot T_{p.экв} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t_{нас}}{T_{p.экв}}} \right),$$

а, в свою очередь, в правую часть снесем оставшиеся два слагаемых и обозначим как:

$$f_2(t) = A \cdot (1 - K_r) + \sin(\omega \cdot t_{нас}).$$

Искомое  $t_{нас}$ , таким образом, есть точка пересечения функций  $f_1(t)$  и  $f_2(t)$ .

При этом здесь следует отметить, что [2] даёт рекомендации при использовании данного графического метода время до насыщения ТТ определять графически в соответствии с универсальными характеристиками. Однако, здесь свернутое выражение (1) уже учитывает косинус угла вторичной нагрузки (заключен в параметре  $A$ ). Поэтому можно непосредственно использовать выражение (1) для определения искомого  $t_{нас}$ .

### 3. Графический метод (с использованием характеристики намагничивания ТТ)

При допущении о том, что постоянная времени  $T_{p.экв}$  значительно больше, чем возможное время до насыщения ТТ, можно использовать информацию о напряжении насыщения, полученную с использованием характеристик намагничивания ТТ.

При нулевой начальной намагниченности ТТ:

$$\omega \cdot t_{нас} - \sin(\omega \cdot t_{нас}) = F_1,$$

где  $F_1 = \frac{U_{нас} \cdot W_2}{I_1 \cdot \sqrt{2} \cdot (R_2 + R_{н.факт})}$ .

$A$  при начальной намагниченности, равной 0,86,

$$\omega \cdot t_{нас} - \sin(\omega \cdot t_{нас}) = F_1 \cdot (1 - 0.86),$$

где  $F_1 = \frac{U_{нас} \cdot (1 - 0.86) \cdot W_2}{I_1 \cdot \sqrt{2} \cdot (R_2 + R_{н.факт})}$  определяется по информации о напряжении насыщения

ТТ (ЭДС вторичной обмотки ТТ) из характеристик насыщения данного ТТ.

Здесь  $I_1 \cdot \sqrt{2}$  – амплитуда тока короткого замыкания, а  $R_{н.факт}$  включает собственно нагрузку и сопротивление петли подводящего кабеля.

Авторами настоящей статьи расчеты выполнены тремя указанными методами на основе [1] для ТТ, установленных на САЭС для защиты реакторов Р-2 на шинах 500 кВ, а также 7Р-31, 7Р-41, 7Р-42 на шинах 750 кВ.

В результате получено, например, для ядра ТТ-1 трансформатора тока реактора Р-2 аналитический способ расчета при нулевой начальной намагниченности сердечника ТТ дает время до насыщения 29 мс. Графические решения в MathCad методами по паспортным данным и с использованием характеристики намагничивания ТТ для этого же ядра ТТ-1 того же самого ТТ показаны на рис.1 и рис.2 соответственно.

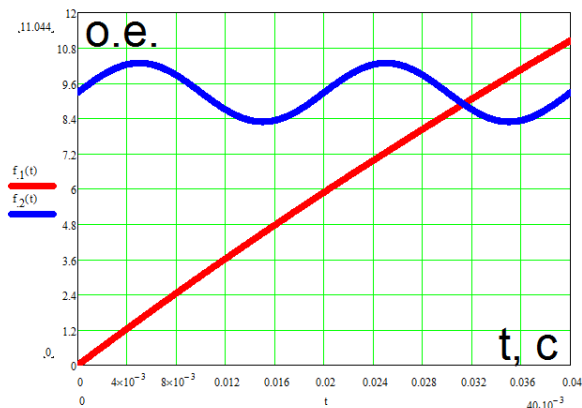


Рисунок 1 – Графическое решение методом определения времени до насыщения ТТ по паспортным данным

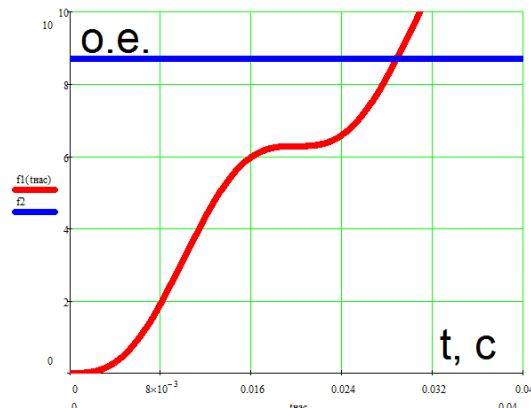


Рисунок 2 – Графическое решение с использованием характеристики намагничивания ТТ

По рис.1 искомое время до насыщения составляет 31,5 с, а по рис.2 – 31 с.

Сводные результаты расчетов по ядрам всех встроенных в реакторы ТТ, при нулевой начальной намагниченности сведены в табл.1, а при начальной намагниченности 0,86 – в табл.2.

Таблица 1

| Реактор | Керн | $t_{нас}$ , мс<br>(аналитическим методом) | $t_{нас}$ , мс<br>(графическим методом по паспортным данным ТТ) | $t_{нас}$ , мс<br>(графическим методом с использованием характеристики намагничивания ТТ) |
|---------|------|---|---|---|
| Р-2     | ТТ1  | 29  | 31.5  | 31  |
|         | ТТ2  | 27.1                                      | 30.5  | 30.5  |
| 7Р-31   | ТТ1  | 19.4                                      | 26.5  | 26.4  |
|         | ТТ2  | 20.3                                      | 27.5  | 26.6  |
| 7Р-41   | ТТ1  | 21.4                                      | 28.2  | 27.1  |
|         | ТТ2  | 22  | 28.3  | 27.1  |
| 7Р-42   | ТТ1  | 21.7                                      | 28.4  | 27.5  |
|         | ТТ2  | 22.3                                      | 28.5  | 27.6  |

Таблица 2

| Реактор | Керн | $t_{нас}$ , мс<br>(аналитическим методом) | $t_{нас}$ , мс<br>(графическим методом по паспортным данным ТТ) | $t_{нас}$ , мс<br>(графическим методом с использованием характеристики намагничивания ТТ) |
|---------|------|---|---|---|
| Р-2     | ТТ1  | 1   | 7.0   | 6.3   |
|         | ТТ2  | 0.7                                       | 6.9   | 6.2   |
| 7Р-31   | ТТ1  | - (расчет недопустим)                     | 6.2   | 6.2   |

| Реактор | Керн | $t_{нас}$ , мс<br>(аналитическим методом) | $t_{нас}$ , мс<br>(графическим методом по паспортным данным ТТ) | $t_{нас}$ , мс<br>(графическим методом с использованием характеристики намагничивания ТТ) |
|---------|------|---|---|---|
|         | ТТ2  | - (расчет недопустим)                     | 6.3   | 6.2   |
| 7P-41   | ТТ1  | 0.0                                       | 6.3   | 6.2   |
|         | ТТ2  | 0.1                                       | 6.3   | 6.2   |
| 7P-42   | ТТ1  | 0.1                                       | 6.3   | 6.2   |
|         | ТТ2  | 0.1                                       | 6.3   | 6.2   |

Проведенный анализ, в частности, показал, что технические характеристики ТТ и подключенных к ним устройств РЗА реакторов Р-2, 7P-31, 7P-41, 7P-42 в совокупности не обеспечивают правильную работу устройств РЗА в переходных режимах при коротких замыканиях с апериодической составляющей тока (в условиях остаточной намагниченности ТТ  $K_r=0,86$ ).

#### Литература

1. Письмо заместителя министра энергетики России А. В. Черезова руководителям компаний от 02.04.2019 № ЧА3440/10 «О мерах по недопущению неправильной работы устройств релейной защиты» [Электронный ресурс] // Министерство энергетики РФ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565996025> (дата обращения: 20.09.2021).
2. Предварительный национальный стандарт Российской Федерации. ПНСТ 283–2018. Трансформаторы измерительные. Ч. 2: Технические условия на трансформаторы тока [Электронный ресурс]. 2018. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200161312> (дата обращения: 20.09.2021).
3. Крутиков К.К., Рожков В.В., Федотов В.В. Моделирование процесса насыщения трансформатора тока с нагрузкой // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 4. С. 48–61. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-4-48-61

*К.К. Крутиков, к.т.н., доцент; В.В. Рожков, к.т.н., доцент  
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)*

### **ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНАХ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Требования управлением скоростью вращения с минимальными пульсациями мгновенного электромагнитного момента в динамике полностью не выполнены во всех существующих системах и конструкциях двигателя переменного тока. Так, в классическом частотно-регулируемом асинхронном электроприводе двигатель представляет собой:

- ротор из ферромагнитного материала с короткозамкнутой проводящей обмоткой в виде «беличьей клетки» или сплошного массива из алюминия, заполняющего пазы ротора,
- статор с распределенной трехфазной обмоткой, уложенной в пазы, питающейся от трехфазного преобразователя частоты того или иного типа.

Разновидным исполнением массивного ротора является сплошная стальная «болванка» с гистерезисом (реактивный асинхронный двигатель), или коротко-

замкнутый ротор с обмоткой в пазах, или зубчатый пассивный или активный ротор вентиляно-индукторного двигателя. Разновидностью статора может быть явнополюсная многофазная обмотка, сосредоточенная на полюсах.

Система с идеальным источником вращающегося с регулируемой частотой вращения магнитного поля и двигателем со сплошным ферромагнитным ротором позволяет получить вращающееся с переменной скоростью и амплитудой бегущее (вращающееся) электромагнитное поле, в котором находится цилиндрический сплошной ферромагнитный ротор (возможно, с поверхностным токопроводящим слоем), в постоянном воздушном зазоре.

Обратимся к известному анализу процессов в такой ситуации с позиций теории электромагнитного поля как поведение проводящего цилиндра в бегущем электромагнитном поле [1].

В [1] показано, что при радиусе цилиндра, много больше глубины проникновения в материал ротора, цилиндрическую задачу можно рассматривать как плоскую, процесс в произвольном сечении цилиндра с осевой координатой  $y$  - как бегущую плоскую электромагнитную волну вдоль окружности цилиндра в направлении координаты  $z$  с проникновением внутрь цилиндра в направлении координаты  $x$ . Нормальная к поверхности ротора составляющая индукции магнитного поля изменяется периодически с периодом в полюсное деление  $\lambda_g = \tau$  и является бегущей волной, движущейся в направлении касательной к поверхности ротора вдоль координаты  $z$ . Ось  $x$  при этом направлена по радиусу от периферии к центру цилиндра. Вихревые токи в толще цилиндра из ферромагнитного материала с проводимостью  $(\mu, \sigma)$  лежат в плоскости  $yz$  и представляют собой систему замкнутых линий. Во времени картина вихревых токов перемещается вдоль оси  $z$ . Магнитным полем наведенными вихревыми токами ротора при этом анализе пренебрегают.

Так, средний вращающий момент, действующий на цилиндр во вращающемся магнитном поле, согласно [1] определяется как:

$$M = \frac{A \cdot r_0^2 \cdot \tau \cdot B_1^2}{2 \cdot \left(1 + \frac{k_y^2}{k_z^2}\right) \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot z_0}, \quad (1)$$

где  $r_0$  - радиус цилиндра,  $A$  - длина цилиндра по образующей,  $\tau = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_0}{3 \cdot p_p}$  - полюсное деление,  $p_p$  - число пар полюсов,  $B_1$  - действующее значение индукции в зазоре;  $k_y = \frac{\pi}{A}$ ,  $k_z = \frac{2 \cdot \pi}{\tau} = \frac{3 p_p}{r_0}$ ,  $\mu$  - относительная магнитная проницаемость материала ротора,  $\sigma$  - электрическая проводимость материала сплошного ротора,  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м - магнитная постоянная,  $z_0 = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot \sigma}}$  - глубина проникновения волны в материале ротора на заданной частоте. Под круговой частотой  $\omega$  здесь понимается частота вращения относительно ротора. Для неподвижного

ротора она совпадает с частотой вращающегося поля, при синхронной скорости вращения она равна нулю.

Пример:  $r_0 = 42$  мм,  $A = 140$  мм,  $B1 = 1$  Тл,  $p_p = 1$ ,  $\mu = 7800$ ,  $\sigma = 6.5 \cdot 10^6$  1/Ом·м,  $\omega = 100 \cdot \pi$  рад/с.

Расчет по (1) дает средний вращающий момент  $M = 3.56$  Нм. Эти данные соответствуют пусковому моменту двигателя мощностью около 1.1 кВт.

Сопоставим приведенные результаты аналитических расчетов с моделированием в пакете Femm описанной конструкции ротора асинхронного двигателя с той же геометрией и теми же свойствами материала, а также величиной нормальной составляющей индукции на поверхности ротора на уровне 1 Тл и его круговой частотой вращения 50 Гц относительно неподвижного ротора (см. рис.1).



Рисунок 1

Это – один из возможных эквивалентных описанному выше аналитическому примеру вариантов конструкции асинхронного двигателя. Статор выполнен с 6 явнополюсными наконечниками из шихтованной листовой стали с достаточно высокой магнитной проницаемостью 9400 (не насыщается) и проводимостью  $6.25 \cdot 10^6$  1/Ом·м. В осевом направлении длина статора – 140 мм. Для возбуждения вращающегося магнитного поля на каждом из шести противофазных полюсов расположены диаметрально обмотки фаз А, В, С из 120 витков медного провода диаметром 1.21 мм с синусоидальным током действующим значением по 6 А частотой 50 Гц. Трехфазная симметричная система токов в совокупности с  $120^\circ$  пространственным сдвигом осей фаз двухполюсной машины возбуждает вращающееся магнитное поле круговой частотой 314 рад/с относительно неподвижного ротора. Начальная фаза тока фазы А принята равной нулю. Материал яра – та же листовая (шихтованная) сталь, что и для полюсных наконечников. Материал ротора – сталь сплошная (не шихтованная) с проницаемостью 7800 и проводимостью  $6.5 \cdot 10^6$  1/Ом·м (сплошная конструкция ротора дает условия существования вихревых токов вдоль оси. Шихтованная сталь эти условия не допускает). Центральная часть вала ротора выполнена из нержавеющей стали. Воздушный зазор – 0.2 мм. Наружный радиус статора – 74.5 мм.

Граничные условия: на наружной поверхности ярма статора – векторный потенциал равен нулю; на поверхности ротора – условие ярко выраженного поверхностного эффекта в материале ротора; в контурах, занятых обмотками фаз по 120 витков, заданы токи по 6 А в комплексной форме с фазовыми сдвигами в 120 градусов (см.рис. 2).

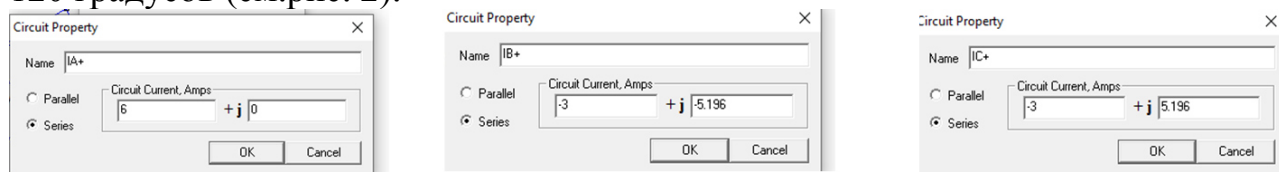


Рисунок 2

### Результаты моделирования в FEMM.

Картина поля и энергия в объеме воздуха показана на рис.3.

На модели получено:

- энергия электромагнитного поля в воздухе в объеме двигателя: 0.405 Дж;
- энергия магнитного поля в роторе 0.1 Дж
- электромагнитный момент для ротора: средний за период: 0.99 Нм, пульсирующий с двойной частотой в комплексной форме:  $-0.056 + j \cdot 1.96$  Нм
- суммарные активные потери в роторе: 329.5 Вт

Сравнение результатов аналитического расчета данного варианта геометрии и условий для токов фаз и моделирования в FEMM для неподвижного ротора:

1. При таком задании токов фаз диаметрально расположенных обмоток появляется очень большая касательная к окружности ротора составляющая индукции, что не предусматривалось проектом. В модели она возбуждается вихревыми токами ротора. Отсюда вытекают и другие несоответствия с проектом [1].

2. Необходимо признать, что по величине среднего вращающего момента результаты расходятся с [1] значительно (3.56 Нм по расчету и 0.99 Нм из модели).

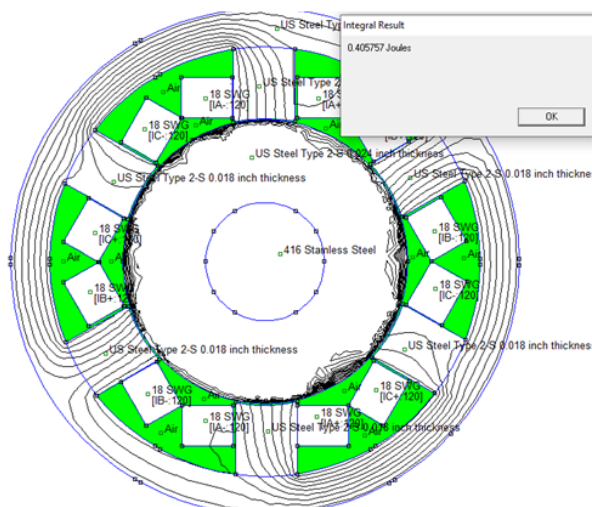


Рисунок 3

### Поиск «правильной» модели в FEMM, наиболее близкой к реальности.

Возможности пакета FEMM позволяют рассматривать различные варианты топологии статора и ротора, расположения катушек фаз на стержнях статора,

задания токов, свойств материалов. Так, на рис.4 представлен вариант с той же геометрией, но с учетом нелинейности кривой намагничивания стали ротора в сравнении с вариантом рис.3.

Энергия поля в воздухе существенно уменьшилась – с 0.405 до 0.18 Дж. Поле в роторе также стало другим. Электромагнитный момент также уменьшился с 0.99 до 0.4 Нм

Возможности пакета Femm позволяют рассматривать различные варианты топологии статора и ротора, расположения катушек фаз на стержнях статора, задания токов, свойств материалов.

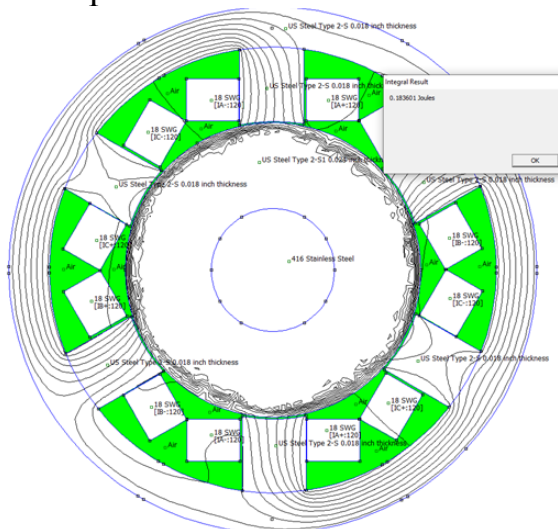


Рисунок 4

Легко проследить за изменениями в конструкции ротора. Пусть теперь он собран из стали с линейной кривой намагничивания, но шихтованной, а не сплошной. Картина поля стала совершенно другой (см. рис.5).

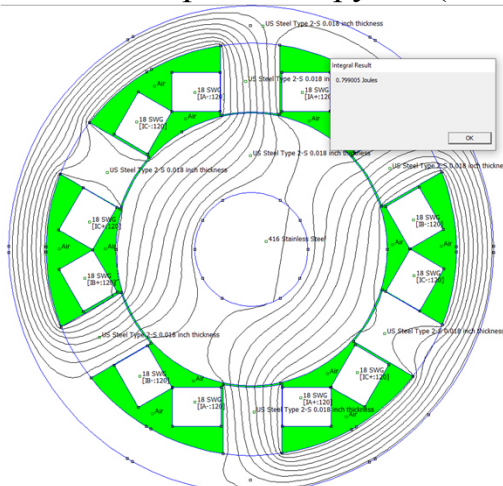


Рисунок 5

Поле ротора теперь проникает в толщу стали, поскольку пути для вихревых токов в шихтованных листах утрачены. Электромагнитный момент упал до нуля.

Общие выводы.

Полевые методы анализа электрических машин с внедрением пакетов, подобных Femm, позволяют существенно продвинуться в поисках оптимальных



конструкций, обеспечивающих наилучшие показатели, например, минимальные пульсации электромагнитного момента.

#### Литература

1. А.В. Нетушил, К.М. Поливанов, Основы электротехники в трех томах. Часть третья. Теория электромагнитного поля. ГЭИ, М. 1956, – 190 с.
2. В.А. Милых. Автоматизированное формирование расчетных моделей трехфазных асинхронных двигателей для программной среды Femm. //Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – Х.: НТУ «ХПІ», 2017 –№1 (1223). – С. 03-15.

*К.А. Куренков, студ.; М.Г. Бобылёв ст. пр.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленск)*

### ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЪЁМА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СИСТЕМАХ ГВС

В настоящее время в двухтрубных открытых системах теплоснабжения с водоразборном на горячее водоснабжение (ГВС) количество горячей воды, потребленной в системе ГВС за определенный отчетный период, определяют как результат косвенных измерений по формуле:

$$V_{\text{ГВС}} = V_1 - V_2, \quad (1)$$

где  $V_1, V_2$  – объём воды, прошедший по подающему и обратному трубопроводу.

Зачастую такой метод измерения имеет довольно низкую точность результатов учёта  $V_{\text{ГВС}}$ . Однако иногда такой косвенный метод измерения объёма ГВС является единственно возможным.

На рисунке 1 приведена принципиальная схема открытой системы теплоснабжения.

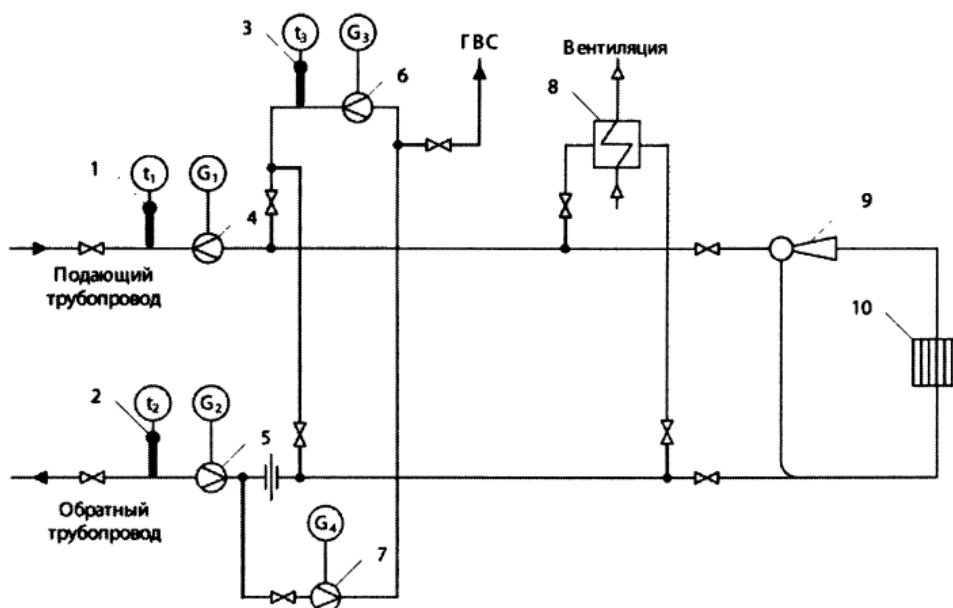


Рисунок 1 – Принципиальная схема размещения измерительных приборов в открытой системе теплоснабжения:

1,2,3 – термометры; 4,5,6,7 – расходомеры; 8 – теплообменник системы вентиляции; 10 – система отопления.



Информация с расходомеров поступает в информационно вычислительный блок теплосчётчика, который рассчитывает по определённым законам потребляемые объёмы теплоносителя.

Объём теплоносителя, идущий к потребителям, определяется по следующей формуле:

$$V_{\text{пот}} = V_1 - V_2 = V_3 - V_4 = V_{\text{ГВС}}, \quad (2)$$

Относительная погрешность измерения  $V_{\text{пот}}$  рассчитывается по формуле:

$$\delta V_{\text{пот}} = \delta(V_1 - V_2) = \frac{\Delta(V_1 - V_2)}{V_1 - V_2} = \frac{V_1 \delta V_1 - V_2 \delta V_2}{V_1 - V_2}, \quad (3)$$

где  $\delta V_1, \delta V_2$  – относительная погрешность измерения объёма теплоносителя за расчётный период в подающем и обратном трубопроводе.

Погрешность  $\delta V_{\text{пот}}$  будет иметь максимальное значение, если погрешности расходомеров в обоих трубопроводах будут иметь противоположный знак. Примем  $\delta V_1 = \delta V, \delta V_2 = -\delta V$ . Тогда формула (3) примет вид [1]:

$$\delta V_{\text{пот}} = \frac{V_1 + V_2}{V_1 - V_2} \delta V = \frac{1 + f}{1 - f} \delta V = K_{\text{м}} \delta V, \quad (4)$$

где  $K_{\text{м}}$  – методический коэффициент применяемого метода косвенных измерений, рассчитываемый по формуле:

$$K_{\text{м}} = \frac{1 + f}{1 - f}$$

где  $f = V_2/V_1$  – коэффициент водоразбора, который связан с коэффициентом утечки (невозврата) теплоносителя  $K_1$ , рассчитываемый по формуле:

$$K_1 = \frac{V_1 - V_2}{V_1} = 1 - f$$

Таким образом относительная погрешность измерения объёма теплоносителя, идущая на ГВС, зависит от значений коэффициента невозврата теплоносителя. И чем меньше будет потребляемый объём теплоносителя на нужды ГВС, тем больше будет относительная погрешность.

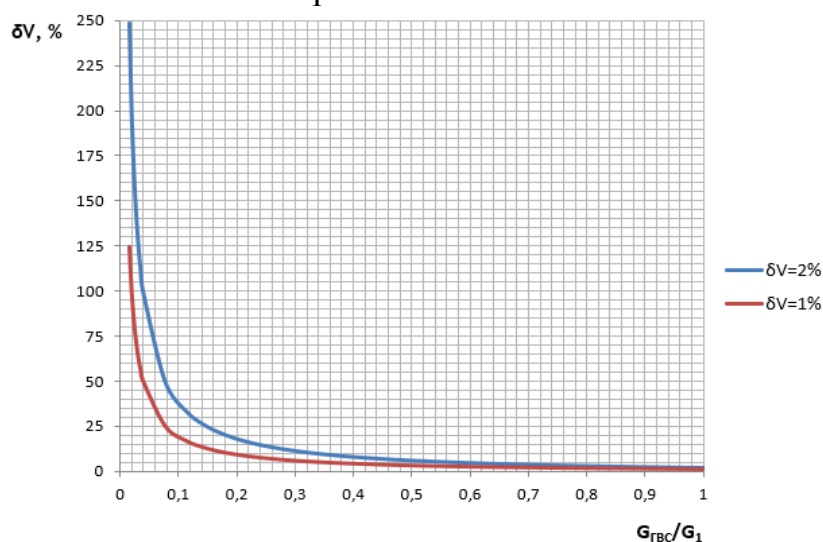


Рисунок 2 – Зависимость относительной погрешности определения расхода ГВС от относительного расхода

На рисунке 2 приведены графики зависимости допускаемой относительной погрешности измерения разности объёмов в подающем и обратном трубопроводах от величины  $V_{ГВС}/V_1$  при применении в узле учета расходомеров, допускаемая относительная погрешность которых  $\delta V$  равна 1 % и 2 %. Данные для построения графиков рассчитаны по формуле (4).

Рассмотрим управляющая компания многоквартирными домами ООО «Жильё» г. Людиново Калужской области. В процессе потребления ими горячего водоснабжения, потребляемого при содержании общего имущества в многоквартирных домах, ООО «Жильё» столкнулась с вопросом оценки погрешности измерений объёма потребляемого ресурса, в условиях отсутствия метрологических характеристик узлов учёта потребляемого ГВС.

В качестве измерительного прибора в данной компании выступает преобразователь расхода электромагнитный «Мастер Флоу» типа МФ-5.2.2. Данный расходомер имеет класс точности 1.

Расчет погрешности выполним по методике оценки погрешностей измерений тепловой энергии и массы теплоносителя в водяных системах теплоснабжения, установленной ГОСТ Р 8.728-2010 [2] используя следующую формулу:

$$\delta V_3 = \pm 1.1 \sqrt{\delta \rho_3^2 + \frac{(V_1 * \delta V_1)^2 + (V_2 * \delta V_2)^2}{(V_1 - V_2)^2}}, \quad (5)$$

Результаты расчёта погрешности объёма нескольких многоквартирных домов за июнь месяц 2020 года представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчёта погрешности объёма зданий

| Адрес                | Тип преобразователя расхода | Пределы допускаемой относительной погрешности в соответствии с технической документацией производителя, ±% | Объем теплоносителя прошедшего в подающем и обратном трубопроводе за расчетный период, м3 | Объем теплоносителя отобранного для нужд ГВС, (V1-V2) за расчетный период, м3 | Доверительные границы погрешности измерений объёма |
|----------------------|-----------------------------|--|---|---|--|
| ул. Крупской, д. 66  | МФ-5.2.2. Ø 65              | 1  | 2220,048  | 312,342   | 10,3   |
|                      | МФ-5.2.2. Ø 50<br>□         | 1  | 1907,706  |   |  |
| ул. Крупской, д. 22А | МФ- 5.2.2. Ø 32             | 1  | 886,551   | 143,16  | 8,9  |
|                      | МФ-5.2.2. Ø 25<br>□         | 1  | 743,391   |   |  |
| ул. Крупской, д. 24  | МФ- 5.2.2. Ø 32             | 1  | 1243,211  | 82,296  | 22,7   |
|                      | МФ-5.2.2. Ø 25<br>□         | 1  | 1160,915  |   |  |
| ул. Крупской, д. 3   | МФ- 5.2.2. Ø 25             | 1  | 428,113   | 66,436  | 9,3  |
|                      | МФ-5.2.2. Ø 20              | 1  | 361,677   |   |  |

|                          |                 |   |          |         |     |
|--------------------------|-----------------|---|----------|---------|-----|
|                          | □               |   |          |         |     |
| ул. Круп-<br>ской, д. 22 | МФ- 5.2.2. Ø 40 | 1 | 1428,639 | 225,396 | 9,1 |
|                          | МФ-5.2.2. Ø 25  | 1 | 1203,243 |         |     |
|                          | □               |   |          |         |     |

Приведенные результаты расчета погрешностей измерения не учитывают возможные дополнительные погрешности измерения, вызванные отличием параметров окружающей среды от нормальных значений допустимых для преобразователей расхода типа МФ-5.2.2.

В расчете учитывались суммарные значения объёма по узлам учета за месяц, однако, часовые значения расхода в течение суток могут существенно отличаться в сторону уменьшения (например, в ночное время) от среднечасовых за те же сутки. Это приведет к значительному уменьшению знаменателя  $(V_1 - V_2)^2$  в подкоренном выражении формулы (5) и, таким образом, увеличит доверительные границы погрешности измерения объема теплоносителя. Кроме того, в этом случае расход теплоносителя может быть меньше  $g_{пер2}$  [3] предел допускаемой относительной погрешности преобразователя расхода удваивается или утраивается, а доверительная граница погрешности измерений  $\delta V_3$  увеличится в несколько раз.

Косвенный метод измерения погрешности объёма теплоносителя в системах ГВС является метрологически неэффективным. Он даёт результат относительной погрешности измерения во много раз превышающие погрешность в  $\pm 3 \%$ , установленную нормативно техническим документом, даже при применении расходомера класса 1 [4].

#### Литература

1. Канев С.Н. Учёт количества теплоты и массы теплоносителя в водяных тепловых системах теплоснабжения потребителей. С.Н. Канев – Хабаровск, 2005. – 132 с.
2. ГОСТ Р 8.728-2010 ОЦЕНИВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ И МАССЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ВОДЯНЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 19 с.
3. Преобразователи расхода электромагнитные МастерФлоу ПШБ.407112.001 РЭ [электронный ресурс] – режим доступа: [http://www.hotservice.su/pdf/docs/re\\_mf.pdf](http://www.hotservice.su/pdf/docs/re_mf.pdf).
4. МИ 2640-2001. «Массовое (объемное) количество потребленной воды в циркуляционных системах горячего водоснабжения жилых зданий. Методики выполнения измерений.»

*Т.С. Любова, к.ф.м.н., доц.; И.П. Воловичев, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭНЕРГОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Во времена Советского Союза зачастую строились и использовались тепловые электростанции, работающие по циклу Ренкина, коэффициент полезного действия которых варьируется от 20 до 30% [1]. В связи с колоссальным ростом цен на топливо за последние 20 лет, паросиловые установки, действующие по циклу Ренкина, становятся экономически невыгодными.

Решением данной проблемы стал переход работы установок с цикла Ренкина на более совершенный в термодинамическом отношении цикл Ренкина-Брайтона. Такие установки получили свое развитие за счет большей эффективности и большего коэффициента полезного действия.

Наиболее совершенной и эффективной является парогазовая установка с котлом-утилизатором, работающая по циклу Ренкина-Брайтона. Такая установка имеет высокий КПД, порядка 70%[2].

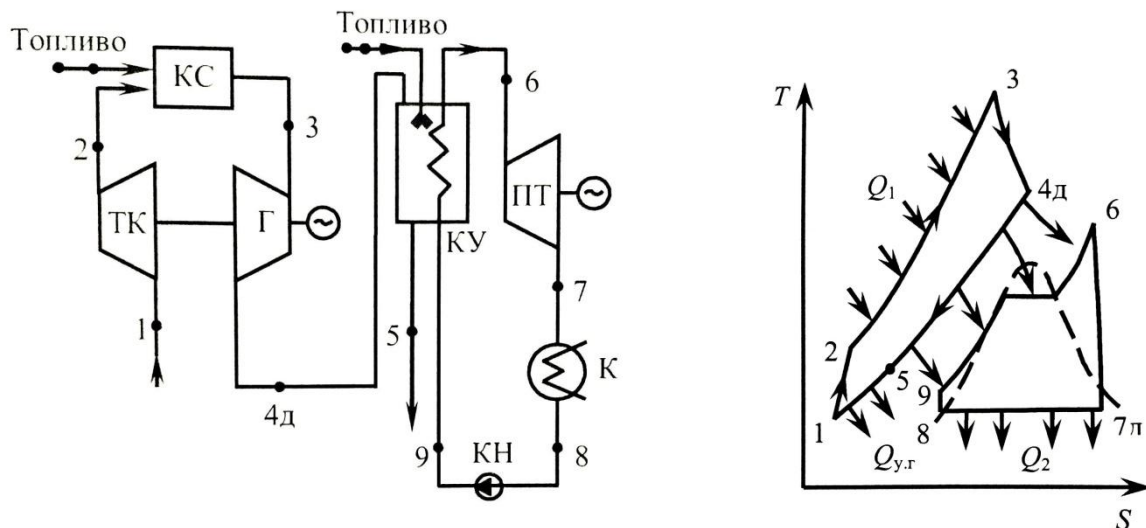


Рис.1. – Принципиальная схема ПГУ с котлом-утилизатором и цикл Ренкина-Брайтона в Ts-диаграмме

Для работы данной установки в камеру сгорания поступает топливо и воздух, сжатый в компрессоре. В камере сгорания идет процесс окисления горючих элементов, входящих в состав топлива, вследствие того, что подаваемый окислитель проходит через компрессор, продукты окисления топлива имеют высокие температуру и давление. Продукты сгорания с высокой энтальпией попадают на лопатки газовой турбины, приводя ее во вращение, здесь внутренняя энергия продуктов сгорания вследствие изэнтропного процесса расширения переходит в механическую энергию. После этого продукты сгорания при температуре до  $800^{\circ}\text{C}$ , в зависимости от марки турбины, поступают для утилизации своей теплоты в котел-утилизатор, где они последовательно проходят экономайзер, испаритель и пароперегреватель, отдавая свою теплоту питательной воде, которая на участке 8-9 с помощью компрессорного насоса поступает в котел-утилизатор, где последовательно нагревается за счет теплоты продуктов сгорания до состояния насыщения, парообразования и пароперегрева. После чего они попадают на лопатки паровой турбины(6-7), где происходит изэнтропный процесс расширения пара с выполнением закона сохранения энергии, и со второго электрогенератора снимается электрическая энергия, а отработанный пар на участке 7-8 конденсируется с отводом теплоты  $Q_2$  в окружающую среду[3].

Данный цикл, по сравнению с циклом Ренкина, имеет более высокий коэффициент полезного действия за счет того, что энергозатратные операции с водой – подогрев воды в экономайзере, парообразование в испарительных по-

верхностях, процесс пароперегрева в пароперегревателе – идут не за счет теплоты продуктов сгорания, полученной в результате процесса горения в топке паровых котлов, а за счет процессов охлаждения продуктов сгорания в камере сгорания(4д-5).

КПД данной установки составляет порядка 70%. Для повышения степени утилизации продуктов сгорания на выходе газовой турбины используют двухконтурные парогазовые установки утилизационного типа, на выходе которых получается пар двух давлений: пар из контура высокого давления и пар из контура низкого давления.

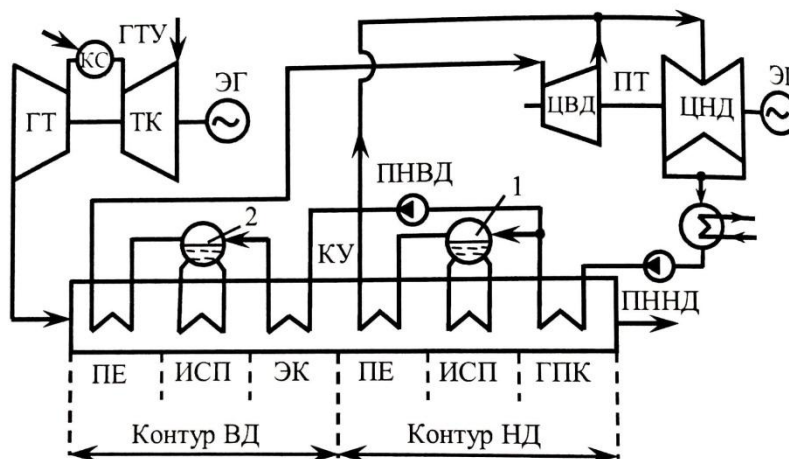
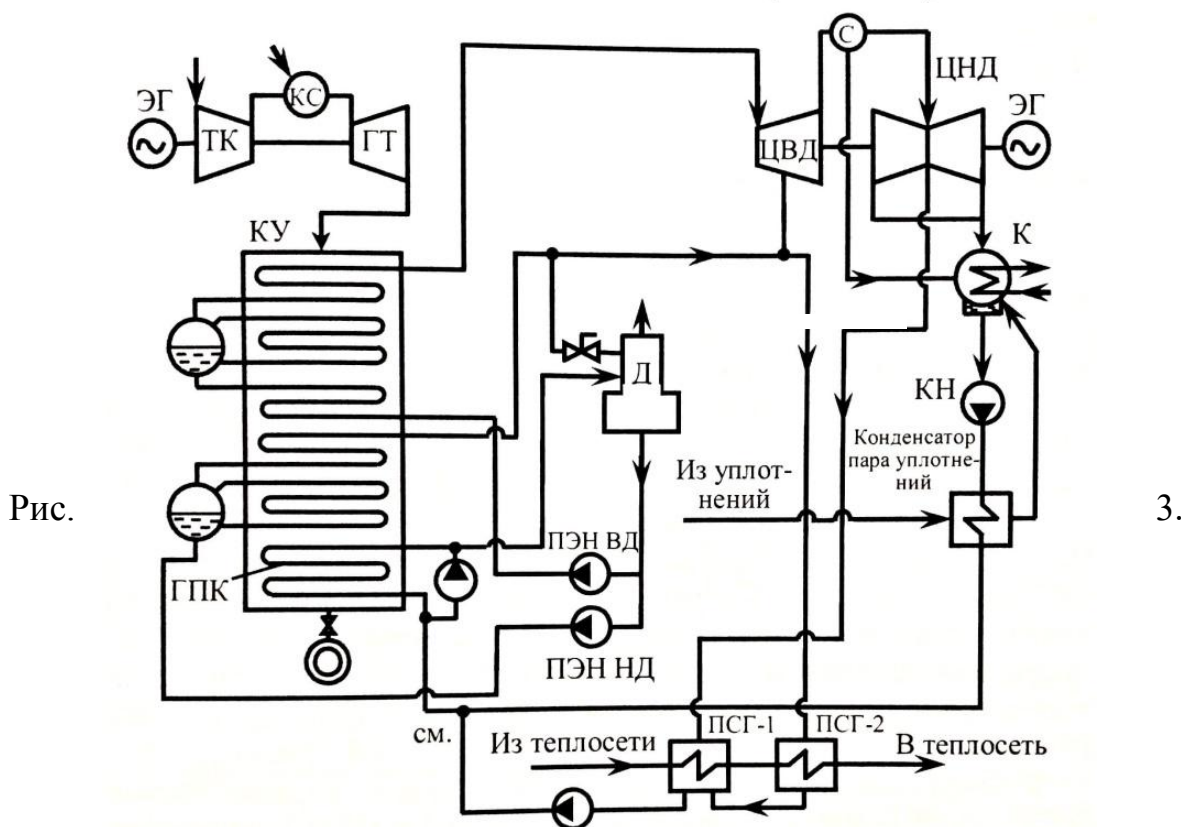


Рис.2. – Принципиальная схема 2-ухконтурной ПГУ утилизационного типа



–Принципиальная схема ПГУ Северо-Западной ТЭЦ

В 2008 году была введена в эксплуатацию парогазовая установка Северо-Западной ТЭЦ, которая использует модульный принцип построения и позволяет в зависимости от потребности работать в различных режимах: либо в конденсационном режиме, т.е. полностью вырабатывается электрическая энергия, либо в тепловом режиме, либо вырабатывает тепловую и электрическую энергию.

Принципиальная схема данной установки позволяет варьировать тепловые потоки, увеличивающие выработку одних продуктов и уменьшающие другие. В данной ПГУ используется уникальная система подогрева сетевой воды путем установки вертикальных и горизонтальных водоподогревателей. В результате утилизации теплоты в котле-утилизаторе получаем с давлением 8 Мпа из контура высокого давления и 0,65 Мпа из контура низкого давления. Данная установка позволяет отключать паровую турбину, и тогда пар после БРОУ и РОУ утилизирует свое тепло на подогрев воды в теплофикационной установке.

Проанализировав устройство, термодинамические параметры и работу, можно сделать вывод, что утилизационные парогазовые установки, работающие по циклу Ренкина-Брайтона, имеют большое преимущество перед установками, работающими по циклу Ренкина. Данные парогазовые установки являются наиболее эффективными, за счет более высокого КПД и меньшего расхода топлива, что говорит об экономической выгодности и энергетической ценности данных установок. Таким образом, перспектива развития парогазовых установок и повышения их эффективности и КПД за счет внедрения новых конструктивных и технологических особенностей, определила их широкое применение и тенденцию перехода на более совершенный цикл Ренкина-Брайтона.

#### Литература

1. Борисевич А.А. Парогазовые установки издательство Казань. / А. А. Борисевич. – Казань : МекТеп, 2005. – 313, с.
2. Васин, А. Д. Парогазовые установки / А. Д. Васин. – Алма-Аты : МекТеп. - 646, с.
3. Абасев Ю.В. Парогазовые установки электростанций: Казань, 2002. -175 с.

*Т.С. Любова, к.ф.м.н., доц.; С.В. Лизанец, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ**

В настоящее время проблемы водоочистки являются крайне актуальными и требуют грамотного и необходимого их решения[2].

Если не удалять соли Mg и Ca, что делает воду жесткой, на поверхности труб появляются отложения которые ведут к ухудшению тепломассообмена и в результате к перерасходу топлива. Т. к проблема стоит крайне острая, в настоящее время используются одноступенчатая и двухступенчатая схемы Na-H катионирования, позволяющие проводить процесс умягчения воды.

а) Метод натрий-катионирования основан на замещении катионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  в накипеобразующих солях на катионы  $Na^+$ , которыми обогащен катионит.



В результате обменных реакций происходит перевод кальциевых и магниевых солей в эквивалентное количество легко растворимых солей натрия. Анионный состав обрабатываемой воды и, следовательно, щелочность ее не меняется, а солесодержание – несколько возрастает.

Регенерация обменной способности при натрий-катионировании осуществляется 6-8 % раствором поваренной соли NaCl, который пропускают через слой истощенного катионита.

Умягчение воды методом натрий-катионирования может осуществляться как по одноступенчатой схеме – фильтрованием воды через один натрий-катионитовый фильтр или параллельными потоками через несколько фильтров, так и по двухступенчатой схеме – последовательным фильтрованием обрабатываемой воды через фильтры первой, а затем и второй ступени.

Число ступеней катионирования определяется требованиями, предъявляемыми к качеству умягченной воды:

а) Одноступенчатое натрий – катионирование может быть использовано для отработки подпиточной воды тепловых сетей, когда требуется снижение только карбонатной жесткости (щелочности) до 0,7 мг-экв/л, а величина остаточной общей жесткости обработанной воды может быть равна 0,1-0,2 мг-экв/л;

б) Двухступенчатое натрий-катионирование может быть использовано для обработки питательной воды паровых экранированных котлов, когда величина остаточной жесткости обработанной воды не должна превышать 0,1-0,2 мг-экв/л;

б) Метод водород катионирования основан на замещении катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в накипеобразующих солях на катионы  $\text{H}^+$ , которыми обогащен катионит.

При водород-катионировании умягчение воды сопровождается снижением ее солесодержания и щелочности – бикарбонатный анион разрушается с образованием углекислоты, которая удаляется из обработанной воды в специальных аппаратах – декарбонизаторах. Однако замещение катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в солях некарбонатной жесткости на катионы водорода приводит к образованию минеральных кислот – соляной и серной.

Регенерация водород-катионитных фильтров осуществляется 1,5-2% раствором серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . При этом для обеспечения полноты регенерации кислота подается в фильтры в количестве, в 1,5-2 раза превышающим ее теоретический расход.

Помимо высокой кислотности обработанной кислотности обработанной воды методу водород-катионирования присущи такие недостатки, как высокая кислотность стоков при регенерации, значительные затраты кислоты, необходимость применения кислотоупорного оборудования, трубопроводов и арматуры.

Поэтому водород-катионирование как индивидуальный метод умягчения в схемах водоподготовки не применяется, а используется в комбинации с другими методами: например, в схеме параллельного водород-натрий-катионирования.

Когда требуется одновременно снизить и жесткость и щелочность применяется схема водород-катионирования с “голодной” регенерацией, при которой для восстановления в фильтры подается серная кислота в несколько меньшем объеме по сравнению с теоретическим расходом.

При параллельном водород-натрий-катионировании обеспечивается нейтрализация кислотности водород-катионированной воды щелочностью воды, прошедшей натрий-катионитные фильтры. Вода разделяется на два параллельных потока, один из которых направляется в водород-катионитные фильтры, а другой – в натрий-катионитные фильтры. Потoki воды, прошедшие эти фильтры и обладающие жесткостью около 0,1 мг-экв/л, смешиваются в смесителе, в данном смесителе щелочами нейтрализуются кислоты.

Схема данного метода позволяет получить воду с остаточной жесткостью около 0,1 мг-экв/л и щелочностью около 0,35 мг-экв/л. Если же необходимо получить более глубокое умягчение, в схему параллельного водород-натрий катионирования может быть включена вторая ступень натрий-катионирования.

В настоящее время широко распространяются баромеханические установки, такие как установка обратного осмоса [1]. При использовании этого метода вода прогоняется через мембраны: МГА на основе ацетил-целлюлозы или через МГП на основе ароматических полиамидов, обладающие свойством пропускать чистую воду в одном направлении и задерживать соли. В результате прохождения воды через установку концентрация ионов  $\text{Ca}^{2+}$  уменьшается в 75 раз, ионов  $\text{Mg}^{2+}$  в 61 раз, ионов  $\text{Na}^+$  в 20 раз, ионов  $\text{HCO}_3^-$  в 1,7 раза, ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  в 43 раза, ионов  $\text{Cl}^-$  в 21 раз, ионов  $\text{PO}_4^{3-}$  в 4,6 раза, а также общее солесодержание уменьшается в 22 раза, показатель pH остается неизменным, а электрическая проводимость уменьшается в 22 раза.

Таким образом данный метод позволяет проводить умягчение воды достаточно эффективно без использования химических реактивов и не наносит вред окружающей среде

#### Литература

1. А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. Водоподготовка в энергетике. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. 168-170 с.
2. Л.Л. Любимова, А.С. Заворин, А.А. Ташлыков. Инженерные расчеты в водоподготовке паровых и водогрейных котлов.

*Т.С. Любова, к.ф.м.н., доц.; Р.И. Рамазанов, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДЕГАЗАЦИИ ВОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**

На сегодняшний день широко используются деаэрационные методы подготовки котловой воды, с помощью которых удаляют кислород и кислородсодержащие газы, что предотвращает коррозию в оборудовании и продлевает срок его эксплуатации. Для этих целей используются деаэраторы

По давлению деаэраторы классифицируются делятся на атмосферные (ДА, давление 0,12 МПа температура насыщения 104 °С), повышенного дав-



ления (ДП, давление 0,6 – 0,7 МПа, реже 0,8 – 1,2 МПа, температура насыщения 158 – 167 °С и соответственно 170 – 188°С) и вакуумные (тип ДВ, рабочее давление 0,0075 — 0,05 МПа, температура насыщения 40 – 80 °С).

В отопительных котельных малой и средней мощности, используют деаэраторы смешивающие, атмосферные типа (ДА) и вакуумные, типа ДСВ. В основном остаточную концентрацию кислорода в воде не должна превышать значений 20 – 30 мкг/л (про деаэратора типа ДА), 30 мкг/л – для деаэраторов питательной воды (ДСВ), 50 мкг/л – для подпиточной воды типа(ДСВ).

В основном деаэратор типа ДА, часто используют в паровых котельных различного назначения, производительность деаэрированной воде от 5 до 300 т/час и рабочее давление  $P=1.2$  кгс/см.

В деаэраторах ДА осуществляется, двухступенчатая дегазация: первая ступень – струйная, вторая-барботажная. Обе ступени дегазации расположены в деаэрационной колонке сравнение от предыдущих выпущенных деаэраторов типа ДСА.

Для дегазации котловой воды тепловых сетей с пара и водогрейными котлами, температура составляет 70°С, используются вакуумные деаэраторы типа ДСВ.

Для обеспечения вскипания воды при температурах ниже 100°С, применяется процесс вакуумной дегазации, осуществляющийся при давлениях меньших атмосферного.

В соответствие законом Генри для уменьшения концентрации кислорода и кислорода содержащие газов, вода должна достичь температуру насыщения, в вакуумных деаэраторах, которые используют для дегазации воды водогрейных котлов, температура насыщения должна составлять от 40 до 90 °С, а давление  $P=0,075-0,5$  кгс/см.

Но установка вакуумных деаэраторов характеризуется высокой металло-емкостью большим количеством вспомогательным оборудованием и необходимостью их установки на возвышенности.

Существующие конструкции вакуумных деаэраторов не обеспечивают столь высокой степени дегазации, как атмосферные, однако имеют по сравнению с ними ряд преимуществ : отсутствие потребности в греющем паре или значительно меньшей его расход, так как невелик подогрев воды, более эффективное охлаждение дымовых газов в экономайзере и лучшие условия работы питательных или подпиточных насосов, так как деаэрированная вода имеет температура 40 – 80 °С.

Процесс дегазации воды применяемых в термических вакуумных деаэраторах типа ДСВ, выполняется в режиме недогретой воды, поступающая на деаэрацию имея температуру ниже температуры насыщения при давлении в деаэраторе.

Так же деаэраторы ДСВ выпускаются на производительности по деаэрированной воде от 5 до 300 т/час.

В настоящее время получили широкое распространение химические методы деаэрации, при которых не происходит удаление кислорода и кислорода со-

державших газов, а идет процесс связывания этих соединений в неорганические.

Так же добавляются в котловую воду при деаэрации добавляется сульфит натрия при взаимодействии с кислородом идет процесс связывания кислорода и в результате образуется сульфит натрия.

При применении сульфита натрия увеличивается соли содержания и как следствие, растет непрерывная продувка котла и как следствие растут затраты на эксплуатацию котла.

Второй способ получивший распространение химической дегазации — это использование гидразина, которые являются очень токсичным требуют специальных условий хранения и являются пожароопасным.

Широкое распространения дегазации получили ингибиторы в комплексе с антيناкипинами, которые не требуют установки дополнительных трубопроводов, вода используется с температурой меньше 20 °С, используется минимальный состав оборудования и это оборудование проста в обслуживании.

Для водогрейных котлов используется ингибитор Advantagen K350B.

Для паровых котлов рекомендуют использовать Amersitelok.

Ингибиторы используют в больших количествах, а цена на них очень высокая. Для эффективности удаления углекислого газа используется гидрофобные мембраны, удаление кислорода требует азот с высокой степенью очистки, а, следовательно, установку дорогого оборудования.

На ряду с гидрофобными мембранами используются полимерные обратно осмотические мембраны, в которых одновременно идет процесс дегазации обессоливания.

В этом случаи газы не связываются, а удаляются из воды. В результате снижается концентрация углекислоты в воде, а, следовательно, не требуется непрерывная продувка паровых котлов, что уменьшает тепловые потери и повышает КПД установки, кроме того данные методы используют котловую воду с температурой 20 °С.

Данные оборудования имеют срок службы эксплуатации меньше пяти лет и замена мембран требует и является дорогостоящим мероприятием.

В настоящее время применение того или иного метода дегазации зависит от исходного состава котловой воды зависит от финансовое обеспечение предприятий, на данный момент в основном используют термические методы деаэрации.

#### Литература

1. А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. Водоподготовка в энергетике. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. 168-170 с.
2. Л.Л. Любимова, А.С. Заворин, А.А. Ташлыков. Инженерные расчеты в водоподготовке паровых и водогрейных котлов.
3. Абасев Ю.В. Разработка методики оценки возможности и эффективности применения комплексобразующих веществ на тепловых электрических станциях: Казань, 2002. -175 с.

## ПОИСК АЛЬТЕРНАТИВНЫХ УПРОЩЁННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЁТА ВИД

Вентильный индукторный двигатель ВИД (в англоязычной литературе *switched reluctance motor* – двигатель с переключаемым магнитным сопротивлением) – это индукторная синхронная машина, в которой преобразование энергии осуществляется за счет изменения индуктивностей обмоток, расположенных на явно выраженных зубцах статора, при перемещении относительно них зубчатого магнитопровода ротора без обмоток и постоянных магнитов (пассивный ротор). Питается ВИД от электронного преобразователя (коммутатора фаз), поочередно переключающего обмотки двигателя в строгом соответствии с изменением положения ротора.

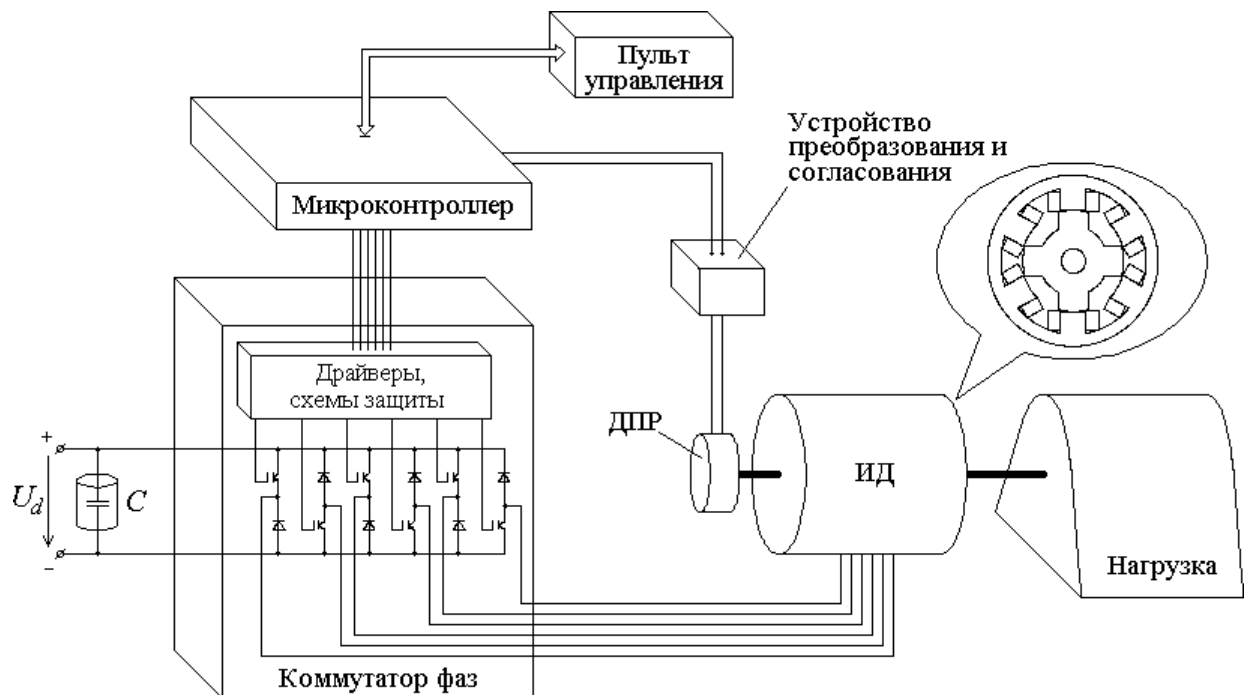


Рис. 1 Функциональная схема ВИД

Современный ВИД представляет собой электродвигатель, который работает совместно с преобразователем и микропроцессором. Преобразователь выполняется обычно по интегральной технологии, а микропроцессор осуществляет управление двигателем таким образом, что бы обеспечить максимальное качество преобразования электрической энергии в механическую.

Достоинства ВИД:

- Простота конструкции
- Возможность получения сверхвысоких и сверхнизких частот вращения

- Отсутствие скользящих контактов
- Гибкость системы управления
- Малый момент инерции ротора
- Технологичная и дешёвая конструкция
- Хорошие массогабаритный показатели
- Плавное регулирование частоты вращения
- Высокие энергетические показатели

Недостатки ВИД:

- Повышенный уровень шумов и вибраций
- Необходимость в датчике положения ротора
- Повышенные отходы электротехнической стали при штамповке магнитопровода
- Резко несинусоидальные законы изменения токов и напряжений
- Сложность расчёта

Однако, часть недостатков в настоящее время можно устранить: применить бездатчиковое (косвенное) определение положения ротора, вибрации и шумы уменьшить подбором оптимальной программы управления.

Одним из самых больших недостатков является сложность расчёта ВИД. Ток в этой машине зависит от индуктивности и закона её изменения. На рисунке 2 пунктиром представлена реальная зависимость, а сплошной – её аппроксимация.

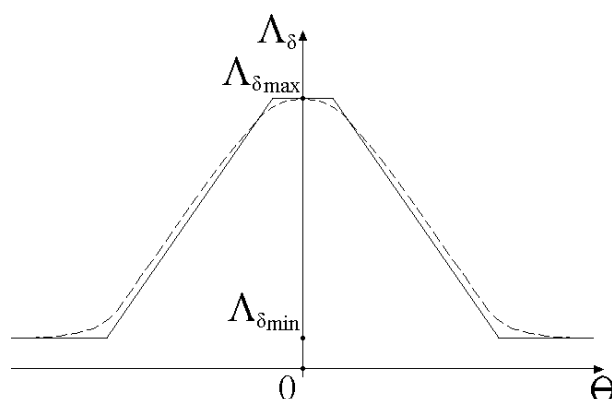


Рис. 2 Зависимость  $\Lambda_{\delta}(\theta)$

Для того, что бы получить значения тока, приходится считать интегралы на трёх участках. Это довольно неудобно. Поэтому целью работы был выбран поиск альтернативных упрощённых методов расчёта ВИД. Для этого зависимость  $\Lambda_{\delta}(\theta)$  была заменена на удобные для расчетов аппроксимирующие зависимости и произведён расчёт основных энергетических показателей ВИД.

Всего выбрано четыре типа источников с различными законами изменения индуктивного параметра: треугольный, косинусоидальный с питанием от инвертора, косинусоидальный с питанием от синусоидального источника и косинусоидальный с питанием от синусоидального источника с частично управляемой коммутацией.

Для треугольного закона были получены необходимые зависимости, а также проведены расчёты при различных частотах и углах управления  $\alpha_1$ . Результаты расчетов представлены на рисунке 3,4 и в таблице 1.

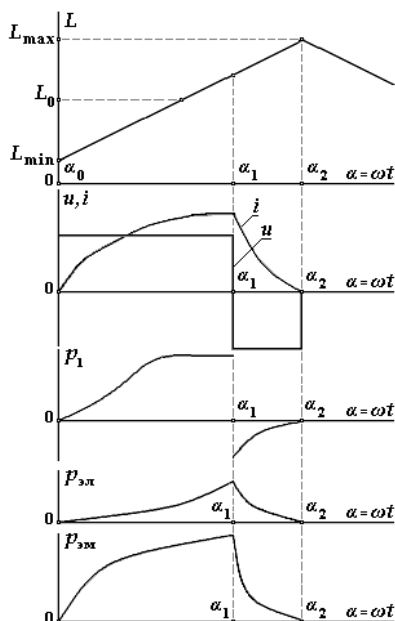
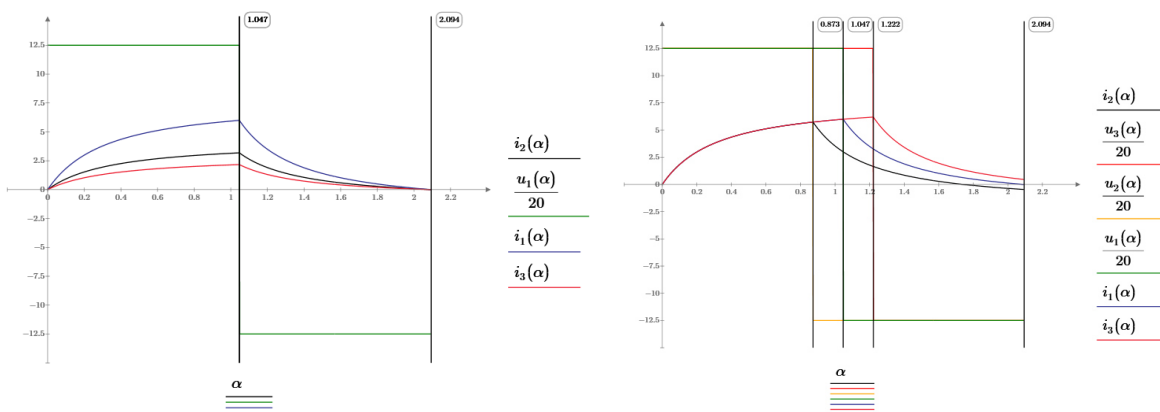


Рис. 3 Диаграмма напряжений, токов и мощностей на интервалах работы цепи обмотки фазы

Таблица 1

|                           |            | Потребляемый ток от инвертора<br>$I_1 = m_1 I_\Phi$ | Мощность, потребляемая обмоткой<br>$P_1 = m_1 \cdot P_\Phi$ | Электромагнитная мощность<br>$P_{эм} = P_1 - P_{эл}$ | Энергетический КПД<br>$\eta_o = P_{эм} / P_1$ |
|---------------------------|------------|---|---|--|---|
| Изменение частоты         | 50         | 8   | 338,4   | 198,2  | 0,586   |
|                           | 100        | 4   | 455,7   | 417,1  | 0,915   |
|                           | 150        | 2,8   | 114,5   | 96,7   | 0,845   |
| Изменение угла $\alpha_1$ | $\pi/3$    | 8   | 338,4   | 198,2  | 0,586   |
|                           | $5 \pi/18$ | 7,2   | 678   | 563  | 0,83  |
|                           | $7 \pi/18$ | 8   | 447,5   | 305,5  | 0,683   |



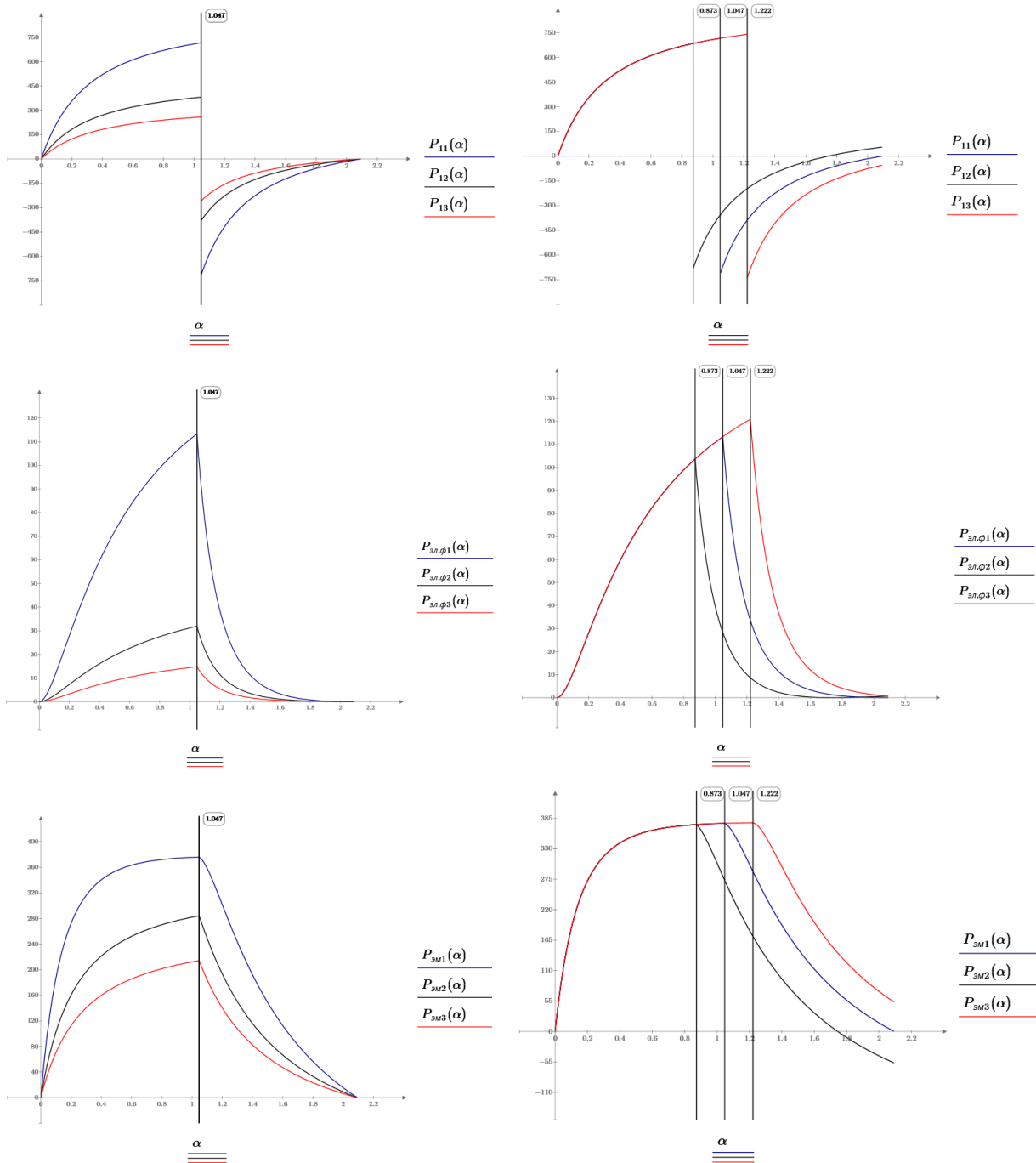


Рис. 4 Графики основных энергетических показателей ВИД при изменении частоты и угла  $\alpha_1$

На графиках видно, что расчётные зависимости совпадают с теоретическими.

В дальнейшем планируется исследовать работу ВИД при изменении ряда других параметров, а так же сделать подробный расчёт для остальных типов источников с различными законами изменения индуктивного параметра. В итоге мы получим формулы для быстрого расчёта машины без необходимости каждый раз брать интегралы, что послужит более точному и быстрому проектированию ВИД.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности проектирования ВИД / В.Г. ФИСЕНКО, А.Н. ПОПОВ; – 56 с

2. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. В 2-х т. 2-е изд. М.: Издательство МЭИ, 2004. – 652 с.
3. Проектирование вентильно-индукторных машин общепромышленного назначения/ Н.Ф. Ильинский, Й. Штайнбрунн, Ю.И. Прудникова и др.// Вестник МЭИ. 2004. №1. С. 37–43.

*В.А. Михайлов к.т.н., доц., Д.В. Беззубенков маг.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ВОДНО-ХИМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Одним из важных факторов, сдерживающим объем энерговыработки на АЭС с РБМКр, являются коррозионные повреждения трубопроводов, которые вызывают большой объем ремонтных и инспекционных работ в полях действующих ионизирующих излучений. В начале 1990-х г. коррозионные повреждения при эксплуатации оборудования и трубопроводов энергоблоков АЭС с РБМКр-1000 изначально решались заменой поврежденных участков. Однако накопленный опыт ряда АЭС показал, что посредством массовой замены поврежденных участков кардинально не решается данная проблема. Совершенствование ВХР является одним из наиболее эффективных способов предотвращения коррозионных повреждений, что подтверждается опытом эксплуатации АЭС с кипящими реакторами. Атомные станции с реакторами РБМК-1000 являются одноконтурными. На одноконтурных АЭС из-за воздействия на рабочий агент, которым является вода, ионизирующего излучения, предъявляют высокие требования к водно-химическому режиму. Одной из причин этого является непрерывная подача в реактор питательной воды, содержащей примеси. Реакторы РБМК работают при средних давлениях (7.0Мпа), но требования к ним по организации их водно-химического режима более высокие. Эти требования обусловлены необходимостью наличия высокого качества реакторной воды, в которой содержатся минеральные примеси, продукты коррозии конструкционных материалов, продукты радиолиза воды, благородные продукты деления ядерного топлива. Надежность работы реактора одноконтурной АЭС в значительной степени зависит от наличия отложений на тепловыделяющих элементах, которые могут привести к перегреву оболочек твэлов, их аварийному разрушению и активации реакторной воды и образующегося пара, что отрицательно отразится на условиях эксплуатации АЭС.

Водно-химический режим одноконтурных АЭС должен обеспечивать целостность защитных барьеров, к которым относятся оболочки тепловыделяющих элементов, элементы конструкций, оборудования и трубопроводов в течение срока эксплуатации. Наличие отложений на теплопередающих поверхностях серьезно влияет на надежность работы станции и на радиационную безопасность персонала.

Под действием излучения в реакторной воде происходит радиолиз, наиболее активный элемент кислород растворяется в реакторной воде (концентрация достигает 0.1мг/кг) и в насыщенном паре (концентрация достигает 40мг/кг). Рас-

творенный кислород активно повреждает рабочие поверхности реактора. Процесс деаэрации в активной зоне невозможен, поэтому кислород связывают химически. Этот процесс можно проводить двумя путями: добавлением в реакторную воду водорода, что значительно удорожает эксплуатацию, или добавление в реакторную воду аммиака, радиолиз которого насыщает воду водородом.

Наличие азота под действием радиолиза создает опасность его поглощения с выделением азотной кислоты с последующем снижением рН ниже 6.5. Для предотвращения такого эффекта используется 100% очистка турбинного конденсата.

В процессе модернизации третьего блока САЭС произошло увеличение количества каналов, что повлекло увеличение мощности реактора.

При работе реактора на повышенной мощности стало наблюдаться снижение показателя рН воды в контуре охлаждения. При работе установки байпасной очистки воды рассматриваемого контура охлаждения с максимальной производительностью, значение рН стало достигать нижнего предела, равного 4.5. Проблему дополнительной очистки воды от азотного окисления и поддержания рН выше 4.5 предложено решить увеличением производительности установки байпасной очистки воды.

На рисунке 1 представлена упрощенная схема рабочей линии байпасной очистки воды парового контура энергоблока САЭС.

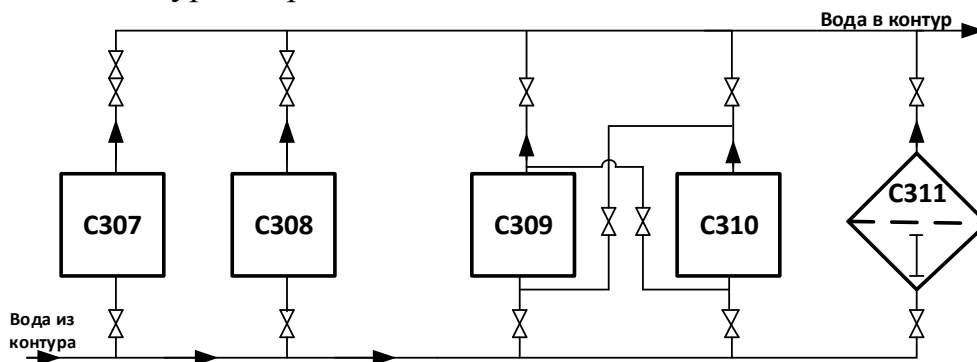


Рис. 1 Схема рабочей линии буйпасной очистки воды контура СУЗ энергоблока САЭС.

С307, С308 – намывной фильтр; С309, С310 – фильтр смешанного действия; С311 – фильтр-ловушка.

Реконструкция СВО заключается в организации двух независимых линии с установкой дополнительного оборудования. Реконструированная рабочая линия включает параллельно включенные намывные фильтры и последовательно включенные фильтры смешанного действия с начинкой, состоящей из катионита и аонита ядерного класса. При отработке шихты первого фильтра смешенного действия, он выводится из работы и очистка воды производится на втором фильтре смешанного действия. Реконструкция СВО заключается в организации двух независимых линии с установкой дополнительного оборудования. По предлагаемой линии выполнен гидравлический расчет, выполнена проверка по



потере давления. Упрощенная схема с организацией двух независимых линий представлена на рисунке 2.

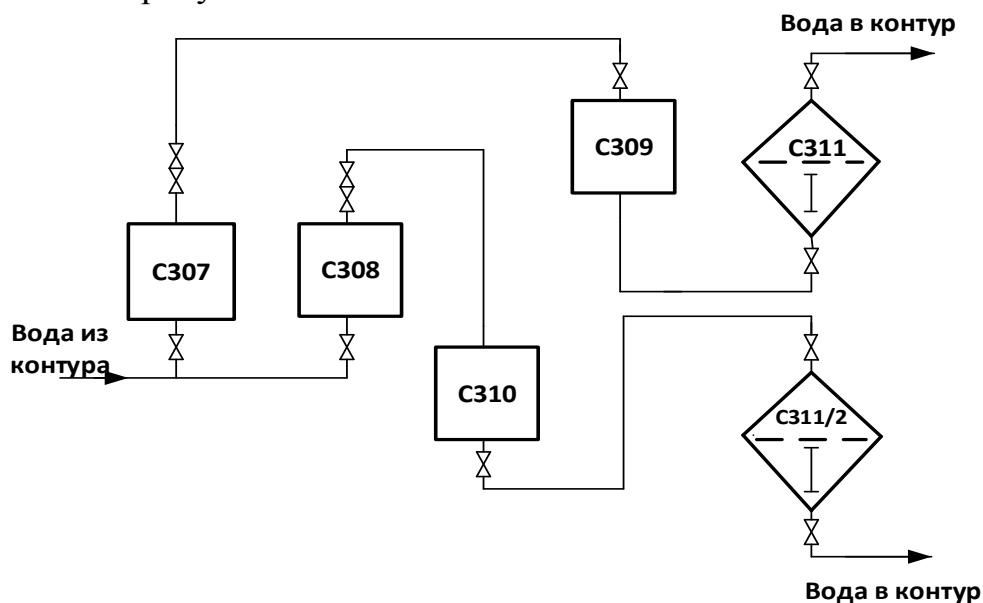


Рис.2 Схема установки очистки воды контура энергоблока после предложенной реконструкции.

Предложенная модернизация байпасной очистки воды при увеличенном количестве рабочих каналов реактора, позволит увеличить производительность установки на 20%, даст возможность поддерживать водо-химический режим в нормируемых пределах.

#### Литература

1. Водно-химический режим основного технологического контура и вспомогательных систем атомных электростанций с реакторами РБМК-1000 СТПр ЭО 0015-01. Москва, 2011.
2. Тепловые и атомные электрические станции: Учебное пособие/ Марвеев А.С. - Томск: Изд-во ТПУр, 2019. - 191 с.

*В.А. Михайлов, к.т.н., доцент; Ю.Ф. Малахов О.В., маг  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛОЙ КОГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЗОН**

В условиях плановой экономики доперестроечной эпохи осуществлялась ориентация на централизованное электро- и теплоснабжение при этом концентрация производимой мощности в одном производителе позволяла увеличить единичную мощность и термодинамические параметры рабочего тела а именно температуру и давление, и как следствие увеличить КПД генерирующей системы. Это тянуло за собой повышение показателей рентабельности производства. Создавались крупные промышленные зоны с большой концентрацией производства что требовало создания теплоэнергетических систем ТЭС с установленной мощностью в среднем от 400 МВт до 1000 МВт. Атомные станции здесь не рассматриваются, поскольку это отдельный и специфический сегмент энер-

гетической экономики, и «гениальная» реформа энергетики проведенная в начале 2000-х годов их экономической структуры не коснулась.

Отсутствие в системах энергопроизводства малых независимых агентов обусловлено наличием достаточно оригинального экономического механизма, заключающегося во введении замыкающих затрат на электроэнергию и отсутствием назначенной цены на тепловую энергию, потребитель платил только за доставку. Этот механизм позволял держать рентабельность предприятий на достаточно высоком уровне. Внедрение малой энергетики на предприятиях был как энергетически из-за относительно небольших термодинамических КПД, так и экономически не выгоден. Реформа энергетики начала 2000 годов разрушила экономические принципы построения энергетических систем, что привело к необоснованному росту цен на тепловую энергию и далее падению рентабельности производства. Производственные предприятия для удержания на плаву стали строить котельные, убив таким образом саму идею централизованного производства энергоресурсов. Централизованные источники энергии перешли в нерасчетные режимы далекие от оптимальности и стали на путь вымирания. Поскольку возврата к плановой организации работы топливно-энергетического комплекса не предвидится, то этот процесс развала энергетики будет продолжаться.

Эта проблема уже много раз дискутировалась, как в различных публичных изданиях, так и на энергетических семинарах и конференциях. Может так получиться, что неким спасательным кругом на период аккумуляции финансовых средств для воссоздания и строительства крупных энергетических мощностей, может стать малая энергетика. Это и строительство новых генераций энергии малой мощности совместной выработки. Перевод отопительных мощностей промышленных предприятий в режим мини-ТЭЦ – один из перспективных методов, имеющий уровень технико-экономических показателей хорошей экономики (цена тепловой энергии меньше в три раза, электрической в два раза меньше, сроки окупаемость порядка пяти лет). Возможность реализации указанного направления вызывает интерес у потенциальных производителей, а иногда и необходимость, энергооборудования в заказах на конструкторские разработки и изготовление. При этом важную роль будут играть различные типы мини-ТЭЦ, а именно: паровые с учетом противодавленческих турбин, парогазовые и газотурбинные, дизель-генераторные и газо-поршневые установки, ориентированные на покрытие нагрузок малой концентрации.

Следует отметить термодинамические показатели планируемых к широкому строительству малых когенерационных систем параметры рабочего тела которых обычно будут составлять: давление порядка 1.4 Мпа, температура горячего источника 200 градусов. Тогда термический КПД предельнодостижимый составит 38% а технологически достигнутый около 19% по производству электрической энергии. Такие маленькие показатели не обеспечат рентабельность источника как централизованного, однако цена электрической энергии по замыкающим затратам или топливной оставляющей будет около 3-х рублей за кВт/час, что позволяет уйти от грабительской наценки сбытовых компаний при

этом тепловая энергия становится бесплатной. Такие показатели позволяют иметь сроки окупаемости до пяти лет.

Энергетическая стратегия России принятая в 2000 году закончила свой срок, что имеем в остатке по строительству малой энергетики. Произошло большое строительство на многих предприятиях имеются мини ТЭЦ, особенно этот процесс заметен в городах не имеющих собственной генерации.

Однако потребность новых оценок экономической обоснованной целесообразности используемых технических решений по развитию теплоснабжения и электрификации потребителей как жилищного сектора, так и производственных предприятий тепловой и электрической энергии осталась. В частности, необходимо продолжать рассматривать и обсуждать темы, связанные с оптимальностью применения централизованных и децентрализованных источников энергии, вопросы повышения надёжности тепловых и электрических сетей и пути снижения инвестиционных затрат, возможности применения нетрадиционных источников энергии.

Практическая конструкторская реализация и строительство надстроечных источников энергии малой и средней мощности для для потребителей ЖКХ и промышленных предприятий локального бесперебойного энергоснабжения промышленных предприятий с созданием перспективы для эффективного конкурентного энергетического рынка с частичной децентрализацией энергосистем, снижением стоимости электрической энергии в локальной сети до двух раз и улучшением инфраструктур, позволит в значительной степени заменить дорогую электроэнергию на более дешёвую, уменьшить дефицит качественной тепловой и электрической энергии, будет, в целом, иметь значительный экономический эффект для обеспечения рентабельности предприятия.

По прежнему не решен вопрос разрешения для независимого от энергосистемы производства электрической энергии, упрощения схемы согласований по синхронизации работы мини-ТЭЦ с энергосистемой, что тормозит внедрение новых технологий производства тепловой и электрической энергии.

Однозначно поможет в техническом развитии предоставление целевых грантов, направленных на конструкторские проработки, исследовательским организациям для разработки конструкций, технологий и концепций создания локальных энергосистем и источников когенерации малой мощности, а также исследований оптимальности применения выявления эффективных режимов тех или иных энерго-генерирующих установок.

Совершенно отсутствуют центры производства турбогенераторной техники малой и средней мощности, что будет продолжать сдерживать развитие данного направления

#### Литература

1. Основные положения Энергетической стратегии России в малой энергетике на период до 2020 года // Прил. к журн. "Энергетическая политика". - М.: ГУ ИЭСР, 2001. - 135с.
2. Комисарчик Т.К., Грибов В.В. Методика анализа технико-экономической эффективности термодинамических альтернативных инженерных решений при проектировании энергоисточников // Теплоэнергетика, 2019. №9.

3. Саунин В.И., Мехнина Н.Ю. Проектная оценка технико-экономических показателей мини-ТЭЦ // Проблемы реальной экономии топливно-энергетических ресурсов на промышленных предприятиях и ТЭЭС: Междвуз. сб. науч. ст. - С-Пб.: Издательство ПСПбГТУРПК, 2019. - С.205-208.
4. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов и втузов. – Издание 7-е, стереотипное, М.:Издательство МЭИ, 2002 г. – 360с.
5. Боровков В.В., Бородина А.А. Развитие малой энергетики как важный элемент стратегической перспективной программы и энергосберегающей политики России. // Энергетика. - №5. – 2016. – с. 157-164.

*В.А. Михайлов, к.т.н., доцент; И.А. Позняков, маг.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Потребление тепловой как в промышленных, так и в энергосистемах имеет неравномерный характер с изменением в течение года (сезонное), месяца, а иногда и суток. В связи с чем имеется насущная потребность в регулировании поставки теплоносителя обусловленное требованиями энергосбережения на источнике и всей системе, так и обеспечения качества теплоснабжения.

В зависимости от места реализации, регулирование процесса поставки теплоносителя подразделяют на теплоисточнике, в центральных тепловых пунктах, в корпусных тепловых пунктах, и регулировании, имеющем зачаточный характер, непосредственно на теплопотребляющем оборудовании. Для обеспечения качественного теплоснабжения практикуется регулирование, объединяющее минимум два вида. Как известно, все виды регулирования поставки тепла в теплоэнергетических системах подразделяются на три вида:

-качественное регулирование, осуществляемое за счет изменения температуры сетевой воды при неизменном расходе; здесь следует отметить, что этот вид регулирования энергетически и экономически наиболее выгоден, но его и труднее осуществимый из-за необходимости внедрения цифровых автоматических систем.

-количественное регулирование отпуска теплоты за счет изменения подачи сетевого теплоносителя; наиболее простой, доступный и чаще всего применяемый.

-качественно-количественный, использующий два перечисленных выше способы регулирования.

Подход к регулированию параметров отпускаемого теплоносителя в теплофикационных системах весьма неоднозначен и существенно влияет на экономические показатели работы источника, особенно ТЭЦ, и качество теплоснабжения потребителя, чаще выражаемое в допуске перетопа.

Наиболее качественно решить задачу оптимального построения системы источник потребитель путем выбора способа регулирования можно при проектировании теплоснабжающей системы под комплекс в данном случае агро-

промышленных объектов теплоснабжения. Это предполагает под обоснованную технологию отпуска и регулирования теплоты с учетом принятого температурного графика осуществлять проектирование схемы источника, выбора основного и вспомогательного оборудования, проектирования магистральных и внутриквартальных тепловых сетей, внутренних трубопроводов и теплоиспользующих приборов жилых и агропромышленных зданий.

В системах теплоснабжения спроектированных и построенных в период семидесятых годов прошлого столетия и действующих в настоящее время задача выбора оптимальной технологии регулирования тепловой нагрузки для каждой действующей системы теплофикации решение имеет индивидуальный характер. В качестве задачи оптимизации транспортировки теплоты получается позволением рассматривать лишь корректировку существующих способов регулирования в тесной связи с происходящими изменениями в режиме работы системы источник потребитель.

Давая характеристику происходящим изменениям, следует выделить следующее: резкое в той или иной степени уменьшение доли производственной тепловой нагрузки, имеющей базовый характер и определяющей качественные показатели регулирования поставки тепла, хорошо просчитанным и отражаемым коэффициентом теплофикации; с другой стороны увеличение доли жилищно-коммунальной нагрузки, имеющей резко переменный годовой характер. Этот процесс выхолащивает оптимизационный смысл и значение коэффициента теплофикации.

Подавляющее число централизованных систем теплофикации сформированные в прошлом столетии можно характеризовать как крупные или глобальные для всего города. В основе регулирования таких систем использовался температурный график 150/70, как оптимум в системе графиков эксплуатационных и капитальных затрат технико-экономической оптимизации. Большую часть в качестве источника выступали тепловые электроцентралы, в значительно меньшей степени котельные, которые были пиковыми или районными (для городской застройки). Центральное качественное регулирование поставки тепловой энергии определяло оптимальную работу структуры источник-потребитель. Базовая часть годового графика тепловой нагрузки обеспечивалась паром 250-180 градусов из теплофикационных и промышленных отборов турбин на центральном источнике, остальная неравномерная часть пиковой котельной. Районные котельные работали со срезкой температурного графика 130/70 и ниже с сохранением качественного регулирования. Если рассмотреть зарубежный опыт теплофикации, где в большей степени присутствуют малые теплофикационные системы и индивидуальное теплоснабжение, можно отметить тенденцию к низкотемпературному теплоснабжению и приоритетному применению количественных способов регулирования.

Расчеты экономических показателей работы от больших к малым теплоснабжающим системам показывают для больших систем лучшие экономические показатели дают качественное регулирование, средние системы качествен-

но-количественное регулирование, в малых системах предпочтительнее применять количественное регулирование.

На основании анализа проведенных расчетов можно выделить следующее: экономически оправданным и реально осуществимым мероприятием в действующих малых теплофикационных системах агропромышленного комплекса является технико-экономически обоснованная срезка температурного графика с учетом состояния оборудования систем климатологических реалий региона;

Проведенные расчеты показали, что при срезке температурного графика проявляется некий эффект недоотпуска тепловой энергии, который имеет незначительную величину и за счет аккумулирующей способности зданий не сказывается на комфортности потребителей.

Основные моменты энергосбережения достигаются только за счет внедрения развитых цифровых автоматических систем.

#### Литература

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. /Е.Я. Соколов.-М. Изд-во МЭИ. 2018.-472 с.
2. Пилипенко Н. В., Спиваков И. А. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей.-СПб: НИУ ИТМО, 2013.-274с.
3. Родионов В. Г. Энергетика: Проблемы настоящего и возможности будущего. (электронный ресурс)- М.: ЭНАС.2010.-352 с. <http://e.lanbook.com/book/3850>.

*В.А. Михайлов, к.т.н., доц.; Т.Ю. Федосова студ.; Д.В. Горбатовский студ.,  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОКОНТУРНОЙ ПАРОВАЗОВОЙ УСТАНОВКИ С КОТЛОМ-УТИЛИЗАТОРОМ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ**

Оптимизация работы всего топливно-энергетического комплекса России в целом, а также каждой отдельно взятой тепловой станции в частности является важнейшей задачей современной энергетики. Она приобрела чрезвычайную актуальность в условиях ускоренных темпов прироста промышленности и увеличения объёмов потребляемой энергии.

Главным требованием к таким установкам является улучшение термодинамической эффективности и высокий КПД, что способствует значительной экономичности их работы. Установки, в работе которых используется бинарный цикл, полностью удовлетворяют поставленным условия. В основе их работы лежит цикл Ренкина-Брайтона, объединяющий паровую и газовую составляющие, что позволяет более эффективно использовать энергию топлива. Так же их называют парогазовыми установками [1].

Целью данной работы является анализ эффективности применение **одноконтурной парогазовой установки с котлом-утилизатором для энергообеспечения предприятия** в городе Смоленске.

В работе были рассмотрены варианты использования одноконтурной парогазовой установки с котлом-утилизатором, которые представлены на рисунке 1 и 2, с расчетными параметрами, которые приведены в таблице 1 [2].

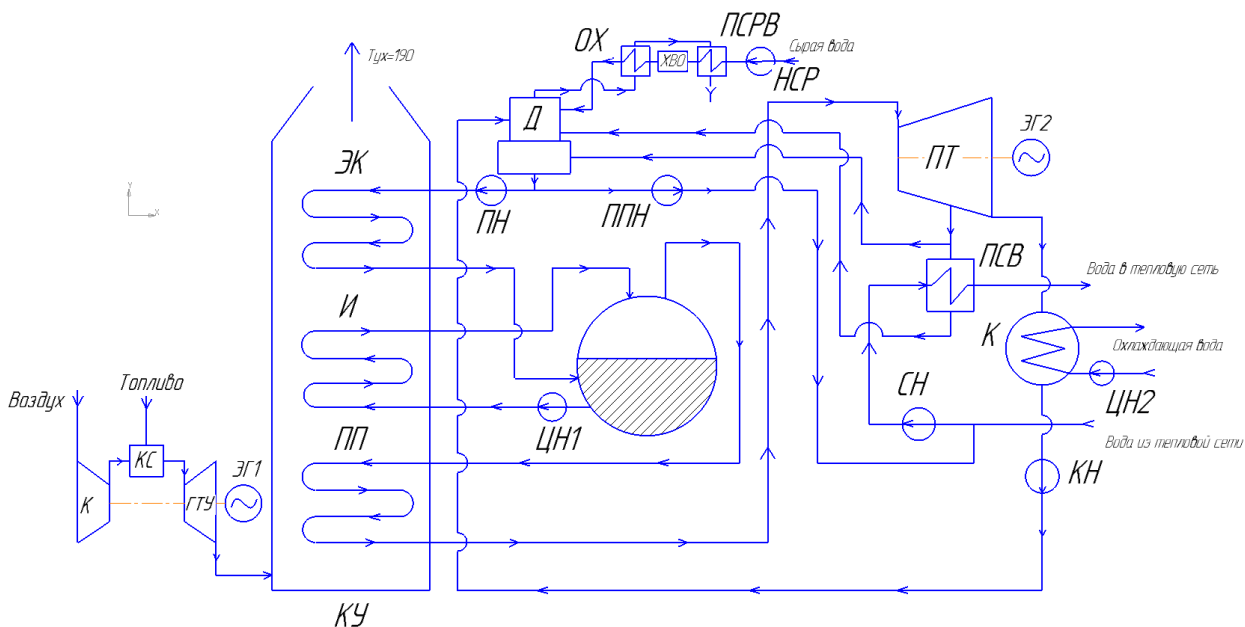


Рисунок 1 – Принципиальная тепловая схема одноконтурной парогазовой установки с котлом-утилизатором

ГТУ – газотурбинная установка; ЭГ1 – электрогенератор на газовой турбине; КУ – котел утилизатор; ПП – пароперегревательные поверхности; И – испарительные поверхности; ЭЖ – экономайзерные поверхности; Д – деаэратор; ПН – питательный насос; ЦН1 – циркуляционный насос котловой воды; ЭГ2 - электрогенератор на паровой турбине; ПТ – паровая турбина; ПТВ – подогреватель сетевой воды; ППН – подпиточный насос; ЦН2 – циркуляционный насос охлаждающей воды; К-конденсатор; КН - конденсатный насос; НСП -насос сырой воды; ОХ - охладитель выпара; ПСПВ - подогреватель сырой воды.

Принципиальные отличия и преимущества данной схемы:

1) отделение системы горячего водоснабжения от отопления и вентиляции. При условии расположения парогазовой установки на территории предприятия это позволяет снабжать потребителя тепловой энергией напрямую, без использования промежуточных тепловых пунктов [3].

2) возможность потокораспределения дымовых газов, позволяет оптимизировать работу установку в зависимости от температуры наружного воздуха, что должно решить проблему избытка тепловой энергии в летний период года.

Предложенная схема установки подразумевает 3 основных режима эксплуатации в зависимости от изменения температуры наружного воздуха:

➤ 1-ый режим (летний, конденсационный), в ходе которого необходимая тепловая нагрузка, представленная нуждами горячего водоснабжения, покрывается в ПГВС за счет охлаждения продувочной воды, поступающей из барабана-сепаратора. При этом объем и параметры вырабатываемого пара позволяют обеспечить работу паровых турбин в номинальном режиме.

➤ 2-ой режим (от начала отопительного сезона до  $t_{нв} = -2^{\circ}\text{C}$ ): подразумевает одновременную работу парового и одного водогрейного котлов-утилизаторов при останове одной из паровых турбин. Необходимая тепло-

вая энергия для нужд горячего водоснабжения вырабатывается аналогично 1-ому режиму, для отопления и вентиляции - за счет нагрева теплоносителя в водогрейном котле-утилизаторе.

➤ 3-ой режим (от  $t_{нв} = -3^{\circ}\text{C}$  до  $t_{нв} = -25^{\circ}\text{C}$ ), в ходе которого необходимая тепловая энергия вырабатывается только за счет нагрева теплоносителя в водогрейных котлах-утилизаторах.

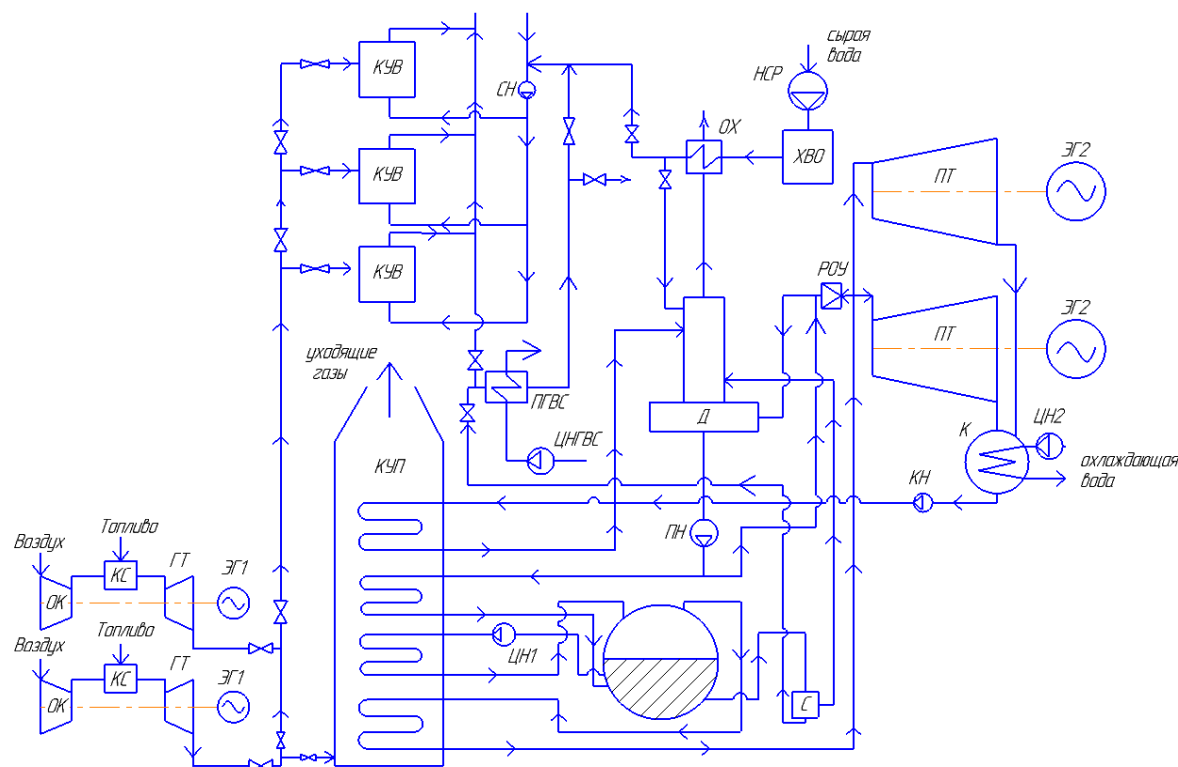


Рисунок 2 – Принципиальная тепловая схема модернизированной одноконтурной парогазовой установки с котлом-утилизатором

ОК – осевой компрессор; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина; ЭГ1 – электрогенератор на газовой турбине; КУП – паровой котел-утилизатор; КУВ – водогрейный котел-утилизатор; Д – деаэратор; ПН – питательный насос; ЦН1 – циркуляционный насос котловой воды; ЭГ2 – электрогенератор на паровой турбине; ПТ – паровая турбина; С – сепаратор непрерывной продувки; РОУ – редукционно-охладительная установка; ЦН2 – циркуляционный насос охлаждающей воды; К-конденсатор; КН - конденсатный насос; НСР - насос сырой воды; ОХ - охладитель пара; СН – насос сетевой воды; ПГВС – подогреватель ГВС; ЦНГВС – циркуляционный насос ГВС; ХВО – химводоподготовка.

Таблица 1 –Основные расчетные параметры ПГУ и модернизированной ПГУ

|  | ПГУ         | Модернизированная ПГУ |
|--|-------------|-----------------------|
| Газовая турбина                                | SGT-500     | 2x SGT-200            |
| Паровая турбина                                | T-5-5.2/0.2 | 2x К-2,5-2,4          |
| КУ   | -           | КУВ-5,3               |
| Температура уходящих газов, $^{\circ}\text{C}$ | 375         | 466                   |



|   |                |                |
|---|----------------|----------------|
| Расход пара $D_{отб}$ т/ч   | 19,22          | 15             |
| Энтальпия дымовых газов на выходе из котла -утилизатора, Н, кДж/кг  | 474,3          | 432,5          |
| Внутренняя электрическая мощность паровой турбины $N_{вн}^{тепл}$ , МВт   | 2,800          | 3,042          |
| КПД в конденсационном режиме, $\eta_k$ , %  | 27             | 36,3           |
| КПД в теплофикационном режиме от $t_{нв} = -3^{\circ}\text{C}$ до $t_{нв} = -25^{\circ}\text{C}$ , $\eta_t$ , % | 44,3           | 51             |
| Затраты предприятия на покупку топлива в год, $Z_{год}^{топл}$ млн. руб/год                                     | 246,161        | 196,867        |
| Экономия, млн. руб/год  | <b>414,223</b> | <b>426,873</b> |

Расчеты показали, что первый вариант установки можно признать неэффективным поскольку наблюдается высокая зависимость эффективности работы от температуры наружного воздуха, что выражается в низком КПД в конденсационном режиме.

В результате модификации тепловой схемы установки коэффициент полезного действия возрос в конденсационном режиме с 27 % до 36,3 %, в теплофикационном с 44,3 % до 51 %. Расчетный доход предприятия при отказе от централизованного тепло и энергоснабжения в пользу собственного источника энергообеспечения составляет 426,873 млн. рублей в год.

Таким образом, представленная модернизированная тепловая схема имеет ряд отличительных особенностей призванных увеличить экономическую эффективность источника энергообеспечения. Применение второго контура для предварительного подогрева конденсата перед деаэратором призвано уменьшить температуру уходящих газов. Сепаратор непрерывной продувки позволяет использовать теплоту продувочной воды для нужд ГВС. Турбины и котлы-утилизаторы подобраны таким образом, чтобы добить оптимальной утилизации уходящих газов при любом режиме работы установки.

#### Литература

1. Трухний А.Д. Парогазовые установки электростанция: учебник для вузов / А.Д.Трухний. - 3-е изд. перераб. и доп. - М.: Издательский дом МЭИ, 2017. - 65 с.
2. Каталог ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК SIEMENS [Электронный ресурс]: <http://www.ehc-group.ru/catalog/gtu/gtu/siemens/198.html>
3. Каталог ПАРОВЫЙ ТУРБИН И ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ «КАЛУЖСКОГО ТУРБИННОГО ЗАВОДА» [Электронный ресурс]: <http://www.ehc-group.ru/catalog/gtu/turbine/kaluga/290.html>

*Г.Ю. Новиков, доц., Н.Д. Перевозчикова, студ., А.С. Овсянникова, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ОТЕЧЕСТВЕННОМ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ**

Россия располагает не только большими запасами органического и минерального топлива, но и нетрадиционными и возобновляемыми, в частности геотермальными энергетическими ресурсами. По оценкам специалистов их потенциал, для использования которого существуют технические возможности, в 10-12 раз превышает отечественный потенциал минерального и органического топлива. Конечно, экономическая эффективность геотермальных энергетических систем может быть обеспечена только при выполнении ряда условий: наличие потребителей, которые не могут быть обеспечены в полном объеме тепловой и электрической энергией от централизованной системы энергообеспечения, использующей органические и минеральные энергоресурсы; наличие в достаточном количестве технически доступных геотермальных энергоресурсов; наличие оборудования, способного обеспечить экономически целесообразное использование геотермальных энергетических ресурсов, при выполнении предыдущих условий. В нашей стране к регионам для которых выполняются отмеченные условия относятся Камчатка, Курильские острова и некоторые районы Северного Кавказа, что подтверждается научными исследованиями по оценке геотермального энергетического потенциала указанных территорий (с 1950 года по настоящий момент времени с этой целью было пробурено более 3000 скважин). Существенным стимулом для развития геотермальной энергетики является практический опыт ее использования накопленный в нашей стране. Только на Камчатке успешно работает три ГеоТЭС, генерирующие суммарную мощность 70 МВт.[1].

Верхне-Мутновская ГеоТЭС мощностью 12 МВт и Маутовская ГеоТЭС мощностью 50 МВт используется для электроснабжения Петропавловск-Камчатского района (потенциальные возможности Мутновского месторождения при использовании паровых турбин оценивается в 200 МВт). Они вырабатывают электроэнергию 450 милкВтч/г.

Паужетская ГеоТЭС мощностью 11 МВт использует на паровых турбинах отсепарированный геотермальный пар из пароводяной смеси, получаемой из геотермальных скважин. При этом геотермальной воды (около 80% общего расхода) с температурой 120°C сбрасывается и используется для теплоснабжения близлежащих населенных пунктов. Ресурсную базу станции составляют 21 скважина глубиной от 220 до 480 м. Каждая из них в среднем обеспечивает около 10 кг/сек пароводяной смеси с теплосодержанием 170 ккал/кг. Глубины скважин составляют 250 - 375 м. Из них поступает пароводяная смесь температурой 195-200°C. По химическому составу Паужетские гидротермы принадлежат к типу хлоридных натриевых вод. Общая минерализация их составляет 1,0-3,4 г/л, температура на выходе из скважин – 144-200 °С, при давлении 2-4 атм. Термальное воды содержат кремнекислоты (250 мг/л) и борной кислоты (150 мг/л).

Пар насыщен газами: углекислым – 500 мг/кг, сероводородом – 25 мг/кг, аммиаком – 15 мг/кг[2]. Выделенные в процессе сепарации, они могут использоваться для промышленных целей, что повышает рентабельность производства тепловой и электрической энергии на станции. Она вырабатывает электроэнергию 52 мил кВтч/г.

Схема Паужетской ГеоТЭС приведена на рисунке 1.

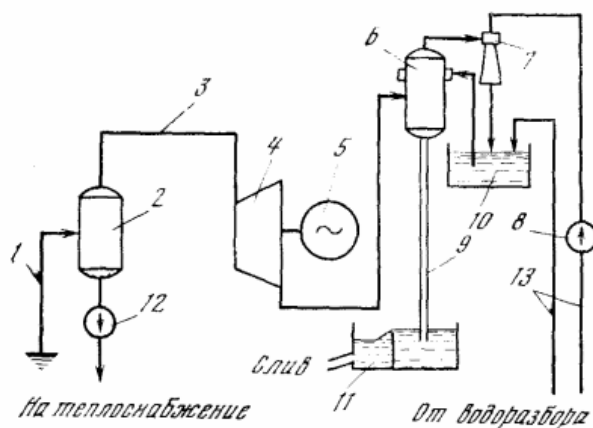


Рисунок 1– Схема Паужетской геотермальной электростанции:

1 – скважина; 2 – сепаратор; 3 – паропровод; 4 – турбина; 5 – генератор; 6 – смешивающий конденсатор; 7 – водоструйный эжектор; 8 – эжекторный насос; 9 – барометрическая труба; 10 – бак охлаждающей воды; 11 – сливной колодец; 12 – насос горячей воды; 13 – трубопровод холодной воды.

Пароводяная смесь из скважины поступает в сепаратор (емкостью  $10 \text{ м}^3$ , с нагрузкой парового объема  $600\text{-}800 \text{ м}^3/\text{час}$ ). В нем при давлении 1,5 атм происходит разделение пара и воды. Отсепарированный пар по паропроводу поступает к турбинам. Горячая вода с температурой  $90^\circ\text{C}$  расходуется на отопление и горячее водоснабжение жилых зданий близлежащих населенных пунктов. Для удаления газов из конденсаторов установлены водоструйные эжекторы с расходом воды  $800\text{-}900 \text{ м}^3/\text{час}$ .

В настоящее время геотермальные источники энергии обеспечивают на Камчатке до 30 процентов от общего энергопотребления, что снижает зависимость энергетики полуострова от поставок привозного мазута, увеличивает надежность энергообеспечения объектов народного хозяйства и создает потенциальные возможности для развития энергетики региона.

Существует проект Океанской ГеоТЭС мощностью 34,5 МВт годовой выработкой электроэнергии 107 млн кВтч. Он разработан для района Курильских островов. В настоящее время электроснабжение г.Курильска и поселков Рейдово и Горячие Ключи (о. Итуруп) осуществляется с помощью ДЭС, а теплоснабжение - с помощью угольных котельных. Причем своего топлива на остров не возят и оно туда полностью завозится. Однако имеются разведанные запасы высокопотенциальных геотермальных источников энергии, которые способны полностью обеспечить потребности народного хозяйства в этом регионе тепловой и электрической энергии. При этом, по оценкам специалистов их себестоимость снизится в два раза.

На о.Кунашир действует ГеоЭС мощностью 2,6 МВт, и планируют ввести несколько ГеоЭС суммарной мощностью 12-17 МВт. В Калининградской области планируется осуществить пилотный проект геотермального тепло- и электроснабжения города Светлый на базе бинарной ГеоЭС мощностью 4 МВт.

Важным фактором, существенно ограничивающим широкое применение геотермальных станций, является жесткая привязка к географии месторождений или источников горячих подземных вод, их физических свойств и химического состава. В совокупности все это определяет, состав и специфику оборудования, технологическую схему станции (прямой, бинарный и комбинированный цикл) и потенциальную мощность энергоблоков, которые могут на ней работать. Помимо этого химический состав паро-газовой смеси, поступающей из геотермального источника, существенно влияет на коррозионный износ оборудования станции и требует осуществление мероприятий по удалению минеральных и газовых примесей, содержащихся в нем. Все отмеченное влияет на рост себестоимости тепловой и электрической энергии, вырабатываемой на станции, использующей геотермальные ресурсы. И как следствие, снижает ее рентабельность.

В силу, выше отмеченного, геотермальная энергетика не может как другие виды энергетических станций, использующих нетрадиционные и возобновляемые источники энергии (солнечная энергия, ветровая энергия) претендовать на роль альтернативы ТЭЦ, работающих в системе централизованной теплофикации, как источник, генерирующий ограниченную мощность в составе автономной комбинированной энергосистемы. Такое важное преимущество нетрадиционной энергетике, как экологическая безопасность в классическом понимании (отсутствие дымовых газов), так же нельзя считать существенным для станций, использующих геотермальные ресурсы. Поскольку в районах их расположения (за исключением Северного Кавказа), удаленных от больших городов и крупных промышленных предприятий содержание в атмосфере оксидов азота, углерода, ванадия и золы не достигает предельно-допустимых концентраций.

Однако при выполнении, отмеченных выше условий, определяющих эффективность геотермальной энергетике, она может успешно развиваться, являясь экономически и технологически оправданной альтернативой использования всех других традиционных и нетрадиционных видов энергии. Ярким подтверждением этого в мировой практике является Италия, где на геотермальных станциях вырабатывается до 6% всей электрической энергии в стране и Новая Зеландия, 40% в энергобалансе которой, обеспечивается за счет геотермальных источников.

Таким образом, можно утверждать, что геотермальная энергетика, занимающая незначительное место в отечественном топливно-энергетическом комплексе-порядка 0,5 %, становится определяющим для отдельных районов. Дальнего Востока, удовлетворяя до 30-50% потребности народного хозяйства в тепловой и электрической энергии. Кроме этого она имеет хорошие перспективы для отдельных территорий в южных и северо-западных частях страны, где предъявляются повышенные требования к экологической безопасности (ку-

портные места), так как при ее использовании отсутствуют выбросы дымовых газов, содержащих вредные компоненты, загрязняющие окружающую среду.

#### Литература

1. Денисов В.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии/ В.В. Денисов.– М.: Феникс, 2015. – 382 с.
2. Томаров Г.В., Никольский А.И., Семёнов В.Н., Шипков А.А. Геотермальная энергетика: Справ.-метод. изд. / Под ред. П.П. Безруких. — М.: ИнтерэнергоИздат, Теплоэнергетик, 2015. 304 с.

*Е.Г. Новикова студ.; Г.Ю. Новиков, доцент, к.т.н.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ НЕЗАВИСИМЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ С ВКЛЮЧЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ «ЗЕЛеной ЭНЕРГЕТИКИ»**

Интерес в мире к проблематике «зеленой» энергетике – энергетическим системам, минимизирующим, экологические издержки и риски позволяет говорить о существенных перспективах развития нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НиВИЭ) [1]. Очевидно, что не может быть не вовлечена в этот процесс и отечественная энергетика. Развитие и практическое использование НиВИЭ в России ограничено рядом естественных факторов:

1. Наличие больших природных запасов органических и минеральных энергетических ресурсов, что обуславливает их приоритетное использование;
2. Нахождение более 60% территории страны в климатической зоне с средней годовой температурой  $-1^{\circ}\text{C}$ , что предъявляет жесткие требования к надежности энергообеспечения;
3. Сложившаяся в 20 веке, централизованная система энергообеспечения на базе органических и минеральных ресурсов, в которой нет перспектив альтернативного развития рентабельных энергосистем на базе НиВИЭ.

Можно утверждать, что в этих условиях эффективное применение НиВИЭ в настоящее время возможно исключительно в составе автономных комбинированных энергетических систем (КАЭС). Они могут применяться в районах, не охваченных централизованным энергообеспечением (30% территории страны с населением 10 мил. человек), при наличии существенной и доступной базы альтернативных (солнце, ветер, геотермальное тепло земли, органические отходы, энергия мирового океана) энергетических ресурсов и потребителей тепловой и электрической энергии.

Важной задачей создания КАЭС на основе НВИЭ является использование экономически, технически и ресурсно оправданного набора генерирующих устройств и формирование за счет этого структуры КАЭС.

При разработке схем, позволяющих использовать элементы «зеленой энергетике» в топливно-энергетическом балансе конкретного региона необходимо учитывать его специфические особенности исходя из условий эффективного применения НиВИЭ сформулированных выше. Исходя из этого, могут быть определены основные этапы реализации данной задачи (рис.1).



Рисунок 1. Структурная схема комплексного использования НВИЭ в топливно-энергетический баланс отдельного региона.

Необходимо, располагать методологической базой для мониторинга располагаемых энергетических ресурсов исследуемого района. Существует набор методик, оценивающих потенциал и возможную долю отдельных источников НВИЭ в энергетическом балансе региона. Они легко укладываются в алгоритм, реализуемый на стандартном типе компьютера (рис. 2).

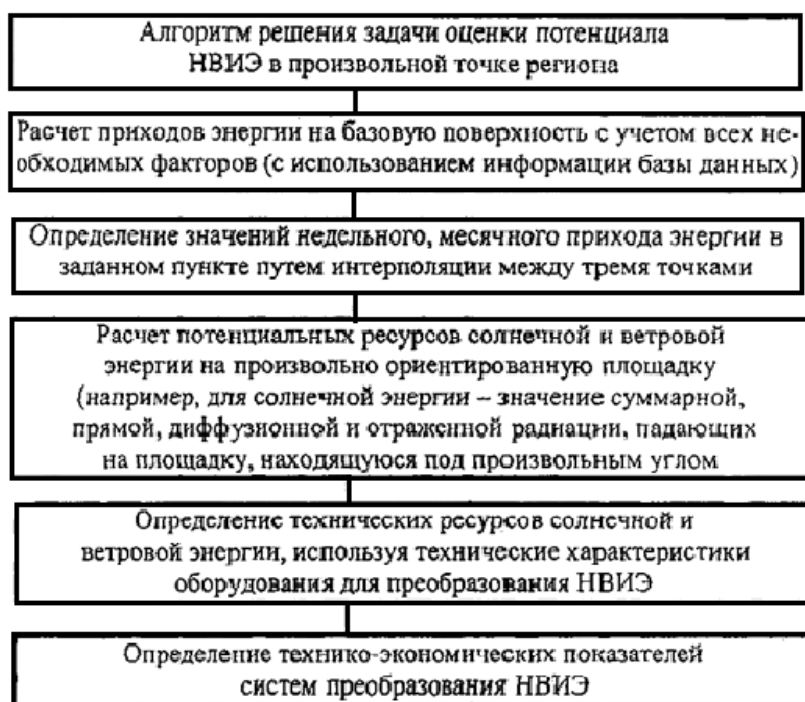


Рисунок 2. Алгоритм вовлечения типичных систем альтернативной энергетики в региональный топливно-энергетический баланс.

Ключевыми показателями КАЭС с для промышленности и сферы ЖКХ являются: цена, срок службы, надежность простота монтажа и эксплуатации, а также бесперебойность энергоснабжении и качество энергии. Поэтому проектирование КАЭС с НВИЭ следует рассматривать как многоуровневый процесс, в ходе которого решаются взаимосвязанные задачи моделирования функциональной и технической структуры объекта. [2].

Процесс проектирования КАЭС схематически можно представить, как последовательность этапов: формулирование и анализ вариантов использования КАЭС, методах их реализации, функциях и взаимодействия элементов КАЭС; создание многофакторной и технологически гибкой модели КАЭС, с учетом всех влияющих и результирующих параметров факторов; разработка технической модели КАЭС; моделирование технологии реализации проектируемой КАЭС; оценка результатов реализации (экологических и общественных рисков и издержек) проекта КАЭС.

Исходные варианты для этапа подбора влияющих факторов и их структурного оформления должны определять правила адаптации данной модели к её функционированию. Создаваемая многофакторная модель должна удовлетворять критериям полноты и непротиворечивости. Для обеспечения максимальной типизации и унификации процессов в модельной системе её структура должна быть также максимально типизирована, а число типов структуры должно быть оптимизирована.



Рисунок 3. Схематическое решение создания КАЭС.

Очень важным является этап структурно-функционального моделирования. Этот этап, являясь одним из первых в формальной схеме проектирования и закладывает его методологическую основу. Вследствие этого ошибочные решения на данном этапе являются наиболее существенными. Не менее важен этап формирования вариантов схемы включения КАЭС с НВИЭ в энергетический баланс региона. Ошибочные варианты схем приводят к ошибочным критериям оценки качества системы на различных этапах проектирования.

Одной из важнейших задач проектирования КАЭС является четкое создание блока проектирования основных этапов создания КАЭС. На рис. 3. показано схематичное решение создания КАЭС. В этом блоке этап создания структурно-функционального моделирования КАЭС предполагает: генерацию вариантов различных вариантов моделей КАЭС; формирование структуры информационной базы об объекте и её заполнение; оценку правильности выполненных действий в процессе поиска оптимального схематичного решения КАЭС, на базе анализа прогнозируемых результатов ее функционирования.

#### Литература

1. Баранов Н.Н. Нетрадиционные источники и методы преобразования энергии./ Н.Н. Баранов. – М.: Издательство МЭИ, 2012. – 384 с.
2. Новиков Г.Ю., Быкова А.Ю. Специфика, условия и потенциальные возможности использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в агропромышленном комплексе. Сборник материалов 41-ой Международной научно-практической конференции «Научный потенциал молодежи – развитию агропромышленного комплекса», г. Смоленск, 2016 – с. 30-33.

*С.В. Панченко, д.т.н., проф., А.Ю. Пучков, к.т.н., доц., Д.С. Панченко, инженер  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **ТЕПЛОФИЗИКА СУХОЙ ГРАНУЛЯЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ**

Об актуальности процессов грануляции металлургических шлаков говорит значительное число исследований и патентов по данной тематике. Весьма перспективными являются установки припечной грануляции шлака, которые устанавливаются непосредственно у печи.

Эффективность способов грануляции характеризуется коэффициентом использования тепла шлака. Для сухого способа 0.67. Таким образом способ сухой грануляции имеет определенные преимущества как по эффективности, так и по потенциалу (т.е. по эксергии воздуха), поскольку позволяет нагреть воздух до высоких температур и, следовательно, повышает возможность использования его как энергоносителя.

В данной работе рассматривается задача сопряженного теплообмена между витающими частицами шлака и газофазного теплоносителя.

#### **Математическая модель затвердевания капель шлака в струе воздуха-газа**

Считается, что перенос энергии по вертикальной координате у осуществляется конвекцией, а внутри частицы теплопроводностью. В расплаве (капле) распределение температуры равномерное.

Баланс энергии для газовой фазы, в отвердевающем материале(частице) при обмене с охладителем и на границе фазового перехода  $\xi_*$  имеет вид:

$$\rho_g c_{pg} (v_g + v_s) \varepsilon \frac{dt_g}{dy_*} = \alpha_F f_v (t_g - t_{s0}) \quad (1)$$



$$\lambda \left( \frac{dt_s}{dr_*} \right)_{x_* = x_{s0}} = \alpha_F (t_g - t_{s0}), \quad (2)$$

$$\lambda \left( \frac{dt_s}{dr_*} \right)_{x_* = \xi_*} = \rho_s Q_L \frac{d\xi_*}{d\tau_*} \quad (3)$$

Граничные условия

$$y_* = 0, t_g = t_{g0}; r_* = r_{*0}, t_s = t_{s0}; r_* = \xi_*, t_s = t_L; \tau_* = 0, d\xi_*/dy_* = 0; \xi_* = 0, y_* = 0. \quad (4)$$

Здесь  $\rho_g, c_{pg}$  – плотность и теплоемкость газов;  $v_g, v_s$  – скорость газов и материала;  $\varepsilon$  – порозность слоя – доля объема, занятого газовой фазой;  $t_g, t_{s0}$  – температура газов и на поверхности частицы;  $y_*, r_*$  – вертикальная и радиальная координаты;  $\alpha_F$  – коэффициент теплоотдачи;  $f_v = 6(1 - \varepsilon)/d_s$  – удельная поверхность частиц;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности частицы;  $\xi_*$  – координата фронта затвердевания;  $t_L$  – температура плавления;  $d_s$  – диаметр частиц;  $\tau_*$  – время;  $Q_R$  – теплота затвердевания.

Считая распределение температуры в затвердевшей части материала (частицы) линейным, получим соотношения в безразмерной форме для описания сопряженного теплообмена при наличии фазового перехода в виде:

$$\frac{d\theta_g}{dy} = St(\theta_g - \theta_{s0}) \quad (5)$$

$$\frac{\theta_{s0}}{\xi} = Bi(\theta_g - \theta_{s0}) \quad (6)$$

$$\frac{d\xi}{d\tau} = Bi(\theta_g - \theta_{s0}) \quad (7)$$

где

$\theta_g = (t_g - t_L)/(t_{g0} - t_L), \theta_s = (t_s - t_L)/(t_{g0} - t_L)$ , – безразмерная температура газа и частицы;  $y = y_* f_v$  – безразмерная координата,  $f_v = 6(1 - \varepsilon)/d_s$  – удельная поверхность частиц;  $Bi = \alpha_F/(\lambda f_v)$  – критерий Био;  $St = \alpha_F/(\rho_g c_{pg}(v_g + v_s)\varepsilon)$  – критерий Стентона;  $\xi = \xi_*/f_v$  – безразмерная координата фронта фазового перехода;  $\tau = Ste Fo$  – безразмерное время;  $Ste = c_{pg}(t_L - t_g)/Q_L$  – критерий Стефана;  $Fo = \lambda\tau/(\rho_s c_{ps} f_v^2)$  – критерий Фурье;  $\varepsilon$  – доля объема, занятого газовой фазой;

### Решение задачи конвективного теплообмена при наличии фазового перехода

Из рассмотренных уравнений следует

$$\xi \frac{d\xi}{d\tau} = \theta_{s0}, \quad (8)$$

$$\theta_g = \frac{1}{Bi} \frac{d\xi}{d\tau} + \theta_{s0} = \frac{1}{Bi} \frac{d\xi}{d\tau} + \xi \frac{d\xi}{d\tau}. \quad (9)$$

Используя эти выражения, получим уравнение:

$$\frac{1}{St} \frac{d}{dy} \left[ \frac{1}{Bi} \frac{d\xi}{d\tau} + \xi \frac{d\xi}{d\tau} \right] = \frac{1}{Bi} \frac{d\xi}{d\tau}. \quad (10)$$

Интегрируя по времени (10), имеем:

$$\frac{1}{St} \frac{d}{dy} \left[ \frac{1}{Bi} \xi + \frac{\xi^2}{2} \right] - \frac{1}{Bi} \xi = g(y) \quad (11)$$

Из (14) следует, что левая часть не зависит от  $\tau$ , поэтому не меняется при любых  $\tau$ , хотя  $d\xi/dy$  и  $\xi$  зависят от двух переменных и это выражение можно вычислить для любого значения  $\tau$ , при котором известны значения  $d\xi/dy$  и  $\xi$ .

Поскольку  $y^* = (v_g + v_s)\tau$ , при  $\tau=0$ ,  $y^*=0$ . Для  $y^* > (v_g + v_s)\tau$  нет затвердевания и  $(d\xi/dy)=0$ . Это положение принято во внимание изначально. Используя эти соотношения как начальные условия получим значение константы интегрирования.

При  $\tau=0$ ,  $(d\xi/dy)=0$ ,  $\xi=0$ , так что  $g(y)=0$ . Последнее уравнение (11) можно переписать в форме удобной для интегрирования

$$\frac{d}{dy} \left[ \frac{1}{Bi} \xi + \frac{\xi^2}{2} \right] = \frac{St}{Bi} \xi \quad (12)$$

Или

$$\left[ \frac{1}{Bi} \frac{d\xi}{\xi} + d\xi \right] = \frac{St}{Bi} dy \quad (13)$$

Интеграл (16) имеет вид:

$$\frac{1}{Bi} \ln \xi + \xi = \frac{St}{Bi} y + c(\tau) \quad (14)$$

Значение постоянной интегрирования можно получить с использованием условий  $y^*=0$ ,  $\xi = \xi_z$ , где  $\xi_z$  значение составляющей координаты фронта затвердевания на входе в зону начала фазового перехода.

Поскольку при  $y^*=0$ ,  $t_g = t_{g0}$ , то при  $y=0$ ,  $\theta_g=1$  и решение можно получить из уравнения для температуры газа (9), записанного с учетом выше рассмотренных условий:

$$\frac{1}{Bi} \frac{d\xi_z}{d\tau} + \xi_z \frac{d\xi_z}{d\tau} = 1 \quad (15)$$

Из этого уравнения (15) получим интеграл и для составляющей координаты фронта затвердевания запишем решение алгебраического квадратного уравнения:

$$\frac{1}{Bi} \xi_z + \frac{\xi_z^2}{2} = \tau, \quad \xi_z = -\frac{1}{Bi} + \sqrt{\left(\frac{1}{Bi}\right)^2 + 2\tau} \quad (16)$$

Для постоянной интегрирования будет справедливо соотношение:

$$c(t) = \frac{1}{Bi} \ln \xi_z + \xi_z \quad (17)$$

Координата фронта затвердевания определяется из нелинейного уравнения

$$\frac{1}{Bi} \ln \xi + \xi = \frac{1}{Bi} \ln \xi_z + \xi_z - \frac{St}{Bi} y \quad (18)$$

Скорость затвердевания и температуры частиц и газа можно получить из балансовых соотношений. Дифференцируя нелинейное уравнение по времени,

получим

$$\frac{1}{Bi\xi} \frac{d\xi}{d\tau} + \frac{d\xi}{d\tau} = \frac{1}{Bi\xi_z} \frac{d\xi_z}{d\tau} + \frac{d\xi_z}{d\tau} \quad (19)$$

Откуда

$$\frac{d\xi}{d\tau} = \frac{d\xi_z}{d\tau} \left( \frac{1}{Bi\xi_z} + 1 \right) / \left( \frac{1}{Bi\xi} + 1 \right). \quad (20)$$

При этом необходимо учитывать выражение:

$$\frac{d\xi_z}{d\tau} = \left( \left( \frac{1}{Bi} \right)^2 + 2\tau \right)^{-0.5}. \quad (21)$$

Температуры частиц и газа:

$$\theta_{s0} = \xi \frac{d\xi}{d\tau} = \xi \frac{d\xi_z}{d\tau} \left( \frac{1}{Bi\xi_z} + 1 \right) / \left( \frac{1}{Bi\xi} + 1 \right), \quad (22)$$

$$\theta_g = \xi \frac{d\xi_z}{d\tau} \left( \frac{1}{Bi\xi_z} + 1 \right). \quad (23)$$

Разлагая (18) в ряд в начальный момент затвердевания при малых значениях координаты затвердевания, получим:

$$\xi = \frac{1 + \ln \xi_z + Bi \xi_z - ySt}{(1 + Bi)}. \quad (24)$$

В этом случае уравнения линеаризуются и можно аналитически оценивать поведение системы в асимптотике.

Некоторые значения безразмерной координаты затвердевания в зависимости от времени и вертикальной координаты в качестве примера приведены в таблице 1а-б.

Зависимость координаты фронта затвердевания от времени и высоты гранулятора

|          |  | Bi =2, St=0.002  |       | Таблица 1а |       |       |
|----------|--|------------------|-------|------------|-------|-------|
| y \ \tau |  | 0.1              | 0.25  | 0.5        | 0.75  | 1.0   |
| 0        |  | 0.20             | 0.38  | 0.62       | 0.82  | 1.0   |
| 20       |  | 0.18             | 0.365 | 0.606      | 0.80  | 0.986 |
| 40       |  | 0.16             | 0.35  | 0.592      | 0.78  | 0.97  |
| 60       |  | 0.14             | 0.335 | 0.578      | 0.76  | 0.954 |
| 80       |  | 0.12             | 0.32  | 0.564      | 0.74  | 0.938 |
| 100      |  | 0.10             | 0.30  | 0.550      | 0.72  | 0.922 |
|          |  | Bi =20, St=0.002 |       | Таблица 1б |       |       |
| y \ \tau |  | 0.025            | 0.05  | 0.1        | 0.25  | 0.5   |
| 0        |  | 0.195            | 0.3   | 0.4        | 0.65  | 0.975 |
| 20       |  | 0.192            | 0.298 | 0.398      | 0.646 | 0.964 |
| 40       |  | 0.190            | 0.296 | 0.396      | 0.642 | 0.953 |
| 60       |  | 0.188            | 0.294 | 0.394      | 0.638 | 0.942 |
| 80       |  | 0.185            | 0.292 | 0.392      | 0.634 | 0.930 |
| 100      |  | 0.184            | 0.290 | 0.390      | 0.630 | 0.920 |

При увеличении критерия Био координата фронта фазового перехода слабо зависит от вертикальной координаты, поскольку при малой теплопроводности

тепло слабо отводится из частицы. При уменьшении критерия Био тормозящее действие на теплообмен начинает оказывать конвекция. Слабое влияние критерия Стентона на процесс отвердевания следует из того, что при развитой поверхности теплообмена влияние интенсификации конвективного обмена не столь существенно, с ростом числа Стентона степень нагрева газа немного возрастает.

### Аэродинамика частиц при охлаждении

Уравнение движения одиночной частицы капли расплава в прямолинейном потоке для спутно-опускного, спутно-подъемного и встречно-опускного случаев для газозвеси имеет вид:

$$m \frac{dv}{d\tau} = \pm mg - cf_1 \rho_g \frac{(v \pm v_g) |v \pm v_g|}{2} \quad (25)$$

где  $v = dl/d\tau$  – скорость частицы;  $v_g$  - скорость газовой фазы;  $c$  - коэффициент сопротивления;  $f$  - сечение частицы плотность газа;

$l$  - расстояние, пройденное частицей;  $m$  - масса частицы;  $\tau$  - время;  $g$  - ускорение свободного падения.

Знак плюс перед  $v_g$  означает встречное движение, минус – спутное; знак плюс перед  $mg$  соответствует опускному, минус – подъемному).

При  $v > 50$  м/с,  $d \sim 200$  мкм,  $mg \ll \frac{\rho_s v^2}{2}$ , т.е. силу тяжести можно исключить.

$$m \frac{dv}{d\tau} = -cf_1 \rho_g \frac{(v \pm v_g) |v \pm v_g|}{2}. \quad (26)$$

Погрешность расчетов по такому уравнению находится в пределах 25%.

В безразмерном виде система уравнений движения имеет вид:

$$\frac{d\bar{v}}{d\bar{\tau}} = -\frac{Re_g}{16} (\bar{v} \pm 1) |\bar{v} \pm 1|, \quad \bar{v} = \frac{12}{Re_g} \frac{dL}{d\bar{\tau}}. \quad (27)$$

Из (27) следует взаимосвязь пути и скорости:

$$\frac{d\bar{v}}{dL} = -\frac{3}{4} c \frac{(\bar{v} \pm 1) |\bar{v} \pm 1|}{\bar{v}}, \quad (28)$$

где  $L = \frac{l \rho_g}{\rho_m d_m}$  – безразмерный параметр пути;  $\bar{\tau} = \frac{12 \tau \rho_g v}{d_m^2 \rho_m}$  – безразмерный

параметр времени;  $\bar{v} = \frac{v}{v_g}$  – безразмерная скорость;  $Re_r = \frac{|v \pm v_g| d_m}{\nu} = Re_g |v \pm v_g|$

- критерий Рейнолдса по относительной скорости;  $Re_g = v_g d_m / \nu$  – критерий Рейнолдса для газовой фазы.

После интегрирования (31), (33) для сферических частиц при  $c = 24Re_r^{-1} + 4Re_r^{-1/3}$ , получим:

$$\bar{\tau} = \frac{16}{c Re_g} \frac{\bar{v}}{1+\bar{v}}; L = \frac{4}{3c} \left[ \ln(1+\bar{v}) - \frac{\bar{v}}{1+\bar{v}} \right]. \quad (29)$$

Для встречного движения частицы при  $v_b = \bar{v}, v_e = 0$ :

Полученные уравнения можно использовать для анализа движения частиц при определении времени релаксации. Следует отметить, что прямолинейное движение характерно для массивных частиц и траектория таких частиц в вихревых камерах незначительно отклоняется. В таблице 2 в качестве примера приведена зависимость времени затухания относительной скорости частицы от начального значения до нуля.

Зависимость времени релаксации при встречном движении частицы и охлаждающего газа от скорости и критерия Рейнолдса.

Таблица 2

| $\bar{v}$         | 1                 | 10                |       |    |          |          |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------|----|----------|----------|
| $\backslash Re_g$ | $0^4$             | $3$               | $0^2$ | 0  | $0^{-1}$ | $0^{-2}$ |
| 0.                | 6                 | 0.                |       |    |          |          |
| 2                 | $10^{-4}$         | $6 \cdot 10^{-2}$ | ,15   | ,7 | ,1       | ,15      |
| 0.                | 7                 | 0,                |       |    |          |          |
| 3                 | $10^{-4}$         | $7 \cdot 10^{-2}$ | ,25   | ,9 | ,16      | ,2       |
| 0.                | 8                 | 0,                |       |    |          |          |
| 4                 | $10^{-4}$         | $8 \cdot 10^{-2}$ | ,30   | ,2 | ,22      | ,25      |
| 0.                | 1                 | 1,                |       |    |          |          |
| 5                 | $0 \cdot 10^{-4}$ | $1 \cdot 10^{-2}$ | ,40   | ,6 | ,28      | ,35      |
| 0.                | 1                 | 1,                |       |    |          |          |
| 6                 | $2 \cdot 10^{-4}$ | $3 \cdot 10^{-2}$ | ,60   | ,0 | ,31      | ,4       |
| 0.                | 1                 | 1,                |       |    |          |          |
| 7                 | $4 \cdot 10^{-4}$ | $4 \cdot 10^{-2}$ | ,70   | ,0 | ,37      | ,42      |
| 0.                | 1                 | 1,                |       |    |          |          |
| 8                 | $6 \cdot 10^{-4}$ | $5 \cdot 10^{-2}$ | ,75   | ,0 | ,39      | ,44      |

|    |                   |                   |     |    |    |    |
|----|-------------------|-------------------|-----|----|----|----|
| 0. | 1                 | 1,                |     |    |    |    |
| 9  | $7 \cdot 10^{-4}$ | $7 \cdot 10^{-2}$ | ,80 | ,5 | ,4 | ,5 |
| 1. | 1                 | 1,                |     |    |    |    |
| 0  | $8 \cdot 10^{-4}$ | $8 \cdot 10^{-2}$ | ,88 | ,5 | ,4 | ,5 |

Естественно, что при увеличении скорости газов время затухания скорости частицы уменьшается и необходимо соотносить скорость охлаждения и время пребывания частицы в зоне затвердевания.

### Анализ результатов

Из полученных соотношений следует, что скорость охлаждения частиц возрастает с уменьшением их размера и для типичного диаметра 2,5 мм составляет примерно 600 °C/с в первые моменты движения. Из анализа также вытекает, что при температуре кристаллизации доменного шлака (1423 К) время, необходимое частице доменного шлака для образования на поверхности твердой корки, равно  $\tau = 0,36$  с. Следовательно, в задачу диспергатора входит формирование такой траектории полета частицы, при которой её время пребывания в воздушной среде должно быть больше 0,36 с. Параметры траектории полета определяются при решении газодинамической задачи. Полученные соотношения позволяют определить размеры гранулятора, температурные условия работы оборудования, гидродинамические режимы грануляции. Проектирование энергосберегающего оборудования такого типа весьма важно для реализации замкнутых теплотехнологических систем, где используются печи со шлаковой технологией.

*С.В. Панченко, д.т.н., проф., В.И. Бобков, д.т.н., доц., Т.В. Широких, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## ТЕПЛОФИЗИКА ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ В СЛОЕ ШИХТЫ ПРИ АГЛОМЕРАЦИИ

В процессе зажигания и в дальнейшем в процессе спекания воздействие горячих газов на аглошихту связано, в первую очередь с удалением влаги из окомкованных частиц. При анализе начальной стадии теплообмена в слое необходимо оценивать скорость сушки, температуру газа и материала на этой стадии.

Система уравнений для оценки времени формирования фронта испарения, включающая баланс энергии для газов, баланс энергии для удаления влаги из шихты и массовый баланс влагосодержания в газах, имеет вид:

$$-\rho_g \nu_g c_{pg} \frac{\partial t_g}{\partial y} = \alpha_v (t_g - t_m) \quad (1)$$

$$-\rho_m L_v \frac{\partial u}{\partial \tau} = \alpha_v (t_g - t_m) \quad (2)$$

$$\rho_g \nu_g \frac{\partial x_w}{\partial y} = -\rho_m \frac{\partial u}{\partial \tau} \quad (3)$$

Граничные и начальные условия:

$$y=0, \quad t_g = t_{g0}(\tau); \quad \tau=0, \quad u=u_0; \quad y=0, \quad x_w = x_{w0}, \quad (4)$$

где  $t_g$  – температура газов;  $t_{g0}(\tau)$  – температура газов на входе в слой;  $u_0$  – начальная влажность шихты;  $x_{w0}$  – начальное влагосодержание в газах;  $t_{g0}$  – температура газов при подаче в слой;  $t_m$  – температура мокрого термометра;  $u_0$  – начальное влагосодержания в шихте;  $x_{w0}$  – влагосодержания в газах при подаче в слой;

Последовательно решая эти уравнения, получим из (1-3) соотношения для температуры газов, влагосодержания в шихте, влагосодержания в газах :

$$t_g = (t_{g0} - t_m) \exp(-by), \quad (5)$$

$$u = u_0 - \frac{\alpha_v}{\rho_m L_v} (t_{g0} - t_m) \exp(-by) \tau, \quad (6)$$

$$x_w = x_{w0} + \frac{b\alpha_v}{\rho_m L_v \nu_g} (t_{g0} - t_m) [1 - \exp(-by)], \quad (7)$$

где  $b = \alpha_v / (\rho_g c_{pg} \nu_g)$ ;

При достижении верхним слоем шихты равновесного с газами влагосодержания  $u_p$  за время  $\tau_p$  начинается движение высушенной зоны вниз, т.е. движение фронта испарения. Промежуток времени  $\tau_p$  определяется из (6)  $\tau_p = \frac{(u_0 - u_p) \rho_m L_v}{(t_{g0} - t_m) \alpha_v}$

при условии:  $y=0, \quad \tau = \tau_p, \quad u = u_p$ .

Анализ движения фронта испарения проводится при условии мгновенного прогрева шихты от температуры мокрого термометра  $t_m$  до  $t_{g0}$ , и охлаждения газов до температуры на фронте испарения  $t_{g\xi}$ .

Рассмотрение базируется на балансах энергии, которые включают тепловой баланс на фронте испарения, баланс тепла для высушенной зоны от начала сушки до фронта испарения и баланс тепла при массообмене с газами, повышающем их влагосодержание:

$$\rho_m L_v \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=\xi} \left( \frac{\partial \xi}{\partial \tau} \right) = -\alpha_v (t_{g\xi} - t_m) \quad (7)$$

$$\rho_g c_{pg} \nu_g (t_{g0} - t_{g\xi}) d\tau = (1 - \varepsilon) \rho_m (c_m + c_w u_\xi) (t_{g0} - t_m) d\xi \quad (8)$$

$$\alpha_F (t_g - t_m) = \beta_w \rho_w L_v (x_m - x_w) \quad (9)$$

Из (7) следует:

$$\left( \frac{\partial \xi}{\partial \tau} \right) = \frac{\alpha_v}{\rho_m L_v} (t_{g\xi} - t_m) / \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=\xi} \quad (10)$$

Откуда ясно, что для оценки скорости сушки необходимо знать температуру на фронте испарения  $t_{g\xi}$  и величину  $(\partial u / \partial y)_{y=\xi}$ . Определяя  $t_{g\xi}$ ,  $(\frac{\partial u}{\partial y})_{y=\xi}$  и подставляя в (10), получим:

$$\frac{\partial \xi}{\partial \tau} = [1 - a_w \frac{d\xi}{d\tau}] / \{b[\tau_p \exp(-b\xi) + \int_{\tau_p}^{\tau} [1 - a_w \frac{d\xi}{d\tau}] d\tau\} \quad (11)$$

Для режима постоянной скорости сушки с учетом того, что при  $\tau=0$ ,  $\xi=0$  будем иметь:

$$\frac{\partial \xi}{\partial \tau} = \frac{1}{a_w + b\tau_p} \quad (12)$$

Интеграл из (12) от  $\tau_p$  до  $\tau$ :

$$\xi = \frac{\tau - \tau_p}{a_w + b\tau_p} \quad (13)$$

Для распределения влагосодержания во влажной зоне получим выражение:

$$u = u_0 - \frac{\alpha_v}{\rho_m L_v} (t_{g0} - t_m) \exp[(-b(y - \xi))\tau_p]$$

Или после подстановки  $\tau_p$ :

$$u = u_0 - \frac{\alpha_v}{\rho_m L_v} (u_0 - u_p) \exp[(-b(y - \xi))] \quad (14)$$

Уравнение (3) дает возможность получить распределение влагосодержания в газовой фазе после подстановки (14) и интегрирования от  $\xi$  до  $y$  при условии, что при  $y = \xi$ ,  $x_w = x_{wp}$ :

$$x_w = x_{wp} + \frac{\rho_m}{\rho_g v_g (a_w + b\tau_p)} (u_0 - u_p) \{1 - \exp[-b(y - \xi)]\} \quad (15)$$

Таким образом, при отсутствии конденсации влаги процесс сушки аглослоя может быть описан аналитически.

Температура мокрого термометра  $t_m$  может быть получена из балансового уравнения 15. С учетом того, что отношение  $\alpha_F / \beta_w$  для большинства случаев представляет собой практически постоянную величину  $g_w = \alpha_F / \beta_w \rho_w$  и колеблется в диапазоне 1,1...1,3 кДж/(кгК), а  $x_m$  – влагосодержание паров в состоянии насыщения при  $t_m$ , запишем нелинейное уравнение относительно  $t_m$  при известной температуре газов  $t_g$  в данной точке и влагосодержания газов  $x_w$  как:

Учитывая, что  $x_w = \frac{m_v P_v}{m_g P_g} = \frac{m_v}{m_g} \frac{P_{VR}(t_m)}{P - P_{VR}(t_m)}$ , и для энтальпии справедливо выражение:

$$I = c_g t_g + L_v x_w = c_g t_m + L_v x_m,$$

или

$$c_g t_g + L_v \frac{m_v}{m_g} \frac{P_v}{P - P_v} = c_g t_m + L_v \frac{m_v}{m_g} \frac{P_{VR}(t_m)}{P - P_{VR}(t_m)},$$

Тогда

$$t_m = t_g - \frac{L_v}{g_w} (x_m - x_w) = t_g - \frac{L_v}{g_w} \left[ \frac{m_v}{m_g} \frac{P_{VR}(t_m)}{P - P_{VR}(t_m)} - x_w \right] \quad (16)$$

Из анализа следует, что  $t_m$  изменяется незначительно от 70° до 90°С при изменении  $t_g$  от 200 до 1200°С, при  $L_v = 2300$  кДж/(кг К) и  $g_w = 1,2$  кДж/(кг К).



Это подтверждает правильность допущения о постоянстве  $t_m$  при интегрировании уравнений кинетики сушки.

### Проверка адекватности рассмотренной модели

При сушке аглошихты проводились измерения температуры частиц влажной аглошихты и газа в четырёх точках по высоте слоя. Высота слоя высушиваемой шихты 130 мм. Температура теплоносителя, подаваемого в слой со скоростью 0,3...1 м/с, из камеры горения солярового масла 920°C. Термопары для измерения температуры кусков аглошихты и газа располагались по высоте слоя  $h = 30, 70, 110, 130$  мм.

Положение фронта сушки определялось по температурному полю для шихты. Скорость движения фронта испарения влаги можно найти по перемещению участка, характерного для окончания сушки, когда шихта начинает интенсивно прогреваться (рис. 1).

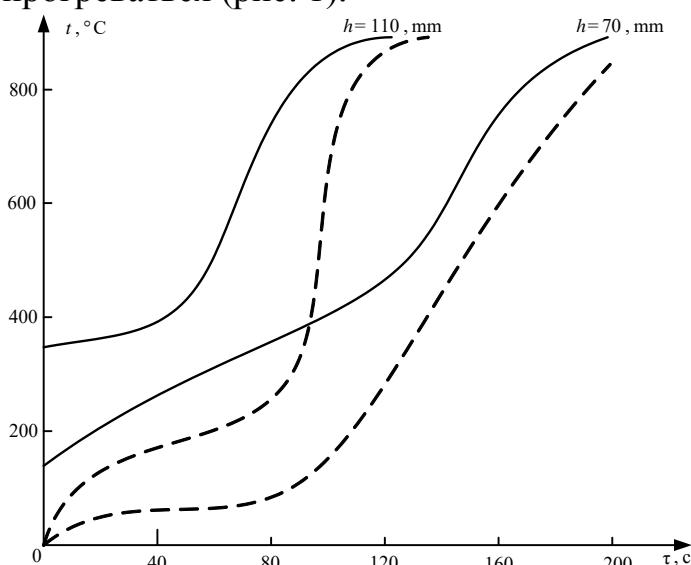


Рис 1. Значения температур газа и шихты в спекаемом слое при  $h = 110$  мм и  $h = 70$  мм в процессе сушки: — - газ, - - - - шихта.

Сопоставление режимов прогрева шихты для двух слоёв позволило получить значение скорости сушки 0,81 м/с при скорости прососа сушильного агента (газа теплоносителя)  $w_g = 0,7$  м/с. Низкая точность результатов (около 30%) объясняется: погрешностями при вычислении расхода газа в точках установки термопар, оценочным определением  $f_F$ , состава продуктов горения, приближённым построением температурного поля, численным дифференцированием.

### Заключение

Предложена математическая модель для теоретического анализа процессов удаления влаги в слое аглошихты. Аналитически получено выражение для скорости сушки в слое дисперсного материала, удовлетворительно совпадающее с экспериментальными данными для аглослоя.

## ВЫБОР СПОСОБА ОРГАНИЗАЦИИ ПОДПИТКИ МЕСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

**Аннотация.** В статье рассматриваются основные способы организации подпитки систем выработки тепловой энергии.

**Ключевые слова:** теплоэнергетика, местная система теплоснабжения, источник тепловой энергии, тепловая сеть, теплоноситель, сетевая вода, химводоподготовка.

Целью работы является выполнение технико-экономического расчета величины нормативной подпитки местного источника теплоснабжения, проведение сравнительного анализа полученных результатов и выбор наиболее оптимальной схемы подпитки для котельной.

Данный вопрос является актуальным в настоящее время. Согласно Энергетической стратегии России до 2030 года от 13 ноября 2009 года, одной из Стратегических целей развития систем теплоснабжения является сокращение непроизводительных потерь тепла и расходов топлива.

Внутренний объем теплоносителя, который циркулирует от источника тепловой энергии к отопительным приборам потребителей, уменьшается в процессе работы котельной, вследствие чего происходит снижение давления в тепловой сети и ухудшается качество теплопередачи.

В тепловом контуре будет происходить постепенное снижение давления до 0 атм., что может являться причиной остановки оборудования, если тепловую сеть не пополнять сетевой водой. Поэтому подпитка котельного оборудования является одним из требований правил безопасной эксплуатации газовых и твердотопливных котельных агрегатов.

Основным назначением узла подпитки является восполнение недостающей части теплоносителя в отопительную систему, что позволяет поддерживать в ней рабочее давление.

На сегодняшний день практикуется два основных варианта управления узлом подпитки:

**Ручное управление:** чаще всего используется при обслуживании относительно небольших отопительных систем, в которых контроль уровня давления в контуре производится в соответствии с контрольно-измерительными приборами (манометры). В этом случае подача теплоносителя может производиться с помощью подпиточного насоса.

**Автоматический режим подпитки:** при падении уровня давления в системе ниже установленного предела происходит срабатывание регулирующего клапана для подпитки, сопровождающееся принудительным поступлением теплоносителя в контур. После того, как давление в системе соответствует установленному рабочему, производится закрытие клапана и отключение насосного оборудования.

Стоит отметить, что существенным минусом автоматического режима подпитки является включение в состав оборудования элемента, постоянно нуждающегося в электроснабжении.

В настоящее время наиболее распространены 2 варианта источников подпиточной воды для котельного оборудования:

- 1) Подпитка производится из трубопровода системы холодного водоснабжения. В этом случае требуется проведение водоподготовительных мероприятий.
- 2) Подпитка производится из тепловых сетей. В этом случае водоподготовительные мероприятия не требуются, т.к. вода уже прошла реагентную обработку и соответствует требованиям ГОСТ Р55682.12-2013/ЕН 12952-12:2003 (требования к качеству питательной и котельной воды).

Для того, чтобы определить оптимальный способ организации подпитки, проведем технико-экономический расчет каждой схемы и сравним их по основным показателям.

Объектом исследования примем ТРЦ «Галактика», расположенный в г. Смоленск. Нагрузка на систему отопления составляет  $Q_{от} = 2,126$  Гкал/ч, расход теплоносителя  $G_{от} = 85$  м<sup>3</sup>/ч.

Рассмотрим вариант, при котором подпитка котлоагрегатов будет осуществляться от сетей системы холодного водоснабжения.

Т.к. в системе теплоснабжения данного торгового центра предусмотрена установка умягчения непрерывного действия, основные экономические затраты будут направлены на покупку и подогрев холодной воды. Стоимость 1 м<sup>3</sup> холодной питьевой воды для Смоленской области представлена в таблице 1.

Таблица 1 - тарифы на холодную питьевую воду СМУП «Горводоканал» (г. Смоленск) на 2021 год (постановление Департамента Смоленской области по энергетике энергоэффективности, тарифной политике от 19.12.2018 № 232 (в ред. от 25.06.2019 № 61, от 17.12.2020 № 241)

| Наименование услуг | Размер тарифа (руб./м <sup>3</sup> ) |       |              |       |
|--------------------|--------------------------------------|-------|--------------|-------|
|                    | с 01.01.2021                         |       | с 01.07.2021 |       |
|                    | без НДС                              | с НДС | без НДС      | с НДС |
| население          | 21,83                                | 26,20 | 22,70        | 27,24 |
| прочие потребители | 23,05                                | 27,66 | 23,97        | 28,76 |

Для второго случая организации подпитки источника теплоснабжения приведем тарифы, установленные филиалом ПАО «Квадра» Смоленская генерация:

Таблица 2 - Тарифы на тепловую энергию ПАО «Квадра» на 2021 год (постановление Департамента Смоленской области по энергетике энергоэффективности, тарифной политике от 20.12.2018 № 276 в ред. от 19.12.2019 № 297, от 26.03.2020 № 12, от 18.12.2020 №280)

| Наименование услуг   | Размер тарифа (руб./Гкал) |              |
|--|---------------------------|--------------|
|  | с 01.01.2021              | с 01.07.2021 |
| Для потребителей, тепловые сети которых присоединены к тепловым сетям ПАО «Квадра» | 1684,52                   | 1768,75      |

|  |         |         |
|--|---------|---------|
| Для потребителей, тепловые сети которых присоединены к объектам прочих теплоснабжающих организаций | 2504,29 | 2604,46 |
|--|---------|---------|

Согласно приказу Министерства энергетики РФ № 325 от 30.12.2008, нормативные технологические потери при передаче тепловой энергии принято считать в пределах 0,25% среднегодовой емкости трубопроводов тепловых сетей. Следовательно, объем воды, который необходимо восполнять для данной системы будет равен  $G_{\text{п}} = 0,213 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Результаты проведенных расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – результаты расчетных данных

| Способ подпитки | Объем воды для подпитки, $\text{м}^3/\text{ч}$ | Годовой объем воды для подпитки, $\text{м}^3/\text{год}$ | Затраты, руб./ч | Годовые затраты, руб./год |
|-----------------|--|--|-----------------|---------------------------|
| Трубопровод ХВС | 0,213  | 1865,88  | 6,92            | 60619,20                  |
| Тепловые сети   | 0,213  | 1865,88  | 9,40            | 82344,0                   |

По результатам расчетных данных видно, что первый способ организации подпитки для местного источника выработки тепловой энергии является наиболее выгодным, разница в стоимости составляет 27%. Годовая экономия затрат на подпитку котельного оборудования по данной схеме 21724,8 руб./год.

#### Литература

1. Водоподготовка в энергетике: учебное пособие для вузов / А. С. Копылов, В. М. Лавыгин, В. Ф. Очков – М.: Издательский дом МЭИ, 2016 – 12с.
2. ГОСТ Р 55682.12-2013/ЕН 12952-12:2003 - требования к качеству питательной и котельной воды.
3. РД 24.031.120-91 «Методические указания. Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического режима и химического контроля».

*Р.В. Трушаков, ст. преподаватель, к.т.н.; Г.К. Томсон, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## АВТОНОМНЫЕ СРЕДСТВА ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИИ И ТЕПЛОГЕНЕРАЦИИ

В настоящее время в России происходят кардинальные изменения в области энергообеспечения предприятий и объектов с большим потреблением энергии. Всё больше производств уходят от центрального отопления и электроснабжения «от города». Если в случае с теплогенерацией, это происходит достаточно давно, то с электрогенерацией, начинает набирать обороты.

В случае с теплоэнергией популярным решением является блочно-модульная котельная. Среди преимуществ выделяют:

- уменьшение себестоимости вырабатываемой тепловой энергии за счет сокращения затрат на использование теплотрасс;
- высокий уровень технологической оснащённости, обеспечивающий безаварийное использование котельных в любых природных условиях;
- отсутствие затрат на капитальное строительство (БМК – это оборудование);
- высокое качество готовой продукции за счет сборки оборудования в заводских

условиях, а не в условиях стройплощадки;

– короткие сроки производства, транспортировки, сборочных работ и сдачи объекта.

На текущее время существует множество производителей котельных с гибким выбором по мощности. Например, БМК производства «Стройтехкомплект» начинаются всего с мощности 0,1 МВт, заканчивая 12,6 МВт.



Рис.1 Блочно-модульная котельная БМК-4

Для производства электроэнергии существуют газопоршневые установки и газотурбинные установки. Их преимущество заключается в том, что они производят не только электроэнергию, но и теплоэнергию, которую можно пустить на отопление помещений. Газопоршневые установки – ГПУ, является крайне эффективной системой генерации энергии. При помощи работы двигателя внутреннего сгорания, который работает на газе, происходит генерации электроэнергии генератором. Эти двигатели являются простыми и надёжными в эксплуатации, достигая уровня электрического КПД около 41-45.

Эти установки включают в себя процесс когенерации – процесс выработки электрической и тепловой энергии. Температура выхлопных газов газового двигателя достигает  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , проходя через специальные теплообменники происходит обмен с приточными системами отопления или водоснабжения. Также существует дополнительное оборудование для производства пара в режиме когенерации. При стандартной работе ГПУ, на 1кВт электроэнергии производится 1 кВт тепловой энергии.

Для наглядности, проведём расчёт выгоды БМК по сравнению с городским отоплением.

Для расчётов возьмём самую маломощную БМК на 0.1 МВт.

Расход газа – 11 м<sup>3</sup>/час

Мощность – 0.1 МВт

Расход электрической мощности 4,51 кВт\*час



Рис.2 Газопоршневая установка METALNA

Отопление включают на 6 месяцев в году, с 15 октября, по 15 апреля – это 182 дня или 4368 часов. Тарифы на отопление в 2021 году в городе Смоленске - 2596,96 за Гкал.

Допустим, нам как раз хватает 0.1 МВт/час для отопления нашего помещения, тогда за этот период мы используем 375,6 Гкал и заплатим за это 975 367 рублей.

Проведём расчёты для БМК. Стоимость 1 м<sup>3</sup> газа – 4,904 (оптовая цена), при максимальном потреблении 11 м<sup>3</sup>/час мы израсходуем 48 048 м<sup>3</sup> газа и заплатим за него 235 627 рублей. Так же проведём расчёты для потребляемой электроэнергии. Стоимость 1кВт\*час – 4.26 руб. (Цены за отопление и электроэнергию взяты для населения, тарифы для предприятий, при закупке оптом, буду на 20-30% ниже). Итого мы израсходуем 29 700 кВт и заплатим за это 83 920 рублей.

Итого за период работы БМК наши расходы будут 319 547 руб., против 975 367 руб., если мы пользуемся городским отоплением. При стоимости БМК 2 000 000 руб. её окупаемость составит 3 сезона, если не учитывать затраты на обслуживание и ремонт. К тому же, если брать более мощную котельную, то разница в выгоде будет только возрастать, так как при большей мощности вырастает КПД установки.

#### Литература

1. <https://bk-t.ru/gazoporshnevye-ustanovki>
2. <https://tgv-aliants.ru/catalog-tovarov/kotelnoe-oborudovanie/blochno-modulnye-kotelnye1/>
3. <http://www.smolregiongaz.ru/uslugi-dlya-organizatsiy/raschety-za-postavlennyy-gaz/>
4. <https://atomsbt.ru/smolensk/private/tarify/>

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ**

При проектировании систем автоматического управления возникает необходимость достоверного определения параметров машины, являющейся объектом управления электропривода. Паспортные параметры электродвигателей потребителям (предприятиям, занимающимся промышленной автоматизацией) всегда доступны. Вместе с тем, параметры схемы замещения двигателей, необходимые для эффективного синтеза систем автоматического регулирования, часто не известны, заказчикам не передаются и являются «коммерческой тайной» завода-изготовителя электрической машины.

В настоящее время типовым решением для промышленной автоматизации является частотно-регулируемый электропривод переменного тока, позволяющий получить наилучшие свойства в статических режимах и динамике практически в любой промышленной технологии, а наиболее распространенным и дешевым объектом управления для него – асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Современный рынок асинхронных электрических машин как отечественных, так и зарубежных серий очень обширен, предприятиями применяются электродвигатели различных фирм-изготовителей.

Математические электротехнические модели асинхронного электродвигателя в теории электрических машин и электропривода упрощенно представляют собой схемы замещения фазы машины. Наиболее простая схема из них – Г-образная, в которой основными параметрами являются: активное сопротивление обмотки статора  $R_1$ ; активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к статору  $R'_2$ ; индуктивность рассеяния обмотки статора  $L_1$ ; индуктивность рассеяния обмотки ротора, приведенное к статору  $L'_2$ ; индуктивность контура намагничивания  $L_\mu$ .

До сегодняшнего времени наиболее полным справочным изданием, включающим в том числе параметры схемы замещения асинхронных машин, служит [1]. Этот справочник составлен для устаревшей серии 4А и содержит указанные параметры в относительных единицах по скорректированной, несколько отличающейся от традиционной, Г-образной схемы замещения. Тогда как для большинства современных серий, даже отечественных, открытые сведения по параметрам схемы замещения отсутствуют. Методики однозначного «строгого» определения параметров схемы замещения по паспортным данным из-за сложности многопараметрического объекта – асинхронного электродвигателя – не существует. Однако имеется много эмпирических способов, часто дающих весьма большой – до 50% – разброс получаемых результатов.

Целью настоящей статьи является демонстрация возможного оптимального алгоритма определения параметров схемы замещения асинхронного электро-

двигателя, необходимых для синтеза системы автоматического управления электроприводом, и проверки правильности этой оценки.

В качестве опытного образца возьмем один из маломощных асинхронных электродвигателей RA71B4 номинальной мощностью 370 Вт фланцевого крепления, который может применяться, например, в качестве электродвигательного устройства степени подвижности промышленного робота.

Основные паспортные параметры RA71B4 сведены в табл. 1.

Таблица 1. Паспортные параметры электродвигателя RA71B4

| Число пар полюсов | Номинальная мощность | Номинальная скорость вращения | КПД номинальный  | cos φ номинальный | Номинальное линейное напряжение | Номинальный ток статора | Кратность пускового тока | Кратность пускового момента | Перегрузочная способность | Момент инерции |
|-------------------|----------------------|-------------------------------|------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------|
| $p_n$             | $P_{ном}, кВт$       | $n_{ном}, об/мин$             | $\eta_{ном}, \%$ | $\cos \varphi_n$  | $U, В$                          | $I_{ном}, А$            | $K_i$                    | $K_p$                       | $K_m$                     | $J, кгм^2$     |
| 2                 | 0,37                 | 1415                          | 70               | 0,74              | 380                             | 1,2                     | 4,0                      | 1,9                         | 2,3                       | 0,001          |

Авторами осуществлен анализ, который показал:

- из имеющегося множества методик оценки параметров схемы замещения одна из самых достоверных приведена в [2] и заимствована из [3];

- проверку адекватности произведенных расчетов можно осуществить только средствами компьютерного моделирования, убедившись, что рассчитанные параметры схемы замещения обеспечивают основные паспортные параметры машины – номинальные скорость, ток статора, кратности пускового тока и момента.

По [2] последовательно определяются: синхронная скорость вращения (скорость поля); номинальное скольжение; критическое скольжение; ток намагничивания двигателя в номинальном режиме; относительное значение номинального тока ротора; приведенное активное сопротивление ротора; полное сопротивление короткого замыкания ротора; коэффициент мощности при пуске асинхронного двигателя; коэффициент первичного рассеяния; активное сопротивление обмотки статора двигателя; индуктивное сопротивление и индуктивность обмотки статора двигателя; индуктивное сопротивление короткого замыкания двигателя; приведенное индуктивное сопротивление и приведенная индуктивность ротора; взаимная индуктивность статора и ротора (индуктивность намагничивания).

Рассчитанные параметры схемы замещения для RA71B4 сведены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры схемы замещения двигателя RA71B4

| Параметр          | Сопротивление статора $R_1$ , Ом | Индуктивность рассеяния статора $L_1$ , Гн | Сопротивление ротора $R'_2$ , Ом | Индуктивность рассеяния ротора $L'_2$ , Гн | Индуктивность намагничивания $L_\sigma$ , Гн |
|-------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|--|--|
| Числовое значение | 22,72                            | 0,101                                      | 9,13                             | 0,031                                      | 0,871  |

Поставим задачу проверить правильность рассчитанных параметров, т.е. определить их адекватность реальной машине.



Для этого построим имитационную структурную модель прямого пуска асинхронного двигателя в MatLab (рис.1) под номинальной нагрузкой и внесем рассчитанные параметры из табл.2 в меню библиотечной модели асинхронного двигателя. Дополнительная проверка проведенных расчетов производится путем сопоставления и создания компьютерной модели с параметрами машины 4AA63B4Y3 (аналог двигателю RA71B4 из старой серии 4A по мощности и полюсности) из [1].

В [1] используется модифицированная Г-образная схема замещения, отличающаяся от общепринятой Г-образной схемы. В приведенных ниже расчетах осуществлен переход от модифицированной Г-образной схемы замещения к традиционной Г-образной, а параметры машины переведены из относительных единиц в абсолютные.

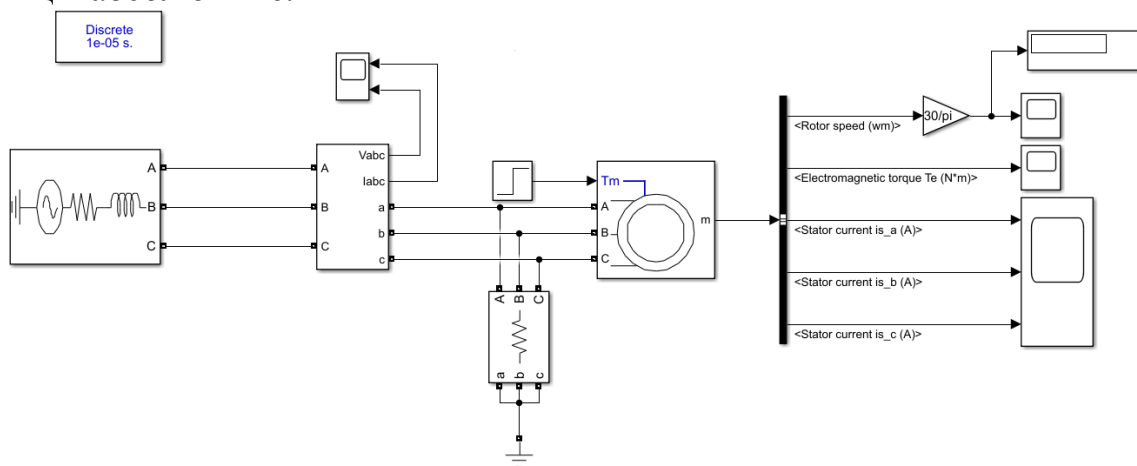


Рисунок 1 – Модель прямого пуска асинхронного двигателя

Пересчитанные к традиционной Г-образной схеме параметры двигателя-аналога из серии 4A сведены в табл. 3.

Таблица 3. Параметры схемы замещения двигателя-аналога 4AA63B4Y3

| Параметр          | Сопротивление статора $R_1$ , Ом | Индуктивность рассеяния статора $L_1$ , Гн | Сопротивление ротора $R'2$ , Ом | Индуктивность рассеяния ротора $L'2$ , Гн | Индуктивность намагничивания $L_\mu$ , Гн |
|-------------------|----------------------------------|--|---------------------------------|---|---|
| Числовое значение | 29,33                            | 0,047                                      | 22,91                           | 0,094                                     | 0,817                                     |

Результаты моделирования прямого пуска для двигателя аналога – скорость, об/мин; электромагнитный момент (слева), Нм; токи статора, А – показаны на рис.2. Видно, что пуск машины под номинальной нагрузкой осуществляется успешно, двигатель запускается примерно за 0,15–0,2 сек (7-10 периодов сети) с характерным качественным переходным процессом.

Однако видно, что даже достоверные параметры машины из справочника, полученные из конструктивных соображений, не обеспечивают в полной мере соответствие полученных основных соотношений паспортным. Кратность пускового тока к номинальному отличается примерно на 25 %, момента – до 30%. По скольжению – хорошее совпадение с точностью до 1%.

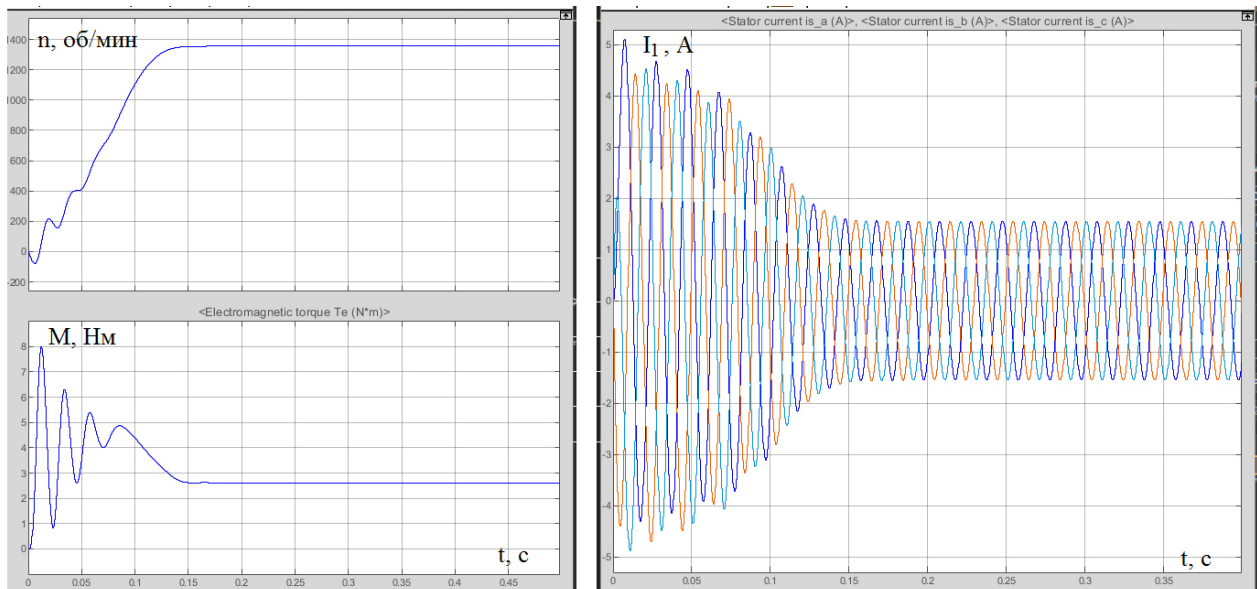


Рисунок 2 – результаты моделирования прямого пуска двигателя-аналога из [1]

Далее приведем результаты моделирования для асинхронного двигателя RA71B4 в соответствии с расчетами по [2].

Кратность пускового тока к номинальному отличается примерно на 5 %, пускового момента к номинальному – около 15%. По скольжению – совпадение с точностью до 10%.

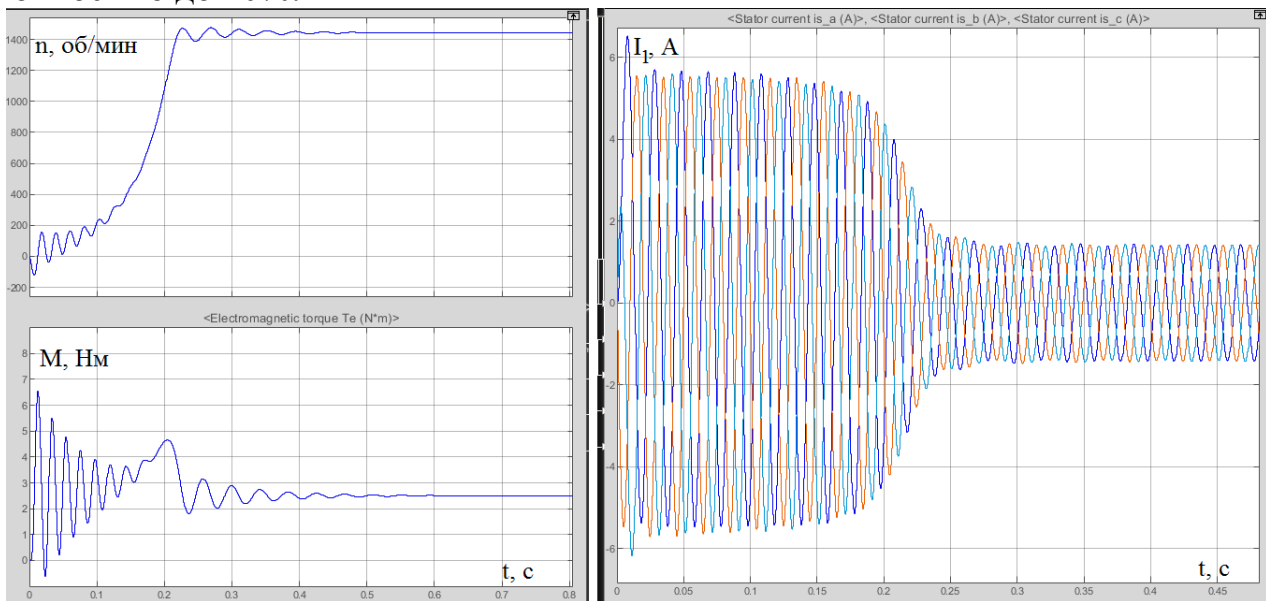


Рисунок 3 – результаты моделирования прямого пуска двигателя RA71B4 по [2]

В дополнение проведенной оценки достоверности можно произвести и расчет посредством встроенного «оценщика» в MatLab, где в последних версиях этой программы можно определить параметры схемы замещения при помощи вложенной опции «Asynchronous Machine Parameter Estimator» (рис.4).

Параметры схемы замещения, рассчитанные с помощью опции MatLab, сведены в табл.4.

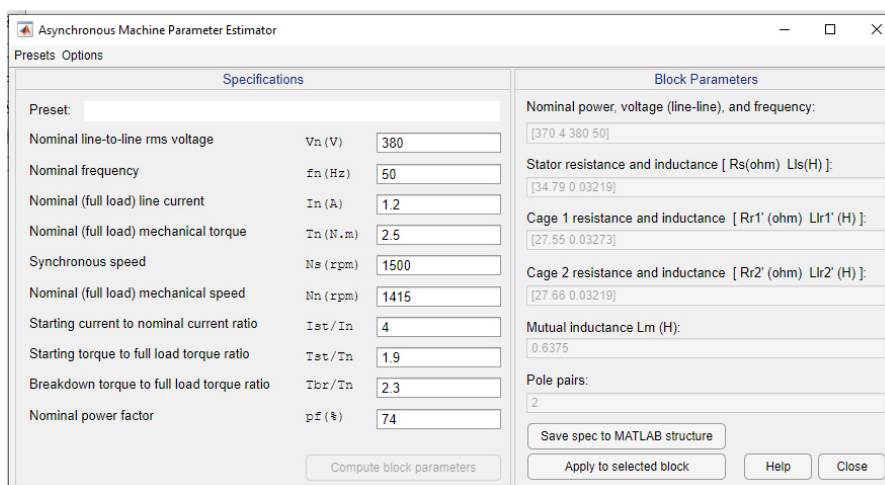


Рисунок 4 - Исходные данные к расчету параметров схемы замещения опцией в MatLab

Таблица 4. Параметры схемы замещения RA71B4, оцененные по рис.4

| Параметр          | Сопrotивление статора $R_1$ , Ом | Индуктивность рассеяния статора $L_1$ , Гн | Сопrotивление ротора $R'_2$ , Ом | Индуктивность рассеяния ротора $L'_2$ , Гн | Индуктивность намагничивания $L_\mu$ , Гн |
|-------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|--|---|
| Числовое значение | 34,79                            | 0,032                                      | 22,75                            | 0,033                                      | 0,638                                     |

Аналогичный компьютерный эксперимент показал, что пуск машины с параметрами, рассчитанными встроенными средствами MatLab, под номинальной нагрузкой осуществляется успешно за 0,1–0,15 сек (5-7 периодов сети). Переходный процесс запуска двигателя с параметрами табл.4 при этом дает значительно большие погрешности в обеспечении паспортных параметров машины, чем, например, методика [2].

Проведенный анализ позволил оценить влияние погрешностей в определении параметров схемы замещения на обеспечение основных паспортных параметров асинхронного двигателя и, в целом, показал, что наиболее целесообразно для синтеза системы автоматического регулирования привода использовать параметры схемы замещения, полученные в соответствии с [2]. При этом обязательна проверка адекватности рассчитанных параметров средствами компьютерного моделирования для контроля обеспечения машиной основных паспортных параметров.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2020-0019.

#### Литература

1. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник/ А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982 – 504 с., ил.
2. Рожков, В.В. Применение частотно-регулируемого электропривода. Методические рекомендации по изучению курса «Частотно-регулируемый электропривод» [Текст]: методические рекомендации / В.В. Рожков. – Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2012. – 64 с.
3. Назаренко В.Н. методическое пособие для выполнения расчетно-графической работы по курсам «Основы электропривода» и «Автоматизированный электропривод». «Расчет механических характеристик асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором». - Севастополь, 2009. – 48 с.

## ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО ПОРЯДКА МЕТОДОМ СТАНДАРТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ПОЛИНОМОВ

Одним из стандартных сигналов, с помощью которого проверяют качество САУ, является единичный скачок. Время отработки  $T_n$  системой единичного скачка и перерегулирование  $q$ , принимаются обычно за характеристики качества переходного процесса [1]. Для систем второго порядка величины  $q$  и  $T_n$  полностью определяются декрементом затухания  $\xi$  и собственной частотой системы  $\omega_0$ :

$$W(s) = \frac{1}{p^2 + 2\xi\omega_0 p + \omega_0^2} \quad (1)$$

С увеличением порядка системы при равных  $\xi$  характеристики качества переходных процессов не совпадают. Из-за этого синтез систем высоких порядков становится трудоёмким.

Сравнивать качество переходного процесса систем различных порядков возможно с помощью приведенного декремента затухания.

Для определения приведенного декремента затухания получим переходные функции для систем второго-двадцатого порядков при различных значениях  $\xi$ . На рис. 1 представлен график зависимости декремента затухания  $\xi$  от перерегулирования  $q$  %, полученный экспериментально, на графике  $r$  – порядок системы.

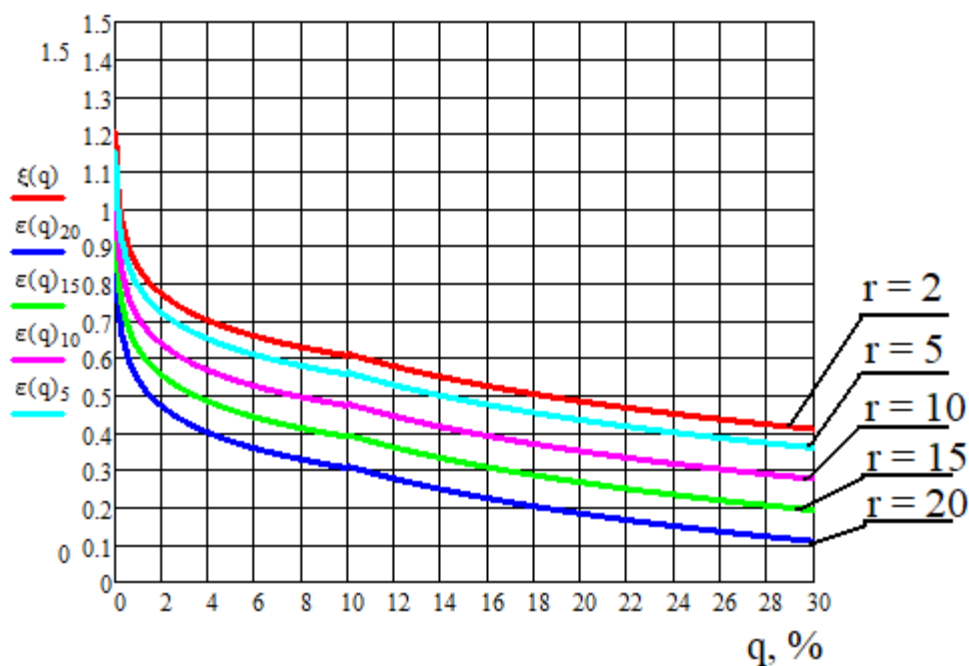


Рис. 1 – Зависимость декремента затухания от перерегулирования.

Можно заметить, что при увеличении порядка системы  $r$ , зависимость  $\xi(q)$  равномерно сдвигается вниз, практически сохраняя свою форму. Отсюда следует, что при синтезе систем высокого порядка можно использовать одну кривую для  $r = 2$ . Следовательно, приведенный декремент затухания можно описать следующей формулой:

$$\zeta = \xi + 0,0167 \cdot (r - 2) \quad (2)$$

При равных  $\zeta$  для систем различных порядков обеспечиваются равные значения перерегулирований, равные перерегулированию системы второго порядка при  $\xi = \zeta$ .

С использованием метода стандартных характеристических полиномов, возможно получить системы с желаемыми демпфированием и временем переходного процесса [2]. Свойства системы определяются значениями коэффициентов характеристических полиномов, которые в свою очередь зависят от порядка системы  $r$ , заданной жесткости управления  $\Delta T$ , числа конечных условий  $n$ , накладываемых на выходную функцию.

Проанализируем влияние этих параметров на характер переходного процесса для систем различных порядков.

Мерой быстроты протекания переходных процессов может служить собственная частота системы  $\omega_0$ .

Построим зависимости собственной частоты от количества наложенных конечных условий на выходную функцию для систем различных порядков рис. 2 и зависимости собственной частоты от порядка системы рис.3:

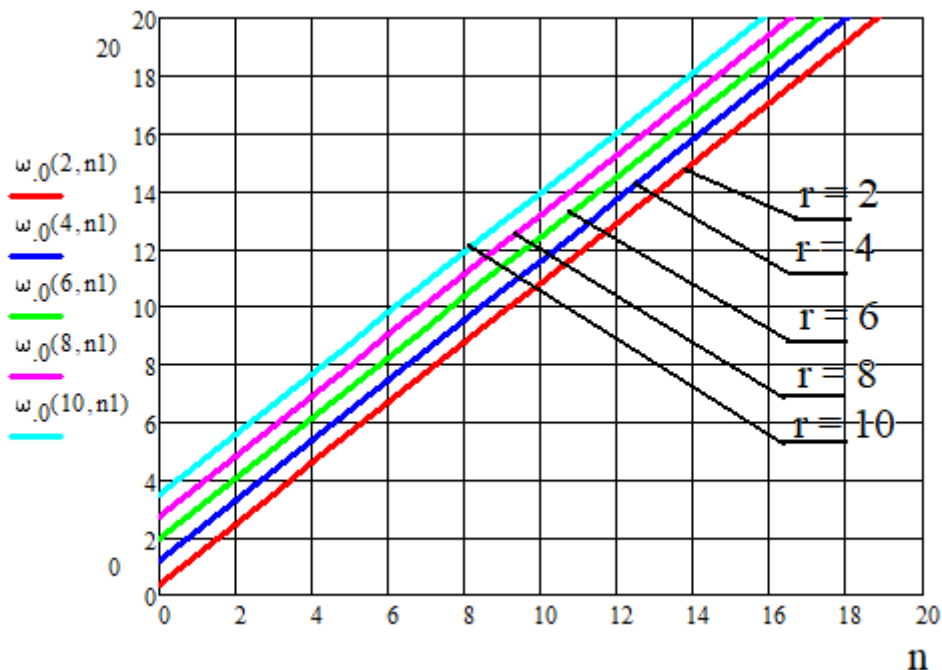


Рис 2. – Зависимость собственной частоты от количества наложенных конечных условий на выходную функцию.

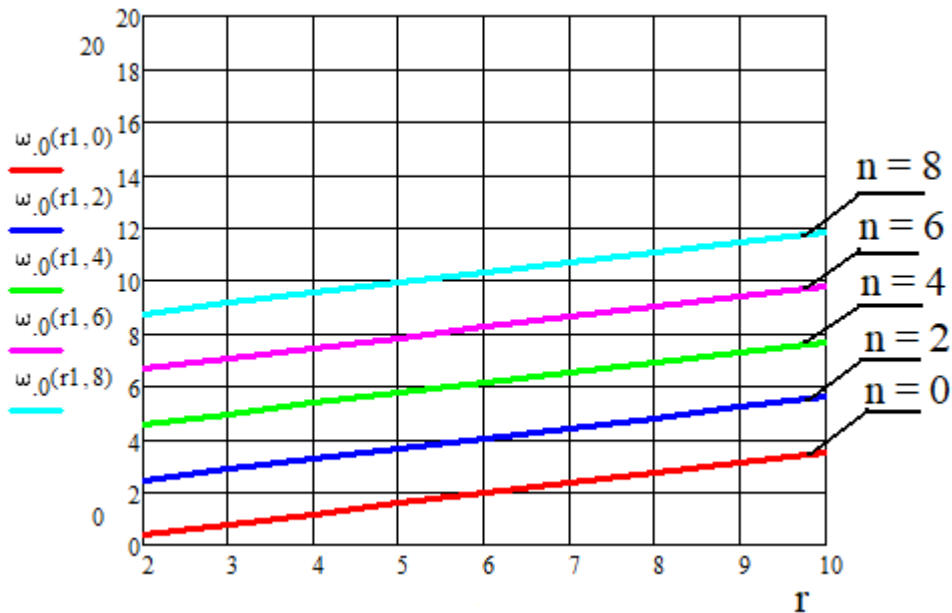


Рис . 3 – Зависимость собственной частоты от порядка системы.

По рис. 2 и рис. 3 видно, что с увеличением числа конечных условий или порядка системы возрастает быстродействие системы.

Эти зависимости удобно аппроксимировать следующей формулой:

$$\omega_0(r, n) = \frac{\sqrt[r]{r!} + 1.0459 \cdot (n - 1)}{\Delta T} \quad (3)$$

При построениях графиков принято  $\Delta T = 1$ , которое определяет масштаб времени.

Построим зависимости декремента затухания от количества наложенных конечных условий рис.4 и порядка системы рис.5.

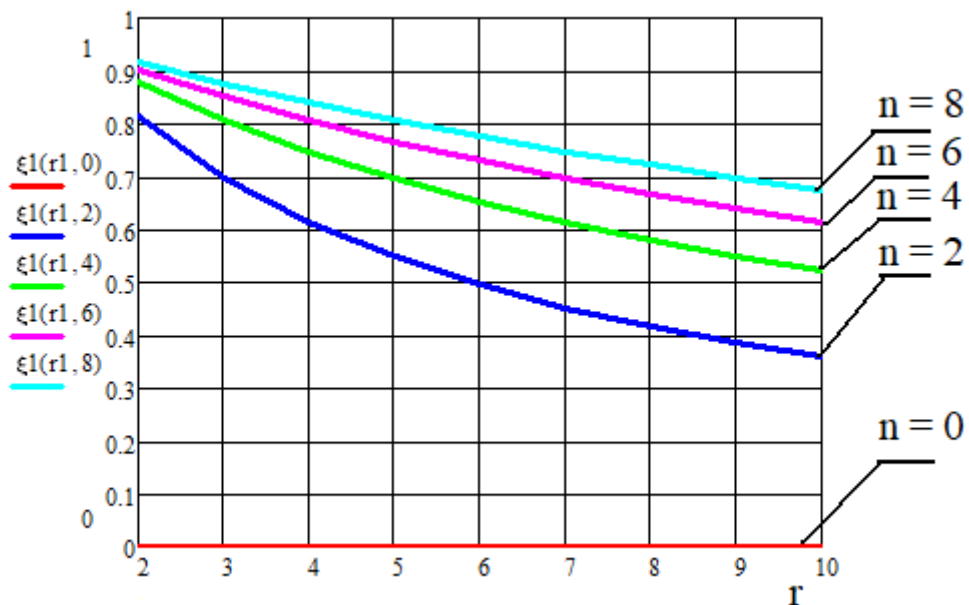


Рис. 4 – Зависимость декремента затухания от порядка системы.

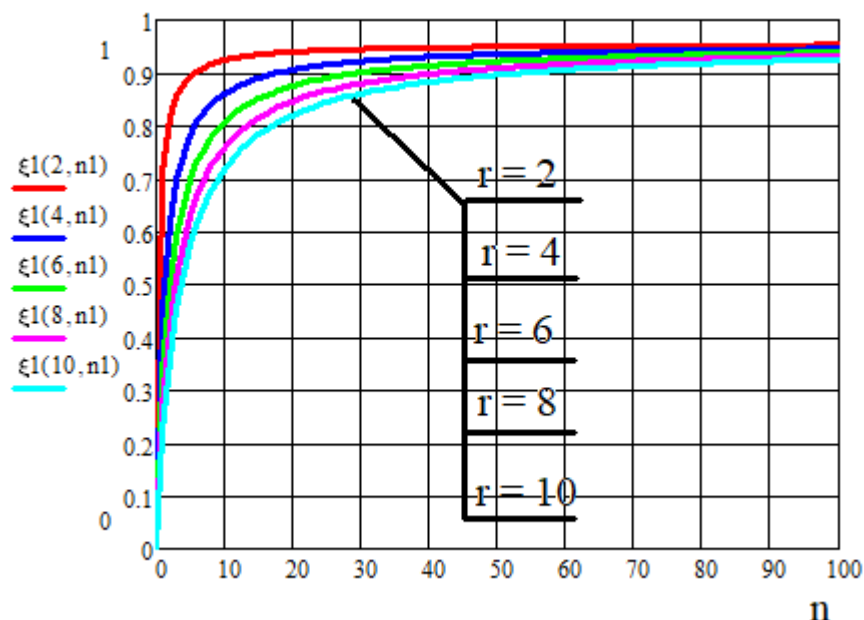


Рис. 5 – Зависимость декремента затухания от количества конечных условий.

По рис.4 видно, что с увеличением порядка системы при фиксированных  $n$ , декремент затухания уменьшается, следовательно будет увеличиваться колебательность системы. При  $n=0$  система имеет незатухающие колебания.

При увеличении числа конечных условий при фиксированном порядке системы  $r$ , увеличивается демпфирование. В пределе декремент затухания будет близок к 1. Для систем меньших порядков демпфирование растет быстрее с увеличением числа конечных условий.

Эти зависимости аппроксимируются следующей формулой:

$$\xi(r, n) = \frac{n}{\sqrt[r]{r!} + 1.0459 \cdot (n - 1)} \quad (4)$$

По полученным зависимостям произведем пример синтеза системы автоматического управления 3 порядка для 4 случаев: время регулирования зададим для первых двух случаев  $T_n = 0.1$  с, для остальных  $T_n = 0.4$ с. Перерегулирования зададим 0% и 20 % для каждого заданного времени переходного процесса.

Порядок синтеза таков:

1. Для начала определяем приведенный декремент затухания по рис. 1 или формуле (1).

2. По формуле (4) определяем количество конечных условий для выходной функции.

3. По заданному времени регулирования определяем жесткость управления  $\Delta T$ :

$$\Delta T = \frac{0.3242 \cdot (r + n - 1) \cdot T_p}{\sqrt[r]{n \cdot r^3}} \quad (5)$$



4. Определяем коэффициенты характеристического полинома:

$$b_v = \frac{1}{(r-v)! \Delta T^{r-v}} \prod_{i=0}^{r-v-1} (r-i)(n+i), v = 0, 1 \dots r-1 \quad (6)$$

Приведем графики реакции систем на единичный скачок.

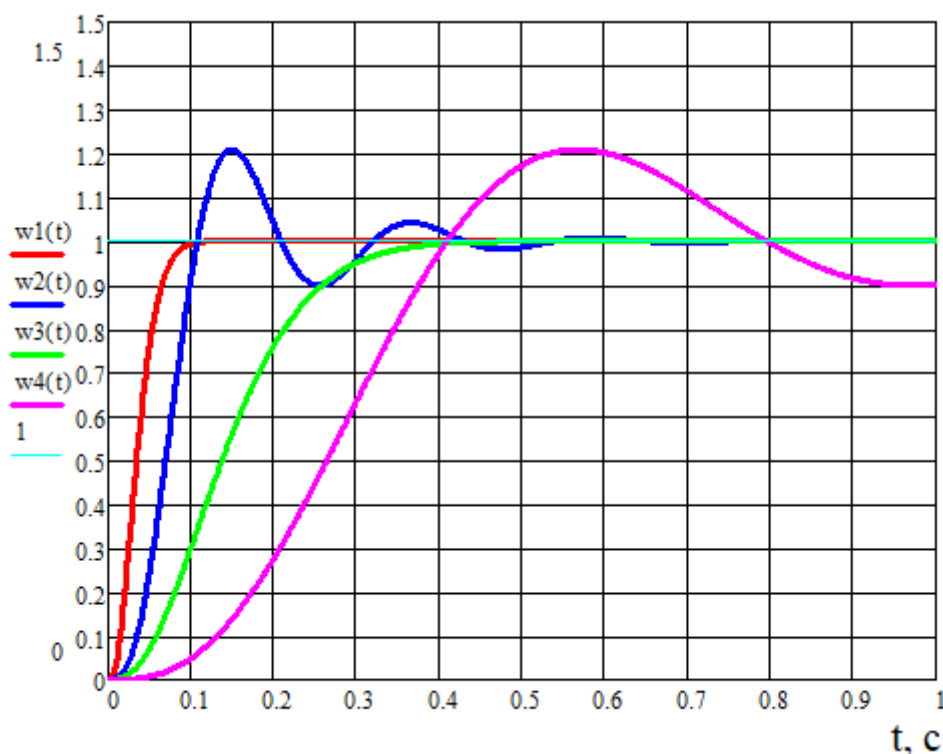


Рис. 6 – Реакции синтезированных систем на единичный скачок.

На рис. 6 приведены результаты моделирования синтезированных систем. Все они соответствуют заданным требованиям по времени регулирования и перерегулированию.

Выводы: в данной статье приведена методика синтеза линейных систем автоматического управления методом стандартных характеристических полиномов, получены аналитические соотношения влияния параметров системы на характер переходного процесса. Проведен пример синтеза системы автоматического управления.

Данный алгоритм синтеза сводится к 4 шагам, причем для систем любого порядка. На практике это очень удобно для получения желаемых передаточных функций при коррекции САУ.

#### Литература

1. Малафеев, С.И. Теория автоматического управления: Учебник / С.И. Малафеев. - М.: Академия, 2019. - 352 с.
2. Юревич, Е.И. Теория автоматического управления / Е.И. Юревич. - СПб.: BHV, 2016. - 560 с.



*В.А. Чернов к.т.н., доц.; М.А. Кисляков ст. преп.  
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ"МЭИ" в г. Смоленске)*

*Е.В. Кислякова к.п.н., доц.  
(ФГБОУ ВО "Смоленский государственный университет")*

## **ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ**

Электрические машины потребляют более 70% электрической энергии, производимой человечеством. Сегодня электрические машины используются совместно с частотными преобразователями, что существенно ускоряет электрический износ и снижает электрическую прочность изоляции оборудования. Более чем в половине случаев к неработоспособности электрических машин приводит именно повреждение изоляции обмоток [1]. Наиболее распространенными повреждениями изоляции являются пробой изоляции (30%), перегрев (26%) и механические повреждения (20%).

На практике применение получили преобразователи частоты двух типов: непосредственные и двухзвенные (инверторы). Непосредственный преобразователь представляет собой реверсивный тиристорный или транзисторный преобразователь, главным достоинством которого можно считать прямое подключение к сети без дополнительных устройств, обеспечивающее преобразование энергии за один такт. Двухзвенный (инвертор) представляет собой транзисторный или тиристорный преобразователь, отличающийся от непосредственного преобразователя частоты тем, что содержит дополнительное звено постоянного напряжения и выполняет преобразование энергии за два такта.

Широкое использование электрических машин с преобразователем частоты связано с рядом преимуществ. Во-первых, преобразователь частоты обеспечивает мягкий запуск электродвигателя, что способствует уменьшению затрат на обслуживание и ремонт оборудования. Во-вторых, преобразователь частоты позволяет регулировать рабочую скорость в зависимости от подключаемого оборудования, тем самым увеличивая производительность. В-третьих, преобразователь частоты можно применять как с постоянным, так и с переменным моментом нагрузки, что обуславливает его универсальность.

Несмотря на существенный ряд преимуществ, преобразователь частоты оказывает также негативное влияние на работоспособность и долговечность электрической машины. Причиной этого является то, что напряжение и ток на выходе преобразователя частоты формируются отдельными участками входного напряжения. При этом наличие высокочастотных переключений силовых ключей преобразователя приводит к возникновению высокочастотных пульсации напряжений, амплитуда которых в несколько раз может превышать значение рабочего напряжения. Присутствие повышенных перенапряжений в изоляционной системе оборудования приводит к её ускоренному старению и износу.

Ускоренный износ изоляции электрической машины существенно образом усугубляется наличием в изоляции микропор, которые остаются после пропитки. Использование частотного регулирования в эксплуатации электри-

ческих машин приводит к развитию в микропорах изоляционной системы частичных разрядов, которые представляют собой низкоэнергетические разряды. При продолжительном воздействии частичных разрядов микропоры увеличиваются в размерах, что приводит к ухудшению диэлектрических характеристик изоляции электрической машины.

Для электрических машин, подвергающихся повышенным эксплуатационным нагрузкам, актуальным является учащенный контроль состояния изоляционной системы. Наиболее перспективными и широко применяемыми являются неразрушающие методы контроля, основанные на анализе процессов поляризации в изоляционной системе. Использование таких методов позволяет контролировать протекание физико-химических процессов в объеме изоляционной системы на атомно-молекулярном уровне.

На рис. 1 схематично представлены основные параметры изоляции электрических машин, полученные на основе изучения токов поляризации.

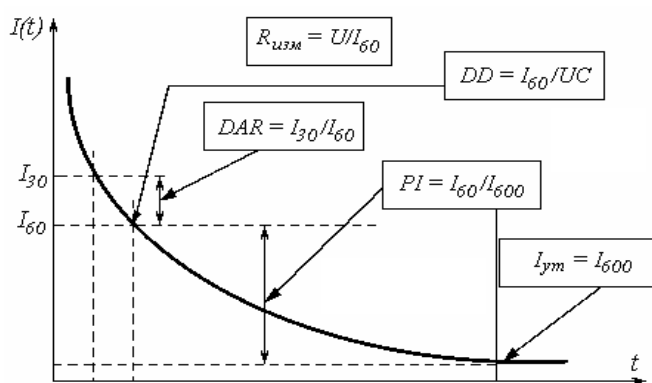


Рис. 1. Диагностические параметры изоляции на

Для оценки состояния изоляции на нее подается напряжение в течение одной минуты. Затем измеряется сопротивление изоляции  $R_{60}$ , которое сравнивается с предельно допустимым значением или результатами предыдущих измерений. Процесс поляризации в изоляции электрических машин большой мощности часто не успевает завершиться за столь малый промежуток времени, поэтому полученное значение сопротивления  $R_{60}$  не всегда является установившимся значением.  $R_{60}$  отражает истинное состояние изоляции при учете её температуры.

Коэффициент абсорбции  $K_{абс}$  характеризует увлажненность изоляционной системы.  $K_{абс}$  рассчитывается как отношение  $R_{60}$  к сопротивлению, измеренному через 15 с после приложения напряжения. В исследованиях зарубежных авторов используется коэффициент диэлектрической абсорбции (DAR) – отношение  $R_{60}$  к сопротивлению, измеренному через 30 с после приложения напряжения. Также применяется индекс поляризации PI. Его значение находят как отношение сопротивления изоляции, измеренного через 10 мин (600с) к сопротивлению, измеренному через 1 мин (60 с) после приложения напряжения.

Степень однородности диэлектрической структуры определяется коэффициентом диэлектрического разряда DD, оцениваемого величиной тока раз-

ряда  $I_{depol\ 60}$ , протекающего спустя 1 мин через разрядный промежуток (емкость промежутка -  $C$ , тестовое напряжение –  $U$ ):

$$DD = \frac{I_{depol\ 60}}{U \cdot C}.$$

Одним из параметров оценки степени старения изоляционной системы является величина тока утечки  $I_{ут}$ , которая зависит от свойств и диэлектрической структуры исследуемого промежутка.

Описанные параметры характеризуют зависимость тока поляризации от времени только в отдельных точках, при этом не отслеживается изменение тока поляризации на протяжении всего временного интервала, что приводит к потерям информации о качестве исследуемой системы.

В работах [2, 3] предлагается рассматривать не отдельные точки зависимости  $I(t)$ , а всю зависимость целиком, которую преобразуют к виду  $t \cdot I(t)$ , представляющему собой спектр токов поляризации (рис. 2). Максимум кривой  $TRP = \max[t \cdot I(t)]$  при этом рассматривается в качестве основного параметра контроля качества изоляции  $TRP$ . В работах [2, 3] обосновывается, что значение  $TRP$  определяется в основном физическим состоянием и структурой изоляционного промежутка, и при этом не зависит от его геометрии и величины приложенного напряжения.

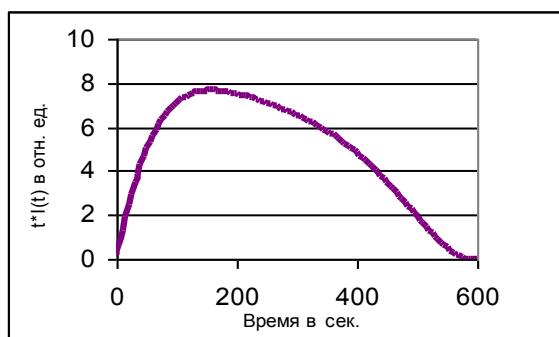


Рис. 2. Спектр тока поляризации

Все приведенные абсорбционные параметры изоляционных промежутков позволяют оценивать качество выпускаемых электротехнических изделий, судить о наличии структурных дефектов. Об опасности обнаруженного состояния удастся судить по форме поляризационного спектра. Наблюдаемые корреляционные соотношения между обобщенным индексом поляризации ( $TRP$ ) и временем жизни оборудования позволяют оценивать остаточный срок службы оборудования. Поэтому использование рассмотренных методов контроля позволяет решить такие важные проблемы, стоящие перед современной энергетикой, как определение состояния, в котором находится диэлектрическая среда оборудования, оценка вероятности отказа, оценка остаточного ресурса изоляционной системы и формирование индекса состояния.

Упрощенная структурная схема предлагаемой многопараметрической системы оценки состояния изоляционной системы оборудования, основанной на исследовании токов поляризации и деполяризации, представлена на рис. 3.

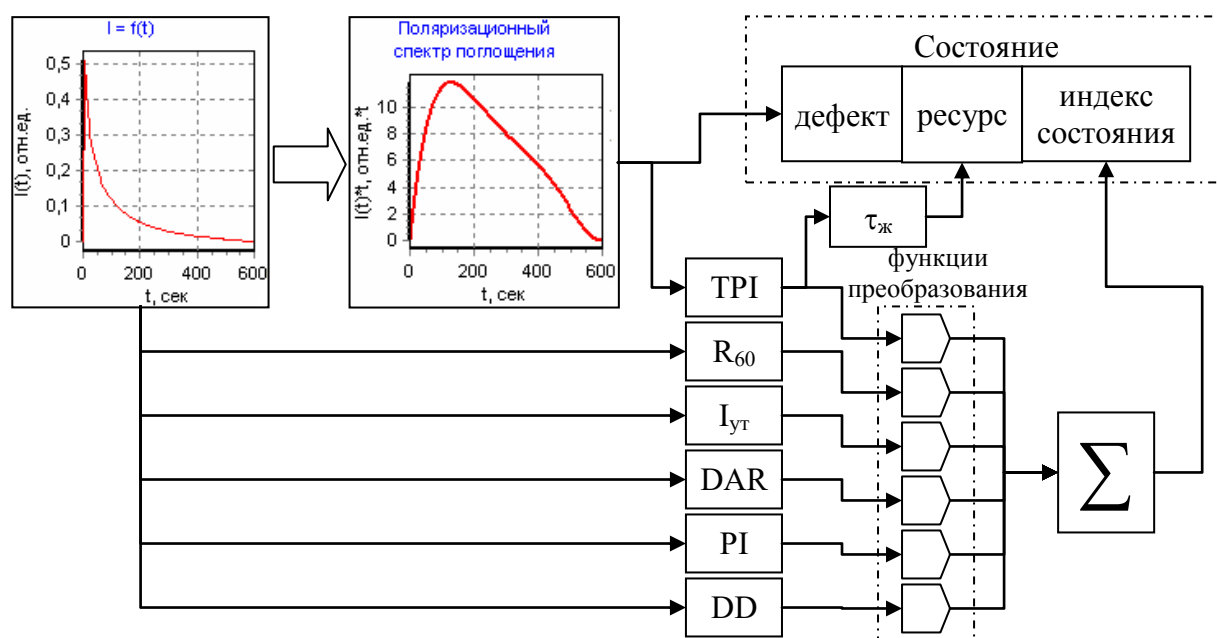


Рис. 3. Модуль многопараметрической системы оценки состояния изоляционной системы электрических машин, основанной на анализе процессов поляризации

Токи поляризации отличаются высокой чувствительностью к химической природе материалов, степени их чистоты, степени совершенства структуры, виду и интенсивности внешних энергетических полей (тепловых, электромагнитных, радиационных и др.). Процессы старения, протекающие в изоляционной системе, а также внешние воздействия приводят к изменению структуры и химического состава изоляции, что существенно влияет на характер зависимости тока поляризации от времени. Поэтому изучение абсорбционных характеристик изоляционных промежутков оборудования позволяет не только оценить качество выпускаемых электротехнических изделий, но и определить его остаточный ресурс и надежность. Совместное использование имеющихся в распоряжении современных инженеров методов оценки состояния электротехнических машин позволяет создавать уникальные многопараметрические системы контроля качества оборудования.

#### Литература

1. Исследование влияния эксплуатационных факторов на надежность электрических машин / Р.Х. Самигуллина, А.И. Назмиев, А.Р. Гараева, Б.Р. Гусамов // Научный альманах. 2016. №10-3(24). С. 238–242.
2. Формирование обобщенного индекса поляризации как параметра контроля состояния изоляционных промежутков / Е.В. Зенова, В.А. Чернышев, А.М. Тагаченков, М.А. Кисляков // Электротехника. 2010. №11. С. 48 – 52.
3. Спектр токов поляризации изоляционных промежутков электрических машин / В.А. Чернышев, А.А. Гордиловский, В.А. Чернов, М.А. Кисляков, А.А. Чередников, А.А. Сус, Ю.А. Сафроненков // Материалы МНТК «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии» (XVIII Бенардосовские чтения). Том 1. Иваново. 2015. С. 221 – 224.

### СЕКЦИЯ 3

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

*М.А. Андреев, ст. преп.*

*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### ИЗМЕНЕНИЯ В КИБЕРУГРОЗАХ В 2020 ГОДУ

2020 год принес серьезные потрясения как в реальном, так и в цифровом мире, и эти изменения нашли своё отражение в ландшафте киберугроз. Некоторые типы атак участились. Киберпреступники меняют тактику, используя текущие события, чтобы воспользоваться новыми уязвимостями.

В последнее время активизировалась угроза со стороны национального государства. Угрозы национального государства определяются как действия киберугроз, исходящие из конкретной страны с очевидным намерением отстаивать собственные национальные интересы. Субъекты, поддерживаемые государством, хорошо финансируются, хорошо обучены и имеют больше возможностей и времени, чтобы играть в «долгую игру», которая может затруднять идентификацию аномальной активности. У них есть возможность организовывать атаки, скрывая их за фоновой активностью работающих приложений. Подобно обычным киберпреступникам, они тщательно следят за своими целями и меняют тактику для повышения эффективности атак. Интересно, что деятельность национального государства значительно чаще нацелена на организации за пределами секторов критической инфраструктуры. Наиболее частой мишенью были неправительственные организации (НПО), такие как группы защиты интересов, правозащитные организации, некоммерческие организации и аналитические центры по государственной политике, международным делам или безопасности.

Какими бы ни были стратегические цели деятельности, субъекты национального государства имеют следующие общие оперативные цели: шпионаж, разрушение или уничтожение данных, а также уничтожение финансовых активов.

Группы, поддерживаемые крупными национальными государствами, имеют средства для разработки и внедрения новых методов и тактики. При этом эти тактики и процедуры часто уникальны. Но надо учитывать, что со временем киберпреступники и более мелкие национальные государства со временем копируют их методы.

Перечисленные ниже отрасли были постоянными целями атак со стороны национального государства в период с июля 2019 г. до июня 2020 г.

32% - негосударственные организации. Среди НПО, подвергшихся атакам, были организации, такие как группы защиты прав человека, некоммерческие организации, сосредоточенные на межгосударственной политике, международных делах, и безопасности.

31% - профессиональные услуги. В прошлом году были предприняты попытки вымогательства у консалтинговых фирм и государственных подрядчиков, особенно у оборонных подрядчиков США. Также пострадали компании, занимающиеся корпоративным правом, ИТ, СМИ и компании по безопасности, работающие в США, Европе и Ближнем Востоке.

13% - правительственные организации. Национальные государственные субъекты путём угрозы пытались пойти на компромисс с министерствами иностранных дел и приравненных к ним дипломатическими учреждениями в странах Северной и Южной Америки, Австралии, Центральной и Южной Африке, Европе и на Ближнем Востоке.

10% - международные организации. Среди международных организаций атаке подверглись, работающие в сфере норм и прав человека. Были отмечены атаки на организации, работающие в области здравоохранения, связанные с пандемией COVID-19.

7% Ф - фирмы информационных технологий. Атаки на ИТ-продукты и поставщиков услуг наиболее распространены в этой категории, за ними следуют компании, которые предоставляют интернет-маршрутизацию.

7% - высшее образование. Атакам подвергались все целевые университеты в этот период. Жертвы были разбросаны по всему миру, в том числе высшие учебные заведения в США, Азии, Европе, Латинской Америке и Среднем Востоке. Колледжи и университеты стали целями, потому что они часто проводят передовые исследования. Например, подозреваемая группа из Китая организовала атаку на университет США, занимающийся разработкой вакцины от COVID-19.

На рисунке 1 показано географическое распространение основных групп, работающих под государственным контролем. Группам даны имена химических элементов. Под ними указаны сферы их интересов.

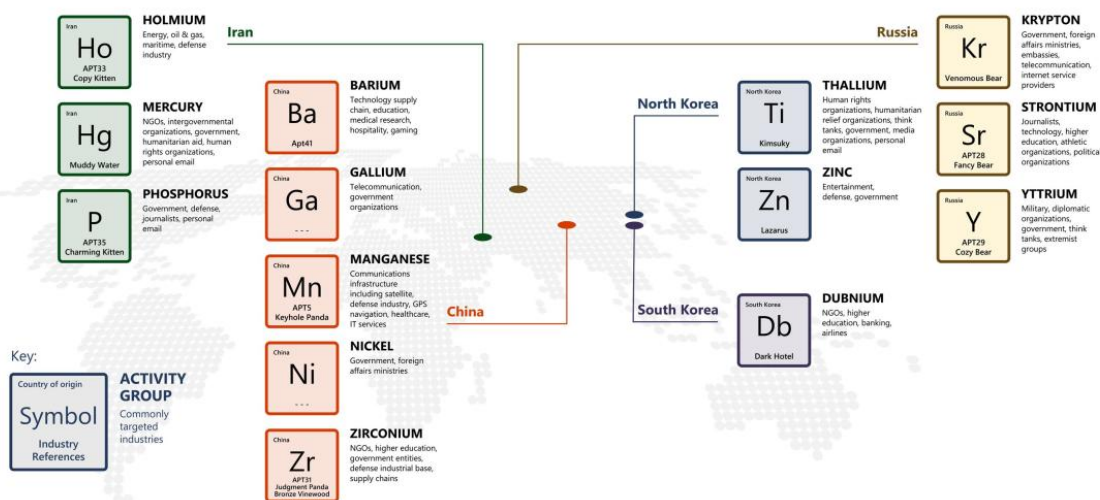


Рис. 1 – География угроз.

Основные текущие события обычно становятся мишенью для атак государственных субъектов, такие как, выборы, Олимпийские игры. В последнее время несколько субъектов национальных государственных групп

воспользовались глобальной пандемией COVID-19 для создания фишинговых сайтов с целью кражи учетных данных и развертывания вредоносных программ.

Когда Мир готовился к Олимпийским играм 2020 года, не менее 16 национальных и международных спортивных и антидопинговых организаций на трех континентах подверглись атакам. Атаки начались 16 сентября 2019 г., после появления новостей о новых потенциальных действиях, которые собирается предпринять Всемирное антидопинговое агентство.

При вспышке COVID-19 16 различных национальных государственных субъектов избрали своей целью клиентов, вовлеченных в глобальные Меры реагирования на пандемию. Они использовали кризис в тематических приманках, чтобы расширить масштабы кражи учетных данных и расширить масштабы внедрения вредоносных программ.

Литература:

1. Microsoft\_Digital\_Defense\_Report\_2020\_September

*С.В. Болотов, к.т.н., доц.; К.В. Захарченков, к.т.н.; Е.В. Макаров, магистрант  
(Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь);  
В.А. Фурманов, инженер-программист (ООО «Годел технолоджис»)*

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ WELDINGCONTROL**

В рамках концепции четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» все более актуальным становится решение задач, связанных с созданием новых информационных технологий, обеспечивающих автоматизацию управления, в т.ч. контроля, технологических процессов и производств. Основой эффективного управления и контроля являются интеллектуальные алгоритмы, обеспечивающие автоматизацию функций управления и контроля.

Одним из современных направлений развития машиностроительных производств является автоматизация контроля параметров сварочных процессов. Актуальность данной задачи является существенное влияние человеческого фактора на качество сварочных работ в процессе сварки [1]. Особую актуальность решение данной задачи приобретает при выполнении сварочных работ на объектах повышенной опасности (на объектах и предприятиях теплоэнергетического и нефтегазового комплекса). При отсутствии эффективной системы контроля сварочных процессов имеют место отклонения параметров сварочных процессов (силы тока, напряжения на дуге, температуры наружного воздуха и межслойной температуры).

Интеллектуальная система WeldingControl [2], реализованная для повышения эффективности контроля сварочных работ, содержит аппаратную и программную часть. Аппаратная часть системы включает регистратор сварочных процессов, блок датчиков и пульт сварщика [2,3]. Программная часть системы содержит модуль обработки данных с регистраторов, модуль обработки

данных о сотрудниках, модуль обработки данных о технологических процессах, модуль интеллектуального контроля сварочных работ [2, 4].

Для реализации технологии повышения эффективности контроля сварочных процессов в интеллектуальную систему WeldingControl предварительно должны быть внесены следующие данные:

1) Сведения о сотрудниках: о руководителях сварочных работ, сварщиках, техническом надзоре. С учетом того, что сварщики должны периодически проходить аттестацию, для выполнения работ у сварщика должно быть действующее (не просроченное) удостоверение. Сварщик может выполнять только те работы, на которые действует область распространения его квалификации.

2) Сведения о технологических инструкциях. Параметры сварочных процессов определяются на основании технологических инструкций. Нарушение технологических инструкций приводит к ухудшению качества сварочных работ и, как следствие, необходимости проведения работ по устранению брака, вплоть до вырезки и повторной сварки стыка.

3) Сведения о сварочном оборудовании. Каждая единица сварочного оборудования имеет в системе уникальный идентификатор, который прошивается в RFID чипе, используемом для идентификации соответствующей единицы оборудования при проведении сварочных работ. Оборудование закрепляется за руководителем сварочных работ.

Технология повышения эффективности контроля сварочных процессов в интеллектуальной системе WeldingControl включает следующие основные этапы:

Этап 1. Ввод руководителем сварочных работ заданий на выполнение сварки в интеллектуальную систему WeldingControl. После регистрации в системе руководитель сварочных работ получает возможность ввода заданий для сварщиков.

Этап 2. Подготовка к выполнению задания. Данный этап включает следующие шаги:

Шаг 2.1. Идентификация сварщика. У каждого сварщика имеется удостоверение, содержащее прошитый в нем уникальный идентификатор. При идентификации сварщика интеллектуальная система автоматически определяет перечень работ, которые может выполнять сварщик.

Шаг 2.2. Выбор сварщиком задания на выполнение сварочных работ из списка заданий, введенных руководителем сварочных работ. При идентификации сварщика интеллектуальная система выполняет выборку заданий, выданных руководителем сварочных работ сварщику. Выбранные задания передаются на регистратор в виде списка, из которого сварщик выбирает задание, которое он будет выполнять.

Шаг 2.3. Прогрев металла в месте сварного соединения до температуры, необходимой для выполнения сварочных работ. На основании информации, поступившей с датчиков температуры, определяется соответствие температуры наружного воздуха и межслойной температуры требованиям технологической



инструкции на выполнение соответствующего сварочного процесса. Если температура наружного воздуха или межслойная температура не соответствует технологической инструкции, процесс сварки не запускается, на регистраторе и на пульте сварщика появляется соответствующее сообщение.

Этап 3. Регистрация параметров процесса при выполнении сварочных работ. Данный этап включает следующие шаги:

Шаг 3.1. Выставление на сварочном аппарате значений силы тока и напряжения на дуге, соответствующих технологической инструкции (диапазоны рекомендуемых значений отображаются на регистраторе).

Шаг 3.2. Запуск процесса регистрации. Перед началом сварочных работ сварщик нажимает на пульте кнопку, запускающую процедуру получения данных о сварочном процессе с датчиков и передачи их на сервер.

Шаг 3.3. Регистрация параметров сварочного процесса при выполнении работ. В процессе выполнения сварки шва данные с блока датчиков сравниваются с параметрами технологического процесса, записанными в регистраторе в соответствии с технологической инструкцией. При отклонении значений силы тока или напряжения на дуге от указанных в технологической инструкции, пульт сварщика выдает звуковой сигнал. На этапе переходного процесса в начале и в конце работ по сварке шва (в течение 2-3 секунд) звуковой сигнал не является показателем отклонений параметров технологического процесса от нормы.

Этап 4. Окончание сварки шва. По окончании процесса сварки шва сварщик нажимает на пульте кнопку, подтверждая окончание работы. В результате запускается передача данных на сервер, в процессе которой регистратор выдает звуковой сигнал. Для обмена данными с сервером используется стандарт GSM.

Этап 5. Оценка результатов контроля сварочных работ. По результатам выполнения сварочных работ для каждого шва формируется паспорт, содержащий информацию о параметрах сварочного процесса, соответствии режимов сварки технологической инструкции, графики изменения параметров сварочного процесса. При отклонении хотя бы одного из параметров сварочного процесса от технологической инструкции в течение 5 секунд во время сварки, шов считается не соответствующим требованиям к качеству сварного соединения, и требуется повторная сварка стыка. Кроме того, на данном этапе формируется отчет о работе сварщика и отчет о работе оборудования. В зависимости от отклонений значений параметров процесса сварки от средних значений, указанных в технологической инструкции, и от времени, в течение которого параметры процесса выходили за пределы допустимого диапазона, сварщику выставляется оценка.

Предложенная технология обеспечивает решение актуальной задачи повышения эффективности контроля качества сварочных работ. Автоматическая оценка качества работы сварщиков обеспечивает улучшение мотивации сварщиков к минимизации количества нарушений технологических инструкций в процессе выполнения работ.

#### Литература

1. Фурманов, В.А. Задача автоматизации контроля сварочных работ / В.А. Фурманов, Е. В. Макаров // 56-я студенческая науч.-техн. конф. Белорус.-Рос. ун-та: материалы науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 174.
2. Болотов, С.В. Интеллектуальная система контроля сварочных работ / С.В. Болотов, К.В. Захарченко, В.А. Фурманов, Е. В. Макаров // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов X-й Международной научно-технической конференции (ИММВ-2021, Коломна, 17-20 мая 2021 г.). В 2-х томах. Т2. – Смоленск: Универсум, 2021. – С. 369-379.
3. Болотов, С. В. Разработка блока датчиков сварочного тока и напряжения на дуге / С. В. Болотов, А.В. Янкович, Н.К Бобков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. [Электронный ресурс] / редкол.: М.Е Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С.318.
4. Болотов, С.В. Система автоматизированного контроля работы сварщиков и качества сварочных работ / С.В. Болотов, Е.В. Макаров, В.А. Фурманов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]; Могилев, 22–23 апреля 2021 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2021. – С. 358.

*А.В. Борисов, д.ф.-м.н., доц.*

*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

*И.Е. Каспирович, аспирант*

*(ФГБОУ ВО НИУ Российский университет дружбы народов)*

*Р.Г. Мухарлямов, д.ф.-м.н., проф.*

*(ФГБОУ ВО НИУ Российский университет дружбы народов)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕГОЛОНОМНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ДВУМЯ ПОДВИЖНЫМИ АБСОЛЮТНО ТВЕРДЫМИ ВЕСОМЫМИ ЗВЕНЬЯМИ<sup>2</sup>**

Моделирование движения многозвенных пространственных механизмов с наложенными неголономными связями является важной фундаментальной задачей, выделенной в специальный раздел механики и имеющей много практических приложений, что определяет актуальность темы исследования.

Данному направлению исследований посвящено большое количество публикаций. В статье [1] исследуется устойчивость и стабилизация стационарных движений неголономных механических систем, в частности вопрос о распространении подхода к решению задач стабилизации голономных систем на неголономные системы. Приводятся примеры использования описанных теоретических результатов. Имеется обширный список публикаций по данной проблеме. В книге [2] рассматривается несколько классических и современных задач неголономной механики, связанных с качением твердых тел. Проводится качественный и численный анализ, исследуются вопросы интегрируемости. Вопросы управления и стабилизации движений механических систем рассматриваются в работах Мухарлямова Р.Г. [3-4], Каспировича И.Е. [5].

Неголономные системы являются моделями большого количества природных и технических систем. Динамика неголономных систем описывается уравнениями Лагранжа с неопределенными множителями или имеют специфическую структуру, определяемую методом построения. Для описания движений слаломиста по наклонной плоскости используется метод Чаплыгина.

<sup>2</sup> Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-08-00261 А.

Строится полная система дифференциальных уравнений, соответствующих модели, представленной двумя подвижными звеньями. Для обеспечения необходимой точности движения центра нулевого звена, соответствующего лыжам, по заданной траектории на наклонной плоскости, используется метод стабилизации связей [3-5].

**1. Описание модели.** Система (рис. 1) представляет собой конструкцию, которая состоит из нулевого звена-основания, моделирующего движение стопы жестко скрепленной с лыжей, и шарнирно закрепленного на нем звена, моделирующего корпус-балансир человека. Сферический шарнир позволяет воздействовать управляющими моментами  $M_{1\varphi}$  и  $M_{1\psi}$  в двух взаимно ортогональных плоскостях  $xOy$  и  $xOz$  соответственно (рис. 1). Положение основания задается координатами центра ее масс  $x, y$  и углом  $\varphi_0$  между продольной осью основания с  $Ox$ . Ориентация звена, соответствующего корпусу слаломиста, определяется углом  $\psi_1$  между звеном и его проекцией на наклонную плоскость  $xOy$  и углом  $\varphi_1$  между проекцией и осью  $Ox$ .

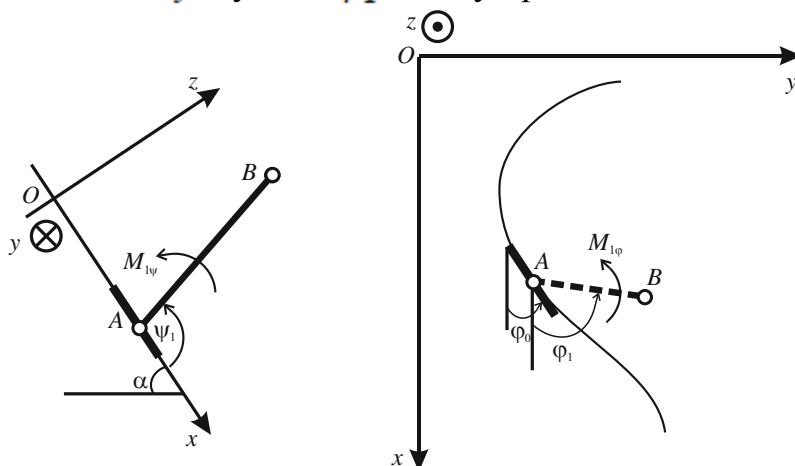


Рис. 1. Схематическое изображение модели

Представленная модель имеет пять степеней свободы, соответствующих параметрам, однозначно определяющим ее положение в пространственной системе координат  $Oxyz$ . Плоскость движения  $xOy$  составляет с горизонтом постоянный угол  $\alpha$ . Тогда на механизм в плоскости движения действует составляющая ускорения свободного падения  $g_1 = g \sin \alpha$ .

**2. Постановка задачи.** Рассматривается задача управления динамикой слаломиста, обеспечивающего устойчивое движение центра лыж по заданной траектории на наклонной плоскости. Перемещение центра происходит за счет управляющих моментов, составляющей силы тяжести и силы реакции связи. Связь между наклонной плоскостью и поверхностью контакта лыжи является неголономной и описывается уравнением:  $\dot{x}tg\varphi_0 - \dot{y} = 0$ . В системе действуют два управляющих момента, приложенных в точке A.  $M_{1\psi}$  обеспечивает поддержание позы ноги в вертикальной плоскости,  $M_{1\varphi}$  – повороты ноги относительно лыжи в плоскости движения  $xOy$ . Задача заключается в синтезе управляющих моментов, обеспечивающих устойчивое движение сноубордиста по заранее за-

данной траектории при наличии неголономной связи и обеспечение стабилизации связи.

**3. Построение уравнений динамики системы.** Если движение системы осуществляется по траектории, лежащей на наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha$ , то функция Лагранжа имеет

$$L = \frac{I_0}{2} \dot{\varphi}_0^2 + \frac{I_1}{2} (\cos^2 \psi_1 \dot{\varphi}_1^2 + \dot{\psi}_1^2) + m_0 (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + m_1 (\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 + \dot{z}_1^2) + (m_0 + m_1) g x_0 \sin \alpha,$$

где  $I_i$  – моменты инерции звеньев относительно оси вращения,  $m_i$  – массы,  $i = 0, 1$ ,  $g$  – ускорение свободного падения. Переменные  $(x_1, y_1, z_1)$  задают положение центра масс звена и определяются через угловые переменные:

$$\begin{aligned} x_1 &= x + l_1 n_1 \cos \psi_1 \cos \varphi_1; \\ y_1 &= y + l_1 n_1 \cos \psi_1 \sin \varphi_1; \\ z_1 &= l_1 n_1 \sin \psi_1, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $l_1$  – длина звена,  $n_1$  – параметр, задающий центр масс звена, при однородном распределении масс он равен  $1/2$ .

Перемещение нулевого звена по плоскости моделируется с учетом неголономной связи  $\dot{y}_0 = \tan \varphi_0 \dot{x}_0$ . Функция Лагранжа и уравнение связи не содержат явно переменной  $y_0$ , поэтому при построении уравнений движения можно применить метод Чаплыгина:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial L^*}{\partial \dot{x}_0} - \frac{\partial L^*}{\partial x_0} - \left( \frac{\partial L^*}{\partial \dot{y}_0} \right)^* \frac{\dot{\varphi}_0}{\cos^2 \varphi_0} &= 0, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial L^*}{\partial \dot{\varphi}_0} - \frac{\partial L^*}{\partial \varphi_0} + \left( \frac{\partial L^*}{\partial \dot{y}_0} \right)^* \frac{\dot{x}_0}{\cos^2 \varphi_0} &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где звездочка означает операцию замены скорости  $\dot{y}_0$  согласно выражению неголономной связи.

Пусть траектория системы на наклонной плоскости задается голономной связью  $f(x_0) = y_0$ . Поскольку, применяя метод Чаплыгина, включить переменную  $y_0$  в уравнение связи при непосредственном значении уравнений невозможно, то голономную связь можно переопределить, используя неголономную связь  $\dot{y}_0 = \tan \varphi_0 \dot{x}_0$ . Тогда уравнение траектории запишется в виде:

$$\tan \varphi_0 = \frac{df}{dx_0} \quad (3)$$

Учет уравнения связи (3) приводит к изменению системы уравнений (2). В правых частях уравнений появляются силы реакции связи, определяемые через произвольный множитель Лагранжа  $\lambda$ :

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial L^*}{\partial \dot{x}_0} - \frac{\partial L^*}{\partial x_0} - \left( \frac{\partial L^*}{\partial \dot{y}_0} \right)^* \frac{\dot{\varphi}_0}{\cos^2 \varphi_0} &= -\lambda \frac{d^2 f}{dx_0^2}, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial L^*}{\partial \dot{\varphi}_0} - \frac{\partial L^*}{\partial \varphi_0} + \left( \frac{\partial L^*}{\partial \dot{y}_0} \right)^* \frac{\dot{x}_0}{\cos^2 \varphi_0} &= \frac{\lambda}{\cos^2 \varphi_0}. \end{aligned} \quad (4)$$

Систему уравнений (4) и вторую производную по времени от уравнения связи (3) можно рассматривать как систему дифференциально-алгебраических уравнений относительно ускорений  $\ddot{x}_0, \ddot{y}_0$  и множителя  $\lambda$ . Разрешая полученную систему, можно однозначно определить множитель  $\lambda$  как функцию обобщенных координат и скоростей.

**4. Управление и стабилизация связи.** Численное решение системы уравнений (3),(4) не всегда может привести к удовлетворительному результату. Накопление ошибок на каждом шаге численного интегрирования является причиной возрастающих с каждым шагом значений отклонений точек численного решения от уравнения связи, что представляет собой неустойчивость данного решения. Для ограничения подобного рода накоплений применяется метод стабилизации связей, согласно которому при разрешении произвольных множителей вторая производная от голономной связи приравнивается к произвольной однородной функции по связи и ее первой производной. Правильной подбор этой функции обеспечивает устойчивое численное решение относительно уравнения связи.

В простейшем случае функция, задающая стабилизацию связи, выбирается в виде линейной формы:

$$\frac{\dot{\varphi}_0}{\cos^2 \varphi_0} - \frac{d^2 f}{dx_0^2} \ddot{x}_0 + \frac{2\dot{\varphi}_0^2 \tan \varphi_0}{\cos^2 \varphi_0} - \frac{d^3 f}{dx_0^3} \dot{x}_0^2 = k_1 \left( \tan \varphi_0 - \frac{df}{dx_0} \right) + k_2 \left( \frac{\dot{\varphi}_0}{\cos^2 \varphi_0} - \frac{d^2 f}{dx_0^2} \dot{x}_0 \right), (5)$$

где коэффициенты  $k_1, k_2 \in R$  линейной формы носят названия параметров возмущения.

Задача стабилизации состоит в нахождении диапазона значений параметров возмущений так, чтобы численное интегрирование обеспечивало необходимое ограниченное величины отклонений от уравнения связи на заданном интервале времени.

Полученное численное решение методом стабилизации связей для угловых переменных  $\psi_1, \varphi_1$  не всегда может соответствовать естественной физической природе спуска по конкретной траектории. Например, очевидно, что значение угла  $\psi_1$  не может превышать  $\pi$ , так как это означало бы проваливание звена под плоскость, что является невозможным при реальном спуске. Поэтому для задания безопасного диапазона значений угловых переменных звена необходимо использовать управляющие моменты, действующие в шарнире. Тогда дополненная система уравнений для звена будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial L^*}{\partial \dot{\psi}_1} - \frac{\partial L^*}{\partial \psi_1} - M_{1\psi} &= 0, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial L^*}{\partial \dot{\varphi}_1} - \frac{\partial L^*}{\partial \varphi_1} - M_{1\varphi} &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Уравнения (4), (5), (6) представляет собой полную систему дифференциальных уравнений, описывающих движение системы с двумя подвижными звеньями по заданной траектории на наклонной плоскости.

**5. Пример.** В качестве примера траектории рассматривается траектория вида слалома (рис. 2).

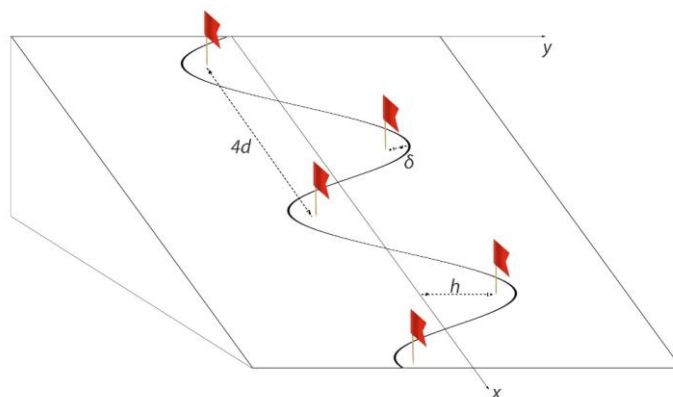


Рис. 2. Траектория движения слаломиста

Траектория слаломиста аппроксимируется синусоидой  $y_0 = (h + \delta) \sin kx_0$ , где  $k = \pi/2d$ ,  $4d$  – расстояние между флажками,  $\delta$  – минимальное расстояние между флажком и нулевым звеном при обходе. Для применения метода Чаплыгина в данном уравнении связи нужно избавиться от переменной  $y_0$ , для этого необходимо связь переписать в виде (3):

$$\tan \varphi_0 = k(h + \delta) \cos kx_0. \quad (7)$$

**Заключение.** В результате моделирования движения пространственного механизма с двумя подвижными звеньями и наложенной неголономной связью решена задача, синтеза управляющих моментов и стабилизации связи, обеспечивающих устойчивое целенаправленное движение.

#### Литература

1. Неголономные механические системы и стабилизация движения. / В. И. Калёнова, А. В. Карапетян, В. М. Морозов, М. А. Салмина // *Фундаментальная и прикладная математика*. – 2005. – Т. 11. – № 7. – С. 117-158.
2. Борисов А. В., Мамаев И. С., Килин А. А. *Избранные задачи неголономной механики*. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. – 289 стр.
3. Мухарлямов Р. Г. Моделирование процессов управления, устойчивость и стабилизация систем с программными связями // *Известия РАН. Теория и системы управления*. – 2015. – № 1. – С. 15-28.
4. Мухарлямов Р. Г. Управление динамикой системы с дифференциальными связями // *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*, 2019, 4, С. 16-28.
5. Kaspirovich I. E. Application of Constraint Stabilization to Nonholonomic mechanics // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Year: 2016. DOI 10.1109/ICIEAM.2016.7910921. IEEE Conference Publications.

*А.А. Вителюева, студ.; А.А. Тютюнник, к.э.н., доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **АНАЛИЗ ЗАЩИЩЁННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ЕДИНИЦЫ ПРИ ПОМОЩИ ОТКРЫ- ТО-ЛИЦЕНЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ**

На данный момент сфера информационной безопасности (ИБ) занимает одно из приоритетных направлений в сфере информационных технологий. Сфера ИБ по большей части осуществляет поиск и эксплуатацию уязвимостей с последующим устранением критических недостатков [1]. Одной из таких систем является информационная система – данную систему возможно проверить со стороны обеспечения безопасности с использованием информации из открытого доступа. На основе вышесказанного, представляется возможным выделить не-

которые аспекты, которые планируется решить в результате исследования данного вопроса.

- планируется выявить актуальный перечень интернет-ресурсов, позволяющий исследовать сегмент сети при помощи различных протоколов;
- выполнить разработку алгоритмической составляющей для анализа целевой организации;
- выполнить разработку методических указаний по реализации системы анализа защищённости организаций.

Первый этап построения рассматриваемой системы обособлен рассмотрением методологии OSNIT (Open-Source intelligence) – сферы деятельности по поиску и анализу общедоступной информации [2 – 3]. Среди наиболее популярных инструментов выделяются следующие:

1. Shodan – сервис по поиску доступных в глобальной сети сегментов сети с последующей фильтрацией и анализом доступных средств пост-эксплуатации уязвимостей.

2. Google Dorks – сервис типа запрос-ответ с открытым исходным кодом, направленный на решение задач анализа информации по аналогии с сервисом Shodan.

3. Maltego – интегрированный в системы исследования безопасности инструментарий построения цифрового отпечатка для определённого сервиса / системы в сегменте сети. К основным достопримечательностям относится возможность идентификации сетевых блоков, номера AS.

4. TheHarvester – инструментарий анализа веб-сервисов – возможных суб-доменов, адресов эл. Почты, IP-сегмента.

5. Recon-Ng – инструментарий для проведения анализа при помощи модульного подхода. Включается возможность получения информации от соответствующего модуля.

6. SpiderFoot. инструмент разведки.

7. Creeper – инструментарий проведения разведки при помощи получения данных из соц. сетей, а также из файловых серверов картинок. Итоговым отчётом является карта запроса.

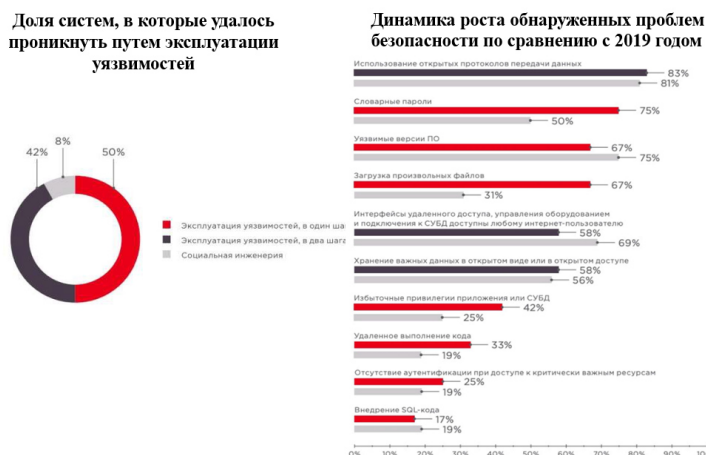


Рисунок 1 – Анализ отчёта Positive Technologies



Прежде всего, для работы модуля OSINT требуется выполнить ряд задач, которые включают сбор всей информации, распространяющейся по открытой лицензии, начиная от конфиденциальных данных до корпоративных адресов почты. В связи с этим, на начальном этапе необходимо определить, какой информации нахватает для полноты, и какой инструментарий OSINT позволит эффективно решить эту проблему. Затем необходимо настроить поисковый запрос с последующим анализом данных. Помимо прочего, может потребоваться повторный поиск для отсеивания недостоверных результатов.

В связи с вышесказанным представляется возможным определить основную цель OSINT – минимизация риска проникновения в корпоративную сеть за счёт исследования внешней (глобальной) составляющей организации, то есть так, как её видит обычный пользователь.

Согласно инфографике, представленной ниже, можно сказать, сфера тестирования на проникновение позволяет выявить угрозы безопасности через различные сетевые сервисы (рисунок 1). Согласно отчёту анализа защищённости от Positive Technologies, можно сказать, что целенаправленная много-векторная атака в более 90% случае позволяет получить доступ к конфиденциальной информации.

С учётом поставленной, выше задачи, была выполнена разработка автоматизированного средства сбора и анализа данных о защищённости информационной системы из открытых источников. В данную системы были интегрированы следующие суб-модули:

1. Модуль обработки открыто-лицензированной информации при помощи запросов к различным интернет-ресурсам.
2. Модуль агрегации полученной информации с целью последующего анализа.

Как можно увидеть из рисунков 2 – 3, модули реализуемой платформы были разбиты на несколько нижеперечисленных составляющих.

- 1) инициализация ключей для различных ресурсов (строка 7);
- 2) агрегация данных (строка 11).
- 3) сохранение промежуточных данных в JSON-файл (строка 15-33).

```
(1) class Aggregator(object):
(2)     def __init__(self, aggregator_name, output_filename, parameters_dict):
(3)         self.aggregator_name = aggregator_name
(4)         self.output_filename = output_filename
(5)         self.parameters_dict = self.init(parameters_dict)
(6)
(7)     def init(self, parameters_dict):
(8)
(9)         return False
(10)
(11)     def aggregate(self, query):
(12)
(13)         return False
(14)
(15)     def save_intermediate_data_to_file(self, outputfile_object, data_dict):
(16)
(17)         intermediate_dict = {}
(18)         try:
(19)             if outputfile_object and data_dict:
(20)                 intermediate_dict['source'] = self.aggregator_name
```

Рисунок 2 – Программная реализация модулей 1 – 2



```

(21)         intermediate_dict['timestamp'] =
            str(datetime.datetime.now().isoformat('T'))
(22)         query = data_dict.get('query')
(23)         if query:
(24)             intermediate_dict['query'] = query
(25)         data = data_dict.get('data')
(26)         if data:
(27)             intermediate_dict['data'] = data
(28)         json.dump(intermediate_dict, outputfile_object, en-
            sure_ascii=False)
(29)         outputfile_object.write("\n")
(30)         return "ok"
(31)     except Exception as ex:
(32)         write_log("save_intermediate_data_to_file", ex, "exception")
(33)         return False

```

Рисунок 3 – Программная реализация модуля 3

Ввиду того, что некоторые интернет-ресурсы предоставляют поисковые данные в стандартизированном формате, вследствие чего можно использовать API интерфейс посредством инициализации работы системы (идентификация API-ключа) и выполнения соответствующего запроса [4]. Результатом данной функции является JSON-файл, содержащий поля тестируемой системы для последующего анализа защищённости.

Таким образом, разработка данной системы позволила существенно повысить безопасность исследуемых систем за счёт формирования отчёта о наличии угроз в тестируемой системе.

#### Литература

1. Ekaterina Lobaneva, Alexey Lazarev. Access control system with integrated process of two-factor authentication based on neuro-fuzzy networks // Russian Advances in Fuzzy Systems and Soft Computing: Selected Contributions to the 8th International Conference on «Fuzzy Systems, Soft Computing and Intelligent Technologies (FSSCIT 2020)». Smolensk, Russia, June 29 - July 1, 2020. P.163-171.
2. Picolet J. Operator Handbook: Red Team + OSINT + Blue Team Reference. Traverse City, Michigan: Independently published, 2020.
3. Bazzel M. Open Source Intelligence Techniques: Resources for Searching and Analyzing Online Information. Traverse City, Michigan: Independently published, 2021.
4. API Documentation // Shodan Developer [Электронный ресурс], URL: <https://developer.shodan.io/api> (дата обращения: 25.09.2021).

*А.А. Вителюева, студ.; А.А. Тютюнник, к.э.н., доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПРИКЛАДНЫЕ СРЕДСТВА АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ИНТЕРНЕТ-СРЕДЕ**

Существующее развитие средств коммуникации и взаимодействия людей через интернет-среду напрямую затрагивает сферу обеспечения безопасности при обработке и передаче конфиденциальной информации. Такими средствами могут выступать как программы для шифрования данных, так и для передачи посредством защищённых каналов. Помимо прочего, сфера информационной безопасности (ИБ) также играет важную роль при обработке экономических показателей ввиду того факта, что программное обеспечение может осуществлять взаимодействие с организациями большой численности [1].

Прежде всего, на первом этапе исследования уязвимостей ИБ выполняется анализ защищённости на предмет доступных уязвимостей в программной и аппаратной платформе. Для анализа на сегодняшний день существует масса средств, которые осуществляют анализ по IP-адресу. Рассмотрим некоторые из

них – Shodan – это поисковая система, направленная на идентификацию устройств в сети Интернет (рисунок 1) [2]. Рассматриваемыми устройствами могут выступать серверы, веб-камеры, маршрутизаторы. Работа данного сервиса основана на анализе открытых портов на исследуемом IP-адресе, например: веб-сервер, использующий порты 80, 443; почтовый сервер (143 порт).

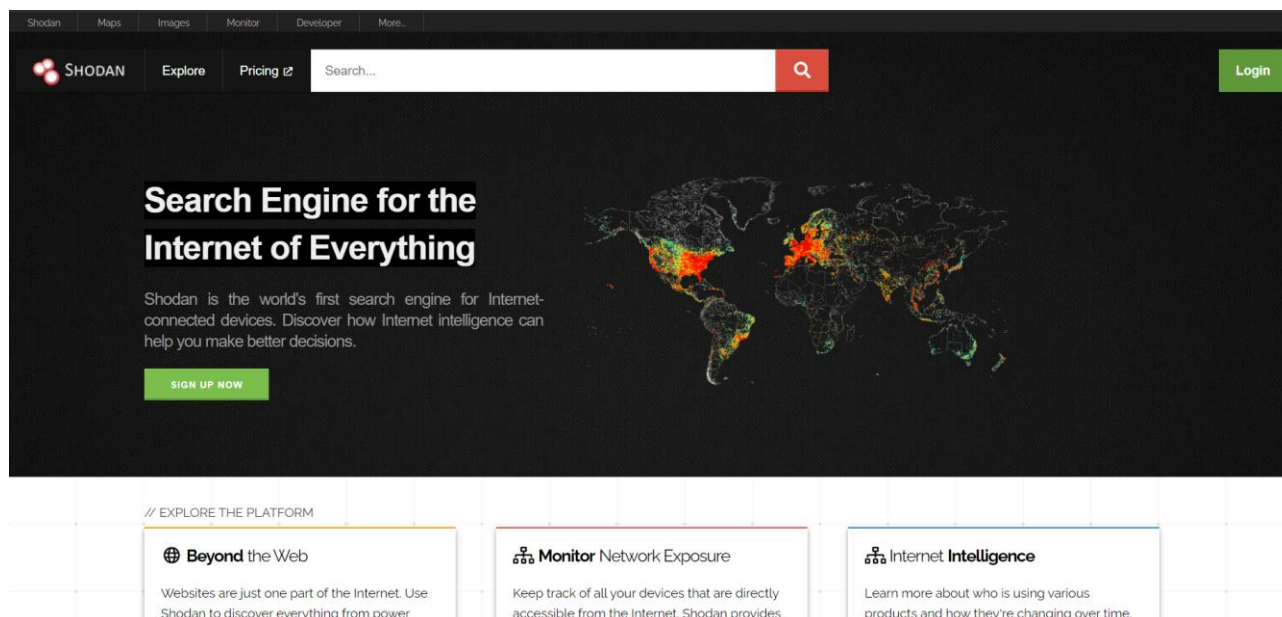


Рисунок 1 – Веб-ресурс Shodan

Основное взаимодействие с рассматриваемой системой осуществляется при помощи Shodan API (Application Programming Interface) [2]. Как можно увидеть из рисунка 2, библиотека shodan позволяет получать ряд данных об исследуемом адресе для выполнения последующего анализа защищённости.

```
IP: .127.62
HTTP/1.1 200 OK
Date: Wed, 08 Nov 2017 00:40:06 GMT
Server: Apache/2.4.27 (Ubuntu)
Last-Modified: Tue, 05 Sep 2017 11:51:17 GMT
ETag: "2aa6-5586fd85511eb"
Accept-Ranges: bytes
Content-Length: 10918
Vary: Accept-Encoding
Content-Type: text/html
```

Рисунок 2 – Пример использования Shodan API на базе языка Python

Следующим примером исследования безопасности выделяется ресурс hunter, который позволяет осуществлять поиск соответствующей почты по запросу (рисунок 3). Например, на иллюстрации ниже продемонстрирована страница поиска через веб-интерфейс, однако также возможен и поиск через API.

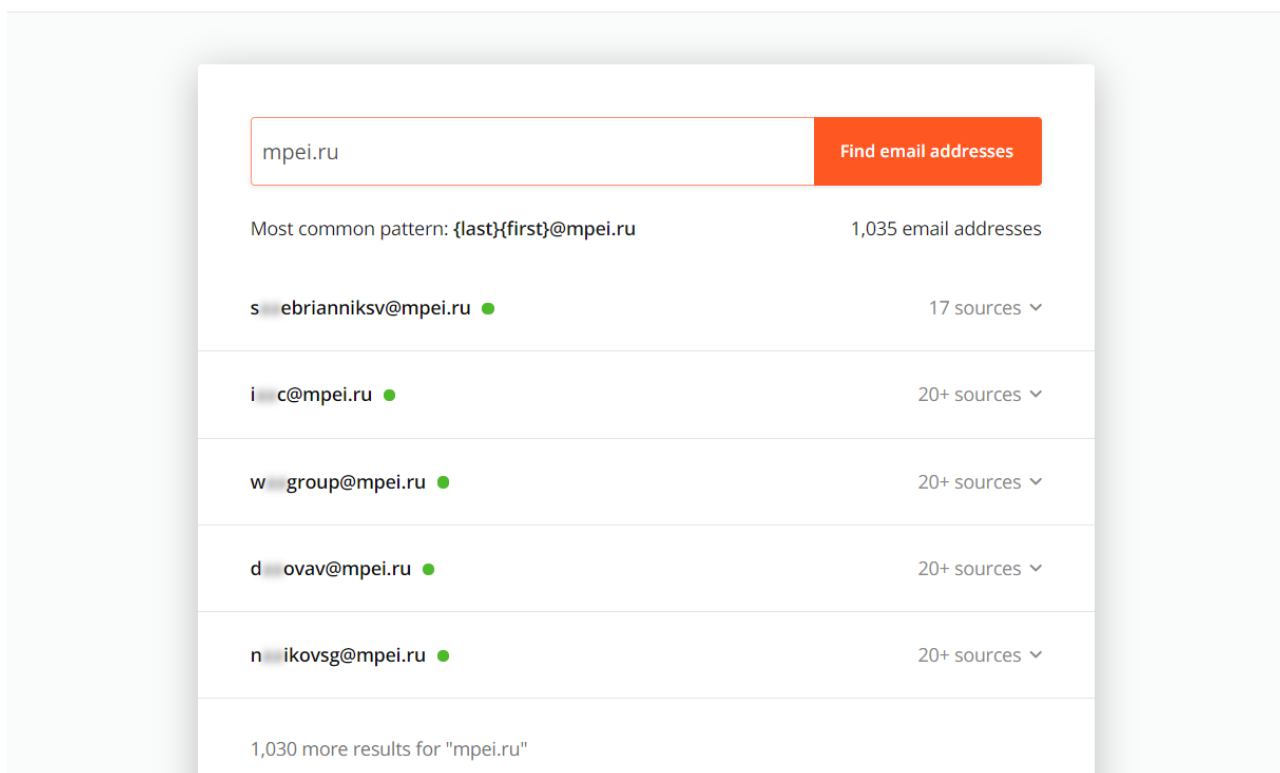


Рисунок 3 – Пример поиска учётных записей «mpei.ru»

На первый взгляд, данный инструмент может показаться бесполезным, однако последующее использование ресурса проверки адреса электронной почты в утечках баз данных (БД) позволяет получить актуальную информацию о наличии конфиденциальных данных для входа в свободном доступе.

Согласно таблице зависимостей атак от отрасли организации, представленной на рисунке 4, можно сказать, что приоритетные значения по атакам распределяются на государственные учреждения. Помимо прочего, в данный список включаются как финансовые, так и медицинские организации.

Как вследствие можно сказать, что вышеприведённый анализ позволил выполнить разработку рекомендаций по построению процесса защиты данных для государственных учреждений:

1. Идентификация возможных уязвимостей в программных и аппаратных платформах с последующим устранением найденных угроз.

2. Поиск и обновление системного и прикладного программного обеспечения, включая средства обнаружения уязвимостей.

3. Обеспечение контроля, в частности – корректного функционирования прикладного программного обеспечения, связанного со средствами обеспечения ИБ.

4. Обеспечение технического оснащения программных и аппаратных средств обеспечения ИБ.

5. Обеспечение безопасности в рамках системы управления учётными записями пользователей, а также реализация суб-модулей контроля уровня доступа в целевой системе.



Рисунок 4 – Таблица зависимостей количества атак от отрасли организаций

Таким образом, анализ прикладных средств исследования ИБ позволил выявить основные факторы анализа уязвимостей, предшествующие тестированию на проникновение.

#### Литература

1. A. V. Vinogradova, A. I. Lazarev and P. S. Kharlamov, «Software for data analysis and prediction of bankruptcy of organizations in the fuel and energy complex,» 2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russia, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/REEPE51337.2021.9388039.
2. API Documentation // Shodan Developer [Электронный ресурс], URL: <https://developer.shodan.io/api> (дата обращения: 25.09.2021).
3. Hunter API – Overview // Email Hunter [Электронный ресурс], URL: <https://hunter.io/api> (дата обращения: 25.09.2021).

*В.Н. Денисов, д.т.н., профессор. С.П. Курилин д.т.н. профессор  
(филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## МОДЕЛЬ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ

В технике имеется большое число задач где применяются линейные асинхронные двигатели (ЛАД) с индуктором и вторичным элементом (ВЭ) при математическом моделировании которых обычно используют математическую модель с бесконечно длинными индуктором и вторичным элементами. Необходимость использования модели, учитывающей конечные размеры этих элементов, диктуется конструктивным исполнением ЛАД. Помимо учета конечности геометрических размеров индуктора и ВЭ требуется учитывать переменность характеристик объекта по длине, наличие управления полем для компенсации краевых эффектов, потребность представления тока индуктора в

виде набора дискретно расположенных проводников, существование ЛАД с разрывным вторичным элементом [1, 2, 3].

Для решения сформулированных выше задач воспользуемся математической моделью главного магнитного поля ЛАД с переменными коэффициентами в виде линейного дифференциального уравнения с нулевыми краевыми условиями на границе области затухания электромагнитного поля:

$$\begin{cases} A_{xx} - \beta^2 A - \mu(x) \cdot \sigma(x) \frac{1}{k_1} j \omega A - \mu(x) \cdot \sigma(x) \cdot \vartheta \cdot \frac{k_2}{k_1} \cdot A_x = -\frac{\mu(x)}{\delta} \cdot j_1, \\ A(0) = 0, \quad A(1 + 2\varepsilon) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – длина зоны затухания электромагнитного поля,  $A(x)$  – искомая функция векторного магнитного потенциала (ВМП),  $\omega$  – частота возбуждающего тока,  $j_1(x) = J_0 e^{-j2p\pi x}$ ,  $J_0/\delta$  – амплитуда тока индуктора в о.е.,  $p$  – число пар полюсов ЛАД,  $\beta^2, \mu(x), \sigma(x)$  – функции, учитывающие размеры индуктора, ВЭ и их взаимное расположение,  $k_1, k_2$  – коэффициенты подобия,  $\vartheta$  – скорость ВЭ в о.е.

При построении приближенного аналитического решения поставленной задачи применим метод Бубнова-Галеркина [4]. Решение будем искать в виде разложения по функциям, удовлетворяющим поставленным в (1) краевым условиям:

$$\tilde{A}(x) = \sum_{n=1}^N a_n \cdot \sin\left(\frac{n\pi x}{(1+2\varepsilon)}\right). \quad (2)$$

Рассматриваемое приближенное решение (2) удовлетворяет краевым условиям в (1), но дифференциальному уравнению в общем случае – не удовлетворяет.

Формируя функцию невязки решения [4] в виде:

$$nv(x) = \tilde{A}_{xx} - \beta^2 \tilde{A} - \mu(x) \cdot \sigma(x) \frac{1}{k_1} j \omega \tilde{A} - \mu(x) \cdot \sigma(x) \cdot \vartheta \cdot \frac{k_2}{k_1} \cdot \tilde{A}_x + \frac{\mu(x)}{\delta} \cdot j_1, \quad (3)$$

получим функцию с неизвестными коэффициентами  $a_n$ . Коэффициенты разложения  $a_n$  отыщем из решения системы линейных алгебраических уравнений:

$$\left( nv(x), \sin\left(\frac{n\pi x}{(1+2\varepsilon)}\right) \right) = 0, n = 1, 2, \dots, N,$$

где принято, что  $(u, v) = \int_0^{1+2\varepsilon} u \cdot v \, dx$  представляет собой скалярное произведение функций на отрезке  $[0, 1 + 2\varepsilon]$ .

Моделирование ЛАД с коротким ВЭ проводилось по выражениям (2), (3) для значений  $\varepsilon = 0,01$ ,  $N = 22$ ,  $\beta^2 = 0,648$ ,  
 $\mu(x) \cdot \sigma(x) \frac{1}{k_1} \omega = 328,57 \cdot (H(x - x_n) - H(x - x_{п}))$ ,  
 $\mu(x) \cdot \sigma(x) \cdot \vartheta \cdot \frac{k_2}{k_1} = 17,32 \cdot \vartheta \cdot (H(x - x_n) - H(x - x_{п}))$ ,  
 $\frac{\mu(x)}{\delta} \cdot j_1 = 144 \cdot e^{-i6\pi(x-0,1)} \cdot (H(x - 0,01) - H(x - 1,01))$ . При этом принято,



что  $H(x)$  - функция Хевисайда,  $x_n, x_m$  - координаты индуктора. Рассматривался шести-полюсный ЛАД. ВЭ располагался в центре индуктора.

Результаты математического моделирования ВМП приведены на рисунке 1 для различных значений безразмерной скорости  $v$  вторичного элемента. Длина ВЭ равна 0,5 о.е., ВМП рассчитывался при нахождении ВЭ в центре индуктора.

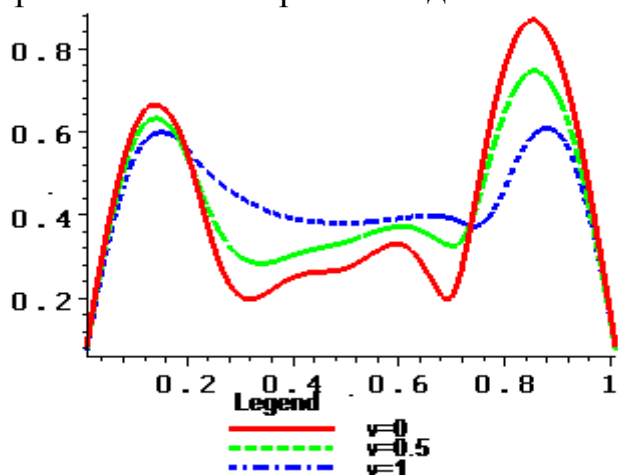


Рисунок 1. Распределение огибающей ВМП по длине ЛАД при разных скоростях ВЭ

В зоне ВЭ огибающая ВМП, как и в случае бесконечно длинных индуктора и ВЭ, с ростом скорости имеет рост амплитудных значений, а в зоне отсутствия ВЭ картина огибающей противоположная. Этот факт отражает «тормозной эффект» в ЛАД с коротким ВЭ из-за возникновения пульсирующего поля, представленного графиками действительной части ВМП в разные моменты времени при  $v=0.5$  на рисунке 2.

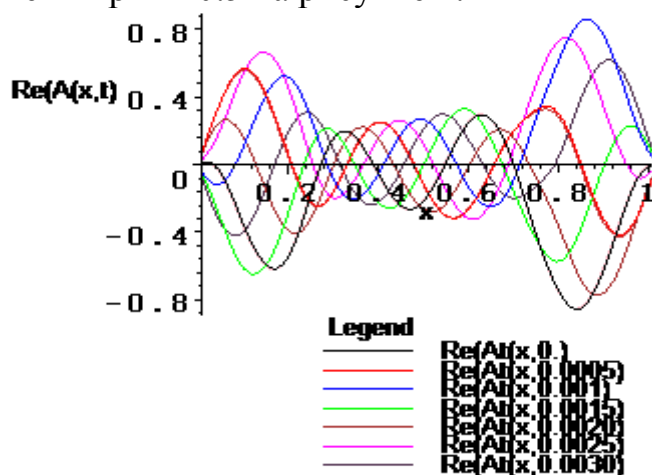


Рисунок 2. Графики ВМП в разные моменты времени

Обратная составляющая пульсирующего поля создает паразитные тормозные силы, при этом возникает неравномерное распределение тока в фазах обмотки статора, искажение распределения магнитного поля в воздушном зазоре и, как следствие, дополнительные потери мощности. Относительная

погрешность найденного решения, приведенная на рисунке 3, в целом не превышает 20%, что говорит о достоверности результатов.

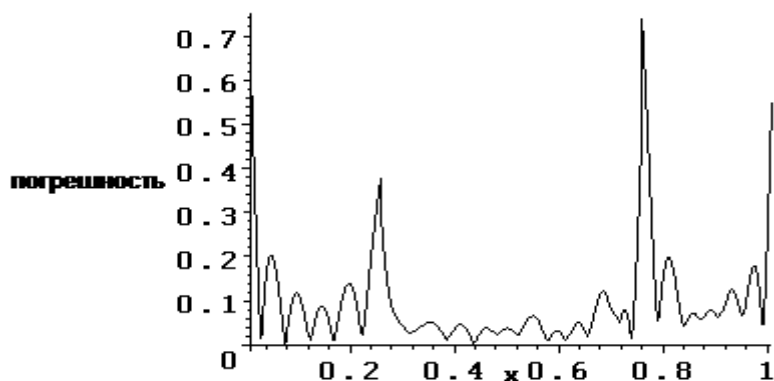


Рисунок 3. График относительной погрешности решения для ВМП

Полученные аналитические выражения для ВМП позволяют построить механическую характеристику ЛАД. При этом, в отличие от модели с бесконечно длинным индуктором и ВЭ, в рассматриваемом случае, при скорости равной синхронной скорости  $\vartheta=1$ , наблюдается генераторный режим. Соответствующая механическая характеристика представлена на рисунке 4.

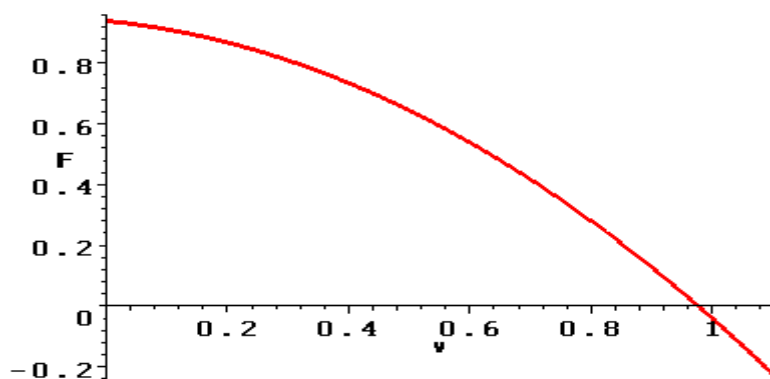


Рисунок 4. Механическая характеристика ЛАД

Выводы:

- предлагаемая математическая модель с учетом затухания краевого эффекта позволяет находить приближенное аналитическое решение поставленной задачи;
- метод решения позволяет контролировать относительную погрешность получения решения в ходе нахождения решения;
- модель допускает исследования ЛАД с коротким индуктором и (или) вторичным элементом, причем с кусочно-непрерывными по длине характеристиками элементов ЛАД;
- имеется возможность исследования ЛАД с неоднородными краевыми условиями сведением к модели с однородными краевыми условиями путем соответствующей замены переменных, что позволит интегрированно учесть в модели механическую часть и систему управления;
- модель и метод позволяют исследовать механическую и другие характеристики ЛАД и производить параметрическое исследование объекта.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-01-00283*

*The reported study was funded by RFBR, project number 20-01-00283*

#### Литература

1. Сарапулов Ф.Н., Фризен В.Э., Швыдкий ЕЛ., Смольянов ИА. Математическое моделирование линейного асинхронного двигателя на основе детализированных схем замещения // Электротехника. 2018. №4.С.58-63
2. Структурное моделирование электротехнологических систем и механизмов / В.А. Иванушкин, Ф.Н. Сарапулов, В.Н. Кожеуров, Д.В.Исаков. Н-Тагил:НТИ(ф) УГТУ-УПИ, 2007.—393 с.
3. Чапаев В.С., Волков С.В. Исследования линейного асинхронного двигателя с управляющим слоем // Надежность и качество. : Труды международного симпозиума: в 2-х т. / Под ред.Н.К. Юркова. – Пенза: ИИЦ ПензГУ, 2008. – 2 т. – С. 135-136.
4. Численные методы анализа [Текст] : приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова ; под ред. Б. П. Демидовича. - Изд. 5-е стер. - Санкт-Петербург и др. : Лань, 2010. - 400 с.

*Е.А. Зайченко, ст. преп.; А.А. Барыгин, студент; А.С. Плотников, студент.*

*(Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ЗАЩИТЫ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОКЕТОВ PYTHON**

В настоящее время актуальной является задача о распределении нагрузки по выполнению вычислений на большое количество отдельных звеньев сети и компонентов компьютеров. В качестве примера распределенного взаимодействия разработано приложение, выполняющее обмен сообщениями между множеством пользователей (чат). Сокеты представляют собой классическое средство межпроцессного взаимодействия IPC (Inter-process communication) и дают возможность обмена информацией между задачами, выполняющимися на различных компьютерах сети, причем независимо от операционных систем. Сокеты можно настроить как для работы в качестве сервера и прослушивания входящих сообщений, так и для подключения к другим приложениям в качестве клиента.

Разработанное распределенное приложение [1] включает в себя следующий функционал:

- регистрация новых пользователей;
- аутентификация и авторизация пользователей;
- создание нового чата;
- присоединение к существующему чату и дальнейшее его использование.

Разработанное распределенное приложение состоит из серверной и клиентской части.

После запуска серверной части распределенного приложения, будет создан сокет для сервера на определенном порте и сервер перейдет в режим ожидания запросов. Сервер может обрабатывать запросы на регистрацию и авторизацию пользователя, запрос на создание нового чата, запрос на присоединение к существующему чату. Когда на сервер поступит один из вышеперечисленных запросов, сервер инициализирует выполнение функции, отвечающей за обработку поступившего запроса. Следует отметить, что для работы каждого



чата создается собственный сокет, а для каждого подключения к сокету – отдельный поток (thread).

Для построения графического интерфейса клиентской части распределенного приложения модуль Tkinter. После запуска клиентского приложения будет отображено окно авторизации/регистрации пользователей. Далее будет отправлен запрос на сервер, а сервер в свою очередь вернет ответ на клиентское приложение. В случае если сервер по каким-либо причинам недоступен, будет отображено окно с соответствующим сообщением. В случае успеха будет отображено окно подключения к чату. Пользователю будет предложено ввести имя чата и пароль доступа к этому чату. Кроме того, пользователь может инициировать создание нового чата.

После отображения окна самого чата, в котором пользователь уже может отправлять и принимать сообщения, на клиентском приложении запускается новый поток, у которого создается собственный сокет. Этот сокет отвечает за принятие сообщений от потока чата, который запущен на серверной части распределенного приложения. Сообщения, получаемые этим потоком от серверного потока данного чата, отображаются в основном окне чата на клиентском приложении.

Интерфейс разработанного приложения минималистичен (рисунок 1), что отражает его функциональность. Основной задачей является обеспечение надежной и быстрой передачи данных, масштабируемость, производительность и защита данных от несанкционированного доступа.

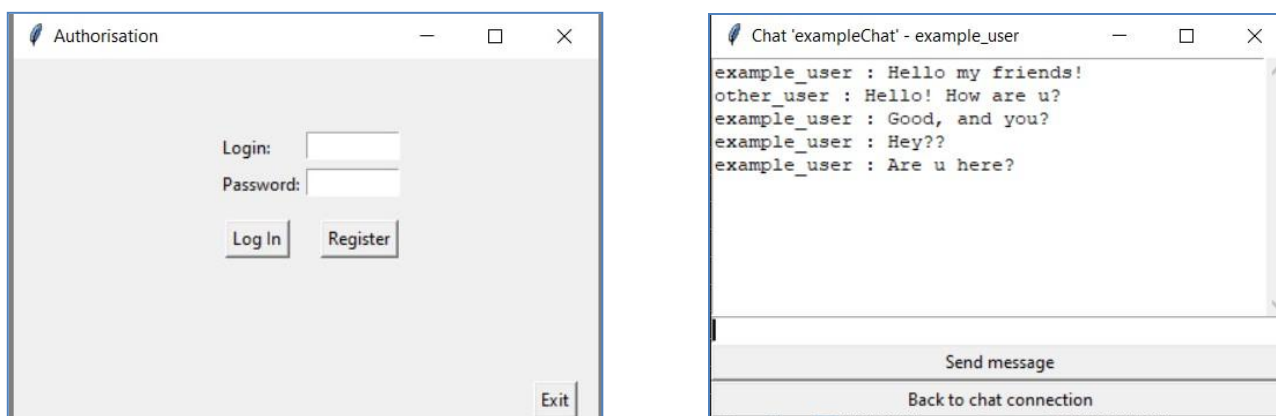


Рисунок 1 – Форма авторизации и вид чата на стороне клиента

В приложении реализован механизм тайм-аута: если все пользователи, подключенные к данному чату, не будут отправлять сообщения в течении некоторого времени, чат будет закрыт, все подключенные к этому чату пользователи будут отключены от него и возвращены к окну подключения к чату.

Особое внимание уделено проблеме безопасности. Передаваемая информация должна быть надежно защищена от несанкционированного доступа. Сведения о клиентах чата должны быть недоступны.

В разработанном распределенном приложении реализовано шифрование паролей пользователей и чатов, а также всех отправляемых сообщений.

Выбрано следующее решение: шифрование и дешифрование производится на клиентской части распределенного приложения и на сервер вся эта информация приходит уже в зашифрованном виде, что предотвращает всевозможные способы перехвата сообщений и паролей, пока они находятся на пути к серверу. База данных о пользователях и чатах хранится в серверной части приложения и реализована с помощью PostgreSQL. Все данные по идентификации пользователей хранятся на сервере в зашифрованном виде, что обеспечивает их защиту.

Разработаны два алгоритма шифрования данных, реализованные в виде библиотек Python.

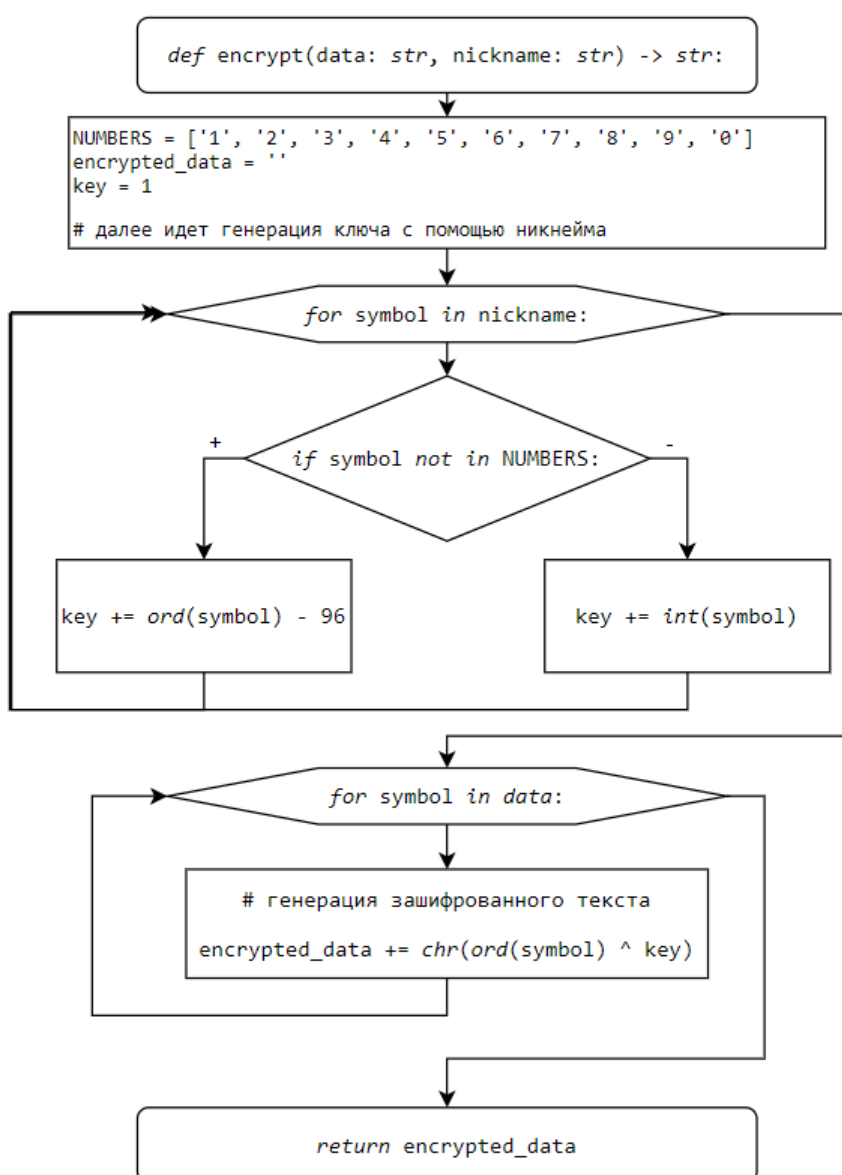


Рисунок 2 – Схема алгоритма шифрования Encrypt

Первый алгоритм (Encrypt) использует Pickle, стандартный модуль Python, преобразующий сложные объекты в поток байтов, которые можно передавать по сети. Затем в полученном потоке байт реализована операция побитового сдвига и поэтапное преобразование, причем каждый пароль и каждое сообщение шифруется уникальным образом, при помощи логина пользователя, который отправляет эти сообщения. Применение уникального ключа шифрования для каждого сообщения и пароля существенно усложняет расшифровку этих данных. Схема алгоритма шифрования Encrypt приведена на рисунке 2.

Второй алгоритм (Encode) использует статичный ключ шифрования, но сам принцип шифрования текста более сложен, что делает этот метод более надежным в плане защиты от попытки взлома. Схема алгоритма шифрования Encode приведена на рисунке 3.

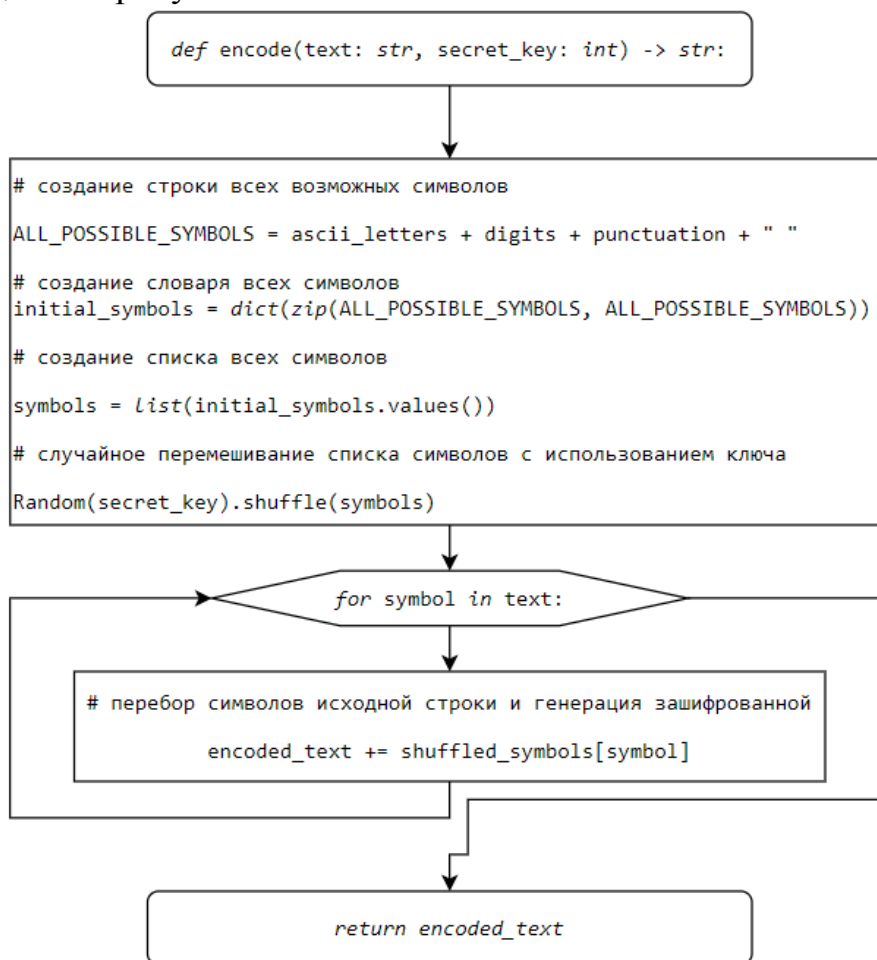


Рисунок 3 – Схема алгоритма шифрования Encode

Оба разработанных алгоритма шифрования протестированы. Для проверки и сравнительного анализа защиты от взлома разработана программа, осуществляющая взлом паролей. В программе реализован метод брутфорс — метод угадывания пароля (или ключа, используемого для шифрования), предполагающий систематический перебор всех возможных комбинаций символов до тех пор, пока не будет найдена правильная комбинация. Как

известно, при применении данного метода можно взломать любой пароль, но количество времени на взлом увеличивается экспоненциально количеству символов [2]. Поэтому рекомендуется использовать в паролях не менее 6 символов. На диаграмме (рисунок 4) показано среднее время, требуемое на подбор пароля для разного количества символов. На основании проведенных тестов можно сделать вывод, что второй алгоритм требует больше времени на подбор пароля, и, следовательно, обеспечивает более надежную защиту данных от взлома.

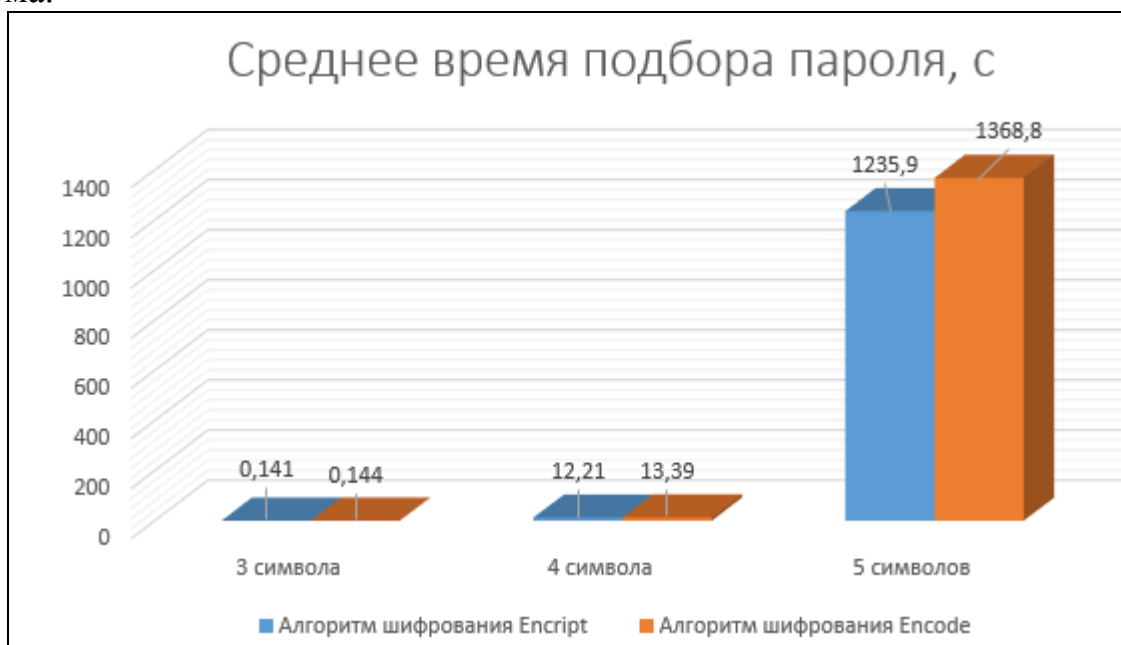


Рисунок 4 – Сравнение времени подбора пароля

Предложенные алгоритмы шифрования при обмене сообщениями показали высокую устойчивость к ошибкам и удовлетворительную надежность, и могут быть использованы для защиты данных в распределенных приложениях, например, в веб-чатах, чатах групп студентов или сотрудников предприятий.

#### Литература

1. Разработка интернет-чата с использованием сокетов Python. // А. С. Барыгин, А. С. Плотников (Научный рук. Зайченко Е. А.) // 56 Студенческая научно-техническая конференция. – Могилев: Белорусско-Российский университет. – 2020. – С. 25. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URI: <http://e.biblio.bru.by/handle/1212121212/12993> – Дата доступа: 07.09.2021.
2. Жук, А.П. Защита информации: учеб. пособие / А.П. Жук и др. - 3-е изд., - Москва: РИОР: ИНФРА-М, 2021. – 400 с — [Электронный ресурс]. — Режим доступа. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/1210523> (дата обращения: 09.09.2021)

*О.А. Канищев  
(ФГУП «СПО «Аналитприбор», г. Смоленск)*

*В.И. Бобков, д.т.н., доцент*

*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТЬЮ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМОВ ЗИП**

Целью исследования является разработка алгоритма управления эксплуатационной надежностью газоаналитических систем путем изменения номенклатуры и объемов ЗИП.

Газоаналитические системы (ГАС) – это информационно-измерительные системы, включающие в себя устройства пробоотбора и пробоподготовки, газоаналитические преобразователи и универсальные аналитические приборы, функционирование которых осуществляется с использованием методического и программного обеспечения [1].

Важнейшим организационным способом обеспечения надежности ГАС является изменение режимов эксплуатации на основе стратегии технического обслуживания и ремонта (ТОиР), реализация которой практически может осуществляться за счет изменения комплекта запасных частей, инструмента и принадлежностей (ЗИП).

Для исключения накопления чрезмерных объемов ЗИП и, соответственно, снижения капитальных затрат и затрат на техническое обслуживание ГАС необходимо разработать научно-обоснованную оптимальную стратегию ТОиР, учитывающую структурно-техническую сложность ГАС и наличие смены большого числа возможных состояний ГАС по свойству надежности, которые могут формально отображаться моделями марковских и полумарковских процессов (ПМП).

В основе оптимальной стратегии ТОиР лежит математическая модель эксплуатации ГАС по свойству надежности, учитывающая структурно-техническую избыточность, особенность процесса смены состояний элементов ГАС (безотказность, диагностика и ремонт), порядок восстановления путем использования ЗИП и путем экстренных доставок запасных частей (ЗЧ), что позволит разработать алгоритм управления эксплуатационной надежностью ГАС путем изменения номенклатуры и объема ЗИП.

Авторами было показано, что процесс эксплуатации ГАС по свойству надежности описывается ПМП, граф смены состояний которого приведен на рисунке 1 [2]. Работоспособными состояниями ГАС являются состояния С1, С3, С4, С5 и С8, поэтому коэффициент готовности ГАС  $F_a$ , можно определить из уравнения (1) [2]:

$$F_a = (P_1 m_1 + P_3 m_3 + P_4 m_4 + P_5 m_5 + P_8 m_8) (\sum P_j m_j)^{-1} \quad (1)$$

где  $P_j$  стационарные вероятности пребывания ПМП в  $j$ -м состоянии, а  $m_j$  среднее время пребывания ПМП в  $j$ -м состоянии, которые зависят от продолжительности  $T_c$  и периодичности  $T_m$  контроля, времени восстановления  $T_r$  и времени экстренной доставки ЗЧ  $T_d$ .

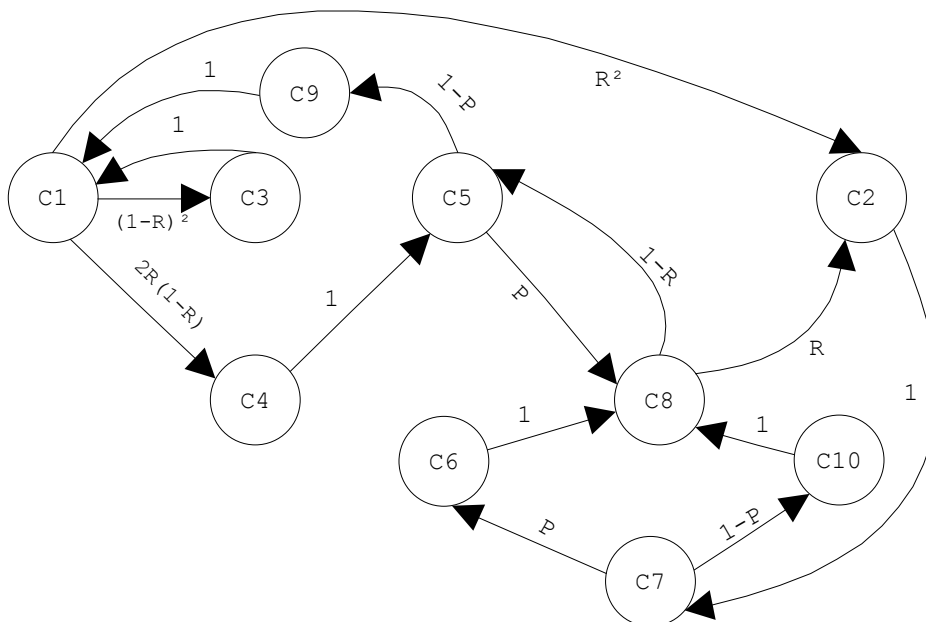


Рис.1. Граф смены состояний полумарковской модели эксплуатации ГАС ( $R$  – вероятность отказа элемента ГАС,  $P$  – вероятность отказа ЗИП)

На основании математической модели (1) был разработан алгоритм управления эксплуатационной надежностью ГАС путем изменения номенклатуры и объемов ЗИП, позволяющий определить минимальное количество ЗЧ, при которых обеспечивается заданный коэффициент готовности.

В разработанном алгоритме все временные параметры ( $T_c, T_m, T_r, T_d$ ), могут быть предварительно заданы своими максимальными значениями, указанными в эксплуатационной документации ГАС.

Алгоритм разработки и применения компьютерной ПММ состоит из 5-ти этапов (см. рис. 2):

Этап 1. Подготовка исходных данных для компьютерного моделирования. Сортировка подсистем ГАС в порядке возрастания надежности элементов.

Этап 2 Задание начального количества ЗЧ конкретного вида, входящих в состав ЗИП. Для исключения формирования избыточных запасов начальное количество ЗЧ принимается равным нулю.

Этап 3. Расчет вероятности отказа ЗИП [3].

Этап 4. Расчет коэффициента готовности ГАС  $F_a$  по формуле (1).

Этап 5. Проверка выполнения условий окончания вычислительных процедур.

Рассмотрим сущность основных операций на каждом этапе алгоритма. На этапе 1 проводится определение интенсивности отказов элементов ГАС с использованием расчетно-экспериментальных методов, после чего элементы ГАС сортируются в порядке возрастания надежности элементов.

На этапе 5 сравнивается  $F_a$ , вычисленный по формуле (1), с заданным (минимальным) значением  $F_a(min)$ . При превышении  $F_a$  заданного значения, работа алгоритма прекращается и ЗИП считается определенным. В противном

случае, сравнивается стоимость ЗИП с заданными ограничениями и при их превышении дальнейшие вычисления ЗИП прекращаются. Если не превышены стоимостные ограничения, то увеличивается количество ЗЧ и повторяются вычисления по этапу 2, 3, 4.

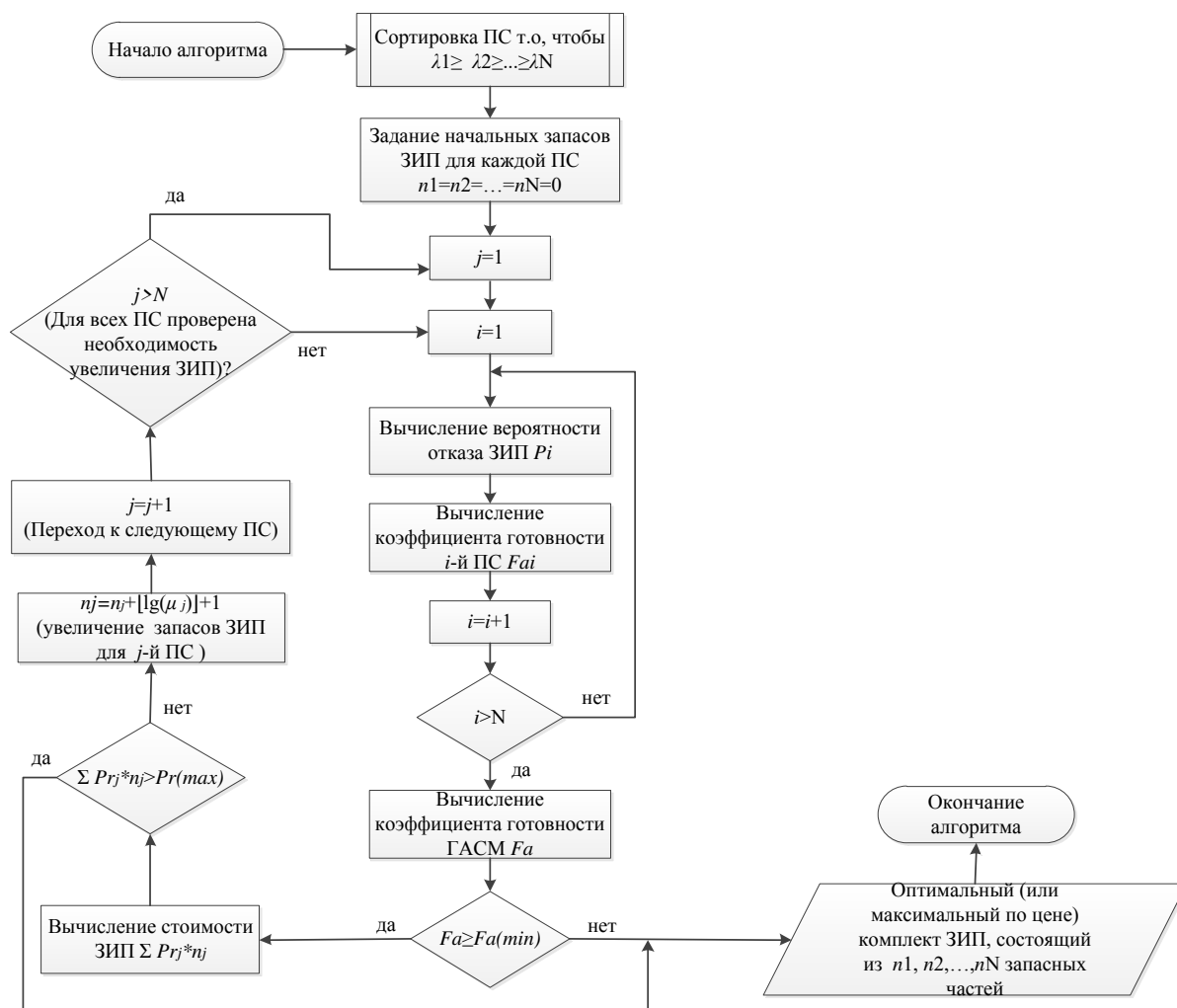


Рис.2. Блок-схема алгоритма управления эксплуатационной надежностью ГАС путем изменения номенклатуры и объемов ЗИП ( $F_a(min)$  – заданное минимальное значение  $F_a$ ,  $Pr(max)$  – ограничение стоимости ЗИП)

Последовательность вычислений по предложенному алгоритму проводится с применением программы «Программа управления эксплуатационной надежностью газоаналитических систем мониторинга окружающей среды» [4], реализованной в среде Matlab.

Разработан алгоритм управления эксплуатационной надежностью путем изменения номенклатуры и объемов ЗИП, использующий полумарковскую модель эксплуатации ГАС по свойству надежности и учитывающий основные временные параметры процесса эксплуатации, структурно-техническую сложность ГАС, уровень ее безотказности, ремонтпригодности и различных стратегий восстановления – за счет использования ЗИП и за счет экстренной

доставки, что позволяет снизить капитальные затраты и затраты на техническое обслуживание ГАС.

#### Литература

1. ГОСТ Р 50760-95. Анализаторы газов и аэрозолей для контроля атмосферного воздуха. Общие технические условия
2. Academician Meshalkin V.P. Computer Semi-Markov Model of Operational Reliability Management in Complex Gas-Analytical System of Chemical Pollution Control / Academician Meshalkin V.P., Bobkov V.I., Kanishchev O.A. // Doklady Chemistry. – 2021. V.497. – Part 2. – pp. 59-65.
3. Медведев В. М., Мищенко В. И., Солоха Н.Г. Моделирование стоимости эксплуатации ракет // Вестник Академии военных наук. № 1(22)/2008 Военная экономика и оборонная промышленность
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2021616717 Российская Федерация. Программа управления эксплуатационной надежностью газоаналитических систем мониторинга окружающей среды / Мешалкин В.П., Канищев О.А., Бобков В.И.; заявитель и обладатель ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске (RU). - № 2021615580; заявл. 14.04.2021; опубл. 26.04.2021, Реестр программ для ЭВМ.

*И.Е. Каспирович, ассистент,*

*(Российский университет дружбы народов)*

## СТАБИЛИЗАЦИЯ СВЯЗЕЙ В ЗАДАЧЕ ВОРОНЦА

### Введение

Накопление ошибок при численном интегрировании систем уравнений движения с механическими связями приводит к неустойчивости численного решения относительно уравнений связей. Как было показано Й. Баумгарте [1] применение метода стабилизации позволяет ограничить величину данного накопления. В работе [2] представлено обобщение метода стабилизации связи для задач динамики неголономных систем. В данной работе приводится обобщение метода стабилизации для задачи неголономной динамики, уравнения движения которых записаны в виде уравнений Воронца.

### Приведение структуры уравнений связей

Пусть динамическая система описывается  $n$  обобщёнными координатами  $(q^1, \dots, q^n)$  и скоростями  $(\dot{q}^1, \dots, \dot{q}^n)$ ,  $\dot{q}^i = dq^i/dt$ . Также предположим, что на систему наложен набор неголономных связей следующего вида:

$$a_{\mu i} \dot{q}^i = 0, \quad (1)$$

где  $\mu = 1, \dots, m < n$ ,  $i = 1, \dots, n$ . Здесь и в дальнейшем повторяющиеся индексы подразумевают суммирование. Компоненты линейной формы являются функциями обобщённых координат:  $a_{\mu i} = a_{\mu i}(q^1, \dots, q^n)$ .

Динамика неголономной системы со связями (1) может быть описана при помощи уравнений Лагранжа с произвольными множителями. Однако, как было подмечено Чаплыгиным С.А. и Воронцом П.В., в некотором случае уравнения Лагранжа могут быть записаны в форме, учитывающей неголономные связи. Для этого виртуальные перемещения согласно уравнениям связей (1) нужно разделить на зависимую  $(q^1, \dots, q^m)$  и независимую  $(q^{m+1}, \dots, q^n)$  части. При этом



компоненты вектора обобщенной скорости зависимой части представляют собой линейную форму относительно независимых обобщенных скоростей:

$$\dot{q}^\mu = \alpha_{\mu j} \dot{q}^j, \quad (2)$$

где  $j = \mu + 1, \dots, n$ .

Таким образом, для того чтобы применить метод Воронца, необходимо установить критерий о возможности представления уравнений связей вида (1) к виду (2). Для этого необходимо определить зависимость между коэффициентами линейной формы в данных уравнениях. Данная процедура схожа с методом Гаусса по определению корней системы алгебраических уравнений. Рассмотрим первую строчку системы (1):

$$a_{11}\dot{q}^1 + a_{12}\dot{q}^2 + \dots + a_{1n}\dot{q}^n = 0.$$

Представим первую компоненту обобщенной скорости как линейную форму по всем остальным компонентам. Для этого все слагаемые, начиная со второй компоненты, перенесем из левой части в правую и разделим на  $a_{11}$ :

$$\dot{q}^1 = -\frac{a_{12}}{a_{11}}\dot{q}^2 - \frac{a_{13}}{a_{11}}\dot{q}^3 - \dots - \frac{a_{1n}}{a_{11}}\dot{q}^n.$$

Запишем в тензорном виде:

$$\dot{q}^1 = A_{1j_1} \dot{q}^{j_1}, \quad A_{1j_1} = -\frac{a_{1j_1}}{a_{11}}, \quad j_1 = 2, \dots, n. \quad (3)$$

Далее рассмотрим вторую строчку в системе (1):

$$a_{21}\dot{q}^1 + a_{22}\dot{q}^2 + \dots + a_{2n}\dot{q}^n = 0$$

Выражаем первую компоненту обобщенной скорости при помощи соотношения (3), получим

$$a_{21}A_{1j_1} \dot{q}^{j_1} + a_{2j_1} \dot{q}^{j_1} = 0,$$

или

$$\tilde{a}_{2j_1} \dot{q}^{j_1} = 0,$$

где  $\tilde{a}_{2j_1} = a_{21}A_{1j_1} + a_{2j_1}$ . Для выражения второй компоненты повторяем процедуру ещё раз, а именно, переносим все слагаемые, начиная с третьей компоненты, из левой части вправо и делим на  $\tilde{a}_{22}$ :

$$\dot{q}^2 = -\frac{\tilde{a}_{23}}{\tilde{a}_{22}}\dot{q}^3 - \frac{\tilde{a}_{24}}{\tilde{a}_{22}}\dot{q}^4 - \dots - \frac{\tilde{a}_{2n}}{\tilde{a}_{22}}\dot{q}^n.$$

Также запишем в тензорном виде:

$$\dot{q}^2 = A_{2j_2} \dot{q}^{j_2}, \quad A_{2j_2} = -\frac{\tilde{a}_{2j_2}}{\tilde{a}_{22}}, \quad j_2 = 3, \dots, n.$$

Далее продолжаем данную процедуру для всех остальных уравнений связей системы (1). Каждую ее  $\mu$ -ую строчку после выражения компонент скоростей  $\dot{q}^1, \dots, \dot{q}^{\mu-1}$  можно представить следующем виде:

$$\tilde{a}_{\mu, j_{\mu-1}} \dot{q}^{j_{\mu-1}} = 0, \quad j_{\mu-1} = \mu, \dots, n. \quad (4)$$

В соотношениях (4) коэффициенты линейной формы  $\tilde{a}_{\mu, j_{\mu-1}}$  определяются следующим образом:

$$\tilde{a}_{\mu, j_{\mu-1}} = a_{\mu s} \beta_{sl} A_{l, j_{\mu-1}} + a_{\mu, j_{\mu-1}}, \quad (5)$$

где  $s, l = 1, \dots, \mu$  и  $A_{\mu, j_{\mu}} = -\frac{\tilde{a}_{\mu, j_{\mu}}}{\tilde{a}_{\mu\mu}}$

$$\beta_{sl} = \begin{cases} \prod_{k=s}^l A_{k, k+1}; & k < l, \\ 1; & k = l, \\ 0; & k > l. \end{cases} \quad (6)$$

Каким образом  $\mu$ -ая компонента скорости может быть выражено исходя из следующего соотношения:

$$\dot{q}^\mu = A_{\mu,j_\mu} \dot{q}^{j_\mu}. \quad (7)$$

Очевидно, что данный алгоритм применим, только если знаменатели в коэффициентах линейной формы (7) не обращаются в нуль:  $\tilde{\alpha}_{\mu\mu} \neq 0, \forall \mu = 1, \dots, m$ . В итоге получается, что  $\mu$ -ая компонента выражена виде линейной формы относительно обобщенных скоростей, начиная с  $(\mu + 1)$ -ой компоненты.

$$\begin{aligned} \dot{q}^1 &= A_{12}\dot{q}^2 + A_{13}\dot{q}^3 + \dots + A_{1n}\dot{q}^n, \\ \dot{q}^2 &= A_{23}\dot{q}^3 + A_{24}\dot{q}^4 + \dots + A_{2n}\dot{q}^n, \\ &\vdots \\ \dot{q}^{m-1} &= A_{m-1,m}\dot{q}^m + A_{m-1,m+1}\dot{q}^{m+1} + \dots + A_{mn}\dot{q}^n, \\ \dot{q}^m &= A_{m,m+1}\dot{q}^{m+1} + A_{m,m+2}\dot{q}^{m+2} + \dots + A_{mn}\dot{q}^n. \end{aligned} \quad (8)$$

Далее выражение  $m$ -ой компоненты из последней строчки (8) подставляем предпоследнюю  $\dot{q}^{m-1} = A_{m-1,m}\dot{q}^m(\dot{q}^{m+1}, \dots, \dot{q}^n) + A_{m-1,m+1}\dot{q}^{m+1} + \dots + A_{mn}\dot{q}^n$ , таким образом  $(m-1)$ -ая компонента также будет выражаться в виде линейной формы только по независимым обобщенным скоростям  $\dot{q}^{m+1}, \dots, \dot{q}^n$ . Продолжаем выражать последовательно  $\mu$ -ую компоненту обобщенной скорости  $(\mu - 1)$ -ой строчке до первой строчки (8). Таким образом, мы пришли к тому, что все зависимые компоненты обобщенной скорости выражены виде линейной формы относительно независимых компонент.

### Уравнения Воронца

Алгоритм, приведенный в предыдущем параграфе, позволяет представить систему кинематических связей (1) к виду:

$$\begin{aligned} h_\mu &= \dot{q}^\mu - \alpha_{\mu j}(q^1, \dots, q^n)\dot{q}^j, \\ \mu &= 1, \dots, m, \quad j = m + 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (9)$$

Уравнения, описывающие динамику системы, могут быть представлены в виде уравнений Лагранжа с произвольными множителями:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}^i} - \frac{\partial L}{\partial q^i} = \lambda_\sigma \frac{\partial h_\sigma}{\partial \dot{q}^i}, \quad (10)$$

где  $L = L(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, t)$  — функция Лагранжа,  $\sigma = 1, \dots, m$ .

Подставляя в данную формулу связи (9), можно аналогично разбить полученную системы уравнений на производные по зависимым и независимым частям:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}^\mu} - \frac{\partial L}{\partial q^\mu} = \lambda_\mu, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}^j} - \frac{\partial L}{\partial q^j} = -\lambda_\mu \alpha_{\mu j}. \end{cases} \quad (11)$$

Пусть операция «звезда» \* — это выражение зависимых компонент обобщенных скоростей через независимые с учетом уравнений связей (9). Обозначим независимую часть обобщенных скоростей следующим образом:  $(\dot{q}^{m+1}, \dots, \dot{q}^n) = \tilde{\dot{\mathbf{q}}}$ . Тогда,

$$L^*(\mathbf{q}, \tilde{\dot{\mathbf{q}}}, t) = L(\mathbf{q}, \dot{q}^1(\tilde{\dot{\mathbf{q}}}), \dots, \dot{q}^m(\tilde{\dot{\mathbf{q}}}), \tilde{\dot{\mathbf{q}}}, t).$$

Систему (11) в терминах  $L^*$  при помощи правила Лейбница и правила дифференцирования сложной функции можно привести к виду уравнений Воронца:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L^*}{\partial \dot{q}^j} = \frac{\partial L^*}{\partial q^j} + \alpha_{\mu j} \frac{\partial L^*}{\partial q^\mu} + \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}^\mu} \right)^* \gamma_{jl}^\mu \dot{q}^l, \quad (12)$$

где  $l = m + 1, \dots, n$ ,  $\gamma_{jl}^\mu = \frac{\partial \alpha_{\mu j}}{\partial q^l} - \frac{\partial \alpha_{\mu l}}{\partial q^j} - \alpha_{\sigma j} \frac{\partial \alpha_{\mu l}}{\partial q^\sigma}$ .

Система уравнений (12) и связей (9) образуют замкнутую систему дифференциальных уравнений движения.

### Стабилизация связей

Накопление ошибок при численном интегрировании системы уравнений (12) приводит неустойчивости относительно связей (9). Для ограничения накопления ошибок Й. Баумгарте было предложено не рассматривать механические связи как первые интегралы, а приравнять их вторые производные к линейной форме по связям. В работе (3) представлена модификация метода стабилизации связей Баумгарте для неголономных связей. Применяв данный метод к связям (9) уравнение возмущенных связей запишется в виде:

$$\dot{h}_\mu = F_\mu(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, t, h_1, \dots, h_m), \quad (13)$$

где  $F_\mu$  — произвольная функция, такая что  $F_\mu(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, t, 0, \dots, 0) = 0$ .

Исходя из формулы (9) уравнение возмущенных связей (13) можно переписать в следующем виде:

$$\ddot{q}^\mu - \alpha_{\mu j} \ddot{q}^j = \bar{F}_\mu, \quad (14)$$

где  $\bar{F}_\mu = F_\mu + \frac{d\alpha_{\mu j}}{dt} \dot{q}^j$ .

Систему уравнений (12) можно выразить относительно вторых производных по обобщенным координатам, получим следующее выражение:

$$\frac{\partial^2 L^*}{\partial \dot{q}^j \partial \dot{q}^l} \ddot{q}^l = \frac{\partial L^*}{\partial q^j} + \alpha_{\mu j} \frac{\partial L^*}{\partial q^\mu} + \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}^\mu} \right)^* \gamma_{jl}^\mu \dot{q}^l - \frac{\partial^2 L^*}{\partial \dot{q}^j \partial t} - \left( \frac{\partial^2 L^*}{\partial \dot{q}^j \partial q^l} + \frac{\partial^2 L^*}{\partial \dot{q}^j \partial q^\mu} \alpha_{\mu l} \right) \dot{q}^l. \quad (15)$$

Пусть  $H_{jl} = \frac{\partial^2 L^*}{\partial \dot{q}^j \partial \dot{q}^l}$  и правую часть обозначим за  $Q_j$ . Тогда удобно уравнение (15) переписать в матричном виде:

$$\mathbf{H} \ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{Q}. \quad (16)$$

Если матрица  $\mathbf{H}$  не вырождена, то существует обратная к ней, и обобщенные ускорения могут быть выражены следующим образом:

$$\ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{H}^{-1} \mathbf{Q}. \quad (17)$$

Обозначим вектор зависимых координат через  $\bar{\mathbf{q}} = (q^1, \dots, q^m)$ . Тогда условие (14) переписывается в матричном виде:

$$\ddot{\bar{\mathbf{q}}} - \alpha \ddot{\mathbf{q}} = \bar{\mathbf{F}}. \quad (18)$$

Причем,  $\ddot{\bar{\mathbf{q}}}$  и  $\bar{\mathbf{F}}$  — вектора размерности  $m$ ,  $\ddot{\mathbf{q}}$  и  $\mathbf{Q}$  — размерности  $(n - m)$ , матрица  $\mathbf{H}$  —  $(n - m) \times (n - m)$ , а матрица  $\alpha$  —  $m \times (n - m)$ .

Соотношение (18) с учетом (17) может быть переписана следующим образом:

$$\ddot{\bar{\mathbf{q}}} = \alpha \mathbf{H}^{-1} \mathbf{Q} - \bar{\mathbf{F}}. \quad (19)$$

Системы уравнений (17) и (19) являются замкнутыми относительно обобщенных ускорений. Задача стабилизации связи состоит в том, чтобы подобрать такую функцию  $F_\mu$ , чтобы численное решение оставалось устойчивым относительно уровней связи. В наиболее простом случае удобно принять функцию стабилизации за произвольную линейную комбинацию по связям:

$$F_\mu = k_{\mu\sigma}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, t) h_\sigma.$$

Определение безопасного диапазона коэффициентов данной линейной формы позволяет решить задачу стабилизации и обеспечить устойчивое численное решение систем (17) и (19). Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-08-00261 А.

#### Литература

1. Baumgarte, J. (1972). Stabilization of constraints and integrals of motion in dynamical systems. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 1(1), 1–16. [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(72\)90018-7](https://doi.org/10.1016/0045-7825(72)90018-7)
2. Kaspirovich, I. E., & Mukharlyamov, R. G. (2018). Constraint Stabilization Application to Chaplygin Systems. *2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501693>
3. Kaspirovich, I. E. (2016). Application of constraint stabilization to nonholonomic mechanics. *2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ICIEAM.2016.7910921>

*С.В. Козлов, к.п.н., доц.*

*(ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет», г. Смоленск)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПЛАТФОРМ В ПРОГРАММАХ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ**

В настоящее время большинство производственных процессов не может обходиться без использования современных автоматизированных программных комплексов управления мощностями предприятия. Внедрение IT-технологий напрямую влияет на эффективность работы производства. При этом многие программные средства являются единичными продуктами, которые реализуют конкретные производственные задачи. А для решения стандартных задач предприятия используют универсальное программное обеспечение. В тоже время в целом ряде технологически специфичных процессов требуется оценка совокупности показателей, на основании которой осуществляется принятие экстренных решений об управлении производством. Для этого возможно использовать модульные компьютерные платформы, встраиваемые как интерфейс обработки параметров возникающих ситуаций.

Данные компьютерные платформы, реализованные программно по принципам модульного проектирования и разработки, позволяют встраивать их инструментарий как функциональную надстройку. Для этого не требуется модифицировать собственную программную среду управления производственными процессами. Платформа как программный интерфейс выступает автономным модулем, используемым как средство интеллектуального анализа параметров функционирования системы при управлении производством [1]. При этом основное назначение таких платформ состоит в обобщении системных данных с помощью исследования латентных свойств, определяющих течение производственных процессов.

В качестве одного из таких средств может использоваться автоматизированная система «Advanced Tester». Она характеризуется как универсальное кроссплатформенное программное обеспечение, обеспечивающее интеллектуальный анализ данных на основе применения

математического аппарата соответствия Галуа [2]. Соответствие Галуа как инструмент этой компьютерной платформы позволяет компоновать объекты анализа производственной сферы произвольным образом. Список параметров для анализа формируется автоматически после импорта модуля в среду управления производственными процессами. Пользователю системы необходимо задать необходимые параметры анализа и выбрать совокупность объектов для исследования. После этого модульная платформа «Advanced Tester» генерирует различные варианты разбиения выбранной совокупности объектов на множества и выявляет латентные связи между их подмножествами.

Разбиение объектов на множества основано на применении критериев оптимального выбора. Так, например, в качестве одного из них выступает радиус покрытия системных объектов. Другими параметрами служат прочность связей между элементами системы и кратность их взаимодействия с другими выбранными для анализа компонентами. Варианты разбиения позволяют изучать поведение объектов в условиях неопределенности при поиске оптимальных сценариев функционирования системы в целом. При этом пользователь, оперируя параметрами системного анализа данных, может выбрать, как лицо, принимающее управленческое решение, тот или иной вариант достижения целей производства эффективными методами.

Платформа «Advanced Tester» позволяет применять критерии анализа, как единичные векторы однофакторного анализа данных, так и как параметры многофакторного анализа. Для этого в среде предусмотрен компонент, работа которого основана на использовании математического аппарата импликативных матриц. В случае однофакторного анализа система учитывает только выполнение заданного критерия. При этом пользователь может указать базисный элемент или совокупность фундаментальных и подчиненных компонентов для осуществления анализа. Ответом системы будет являться перечень исследуемых объектов, которые оказывают существенное влияние на поведение производственных процессов в рассматриваемой в анализе ситуации. В случае многофакторного анализа исследуется поведение выбранных компонентов в целом. Анализируемые объекты определяются как слои многомерной матрицы, каждый элемент которой может быть изучен в выбранном в системе «Advanced Tester» измерении. Следует заметить, что полный анализ требует значительного времени и программных ресурсов. В связи с этим в качестве инструментов многофакторного анализа данное программное обеспечение также имеет наиболее часто востребованные критерии. Они определяют второй встроенный в систему набор ключевых параметров моделирования производственных ситуаций. В качестве них система «Advanced Tester» использует инструменты интеллектуального анализа данных на основе применения методологии теории графов [3].

В среде компьютерной платформы «Advanced Tester» объекты производственных процессов объединяются после их анализа в единую графовую модель. Она, как правило, представляет собой сеть. При этом с точки зрения анализа, проводимого с использованием средств платформы на данном

этапе, на первые роли выступают связи между ее системными элементами. Тогда, как на первом этапе, анализ был обусловлен самими объектами производственных процессов. Платформа «Advanced Tester» позволяет оперировать такими параметрами, как числами  $t$ -взаимозависимости и  $t$ -взаимонезависимости, числом полуконтакт диаметра  $p$ , векторами разделения, надежности и прочности графа. Данные показатели формируют систему интеллектуального анализа данных с позиций выявления латентных взаимосвязей между ее компонентами.

Также необходимо подчеркнуть, что используемый в модулях платформы «Advanced Tester» математический аппарат не требует от пользователя системы на производстве дополнительных знаний в области анализа данных. С одной стороны система позволяет математически обосновать многие решения, принимаемые интуитивно на основе производственного опыта поведения в различных ситуациях. С другой стороны она позволяет вскрыть латентные показатели, которые нередко оказывают существенное влияние на производственные процессы. Именно интеллектуальный анализ в этой части может оказывать ключевое действие на максимальное достижение утопической точки в области матрицы полезностей модели производства. В ряде ситуаций это является преимущественным фактором построения бизнес-модели управления производством и получения прибыли с минимизацией производственных затрат, в частности, в условиях ограниченности ресурсов предприятия.

Кроме того, интерфейс программного модуля «Advanced Tester» отражает все тенденции последних десятилетий развития программного обеспечения на рынке IT-индустрии. Для того чтобы ориентироваться в среде модульной платформы достаточно интуитивных навыков использования компьютерных средств [4]. Развертывание программы как модуля информационной системы управления производственными процессами происходит автоматизировано. Для этого достаточно указать место расположения основной папки компьютера или сервера, на которых были развернуты мощности программной среды предприятия. Работа в среде модуля принципиально ничем не отличается от других компьютерных программ. В платформе реализованы меню, рабочая область, панель инструментов и необходимые компоненты навигации в виде полос прокрутки, панели состояния выполняемых действий, кнопок, надписей, полей для ввода данных. Концепция реализации идентична общим подходам в использовании программных компонентов приложений на форме. Иными словами пользователю платформы «Advanced Tester» необходимо изучить расположение программных компонентов для выполнения действий по анализу и прогнозированию поведения системы управления производством. После чего задание системных параметров изучения функционирования производственного компьютерного комплекса будет состоять в определении необходимых условий выбора объектов и указания критериев однофакторного или многофакторного анализа с помощью выбора их из предлагаемого системой списка. Как итог исследования компонентной базы производства система «Advanced Tester» формирует отчет в виде переносимого файла с возможностью вывода

информации на печать. Также в среде самой системы на графовой модели структурных объектов наглядным образом с помощью различной цветовой гаммы и фигур выделения, таких как прямоугольники, многоугольники и окружности, отображаются выявленные элементы, определяющие течение производственных процессов. Еще раз, здесь подчеркнем, что ряд из них имеет латентный характер влияния на другие компоненты, поэтому на модели они выделены особо с использованием полужирного начертания и двойных рамок геометрических фигур.

Таким образом, пользователь компьютерной платформы «Advanced Tester», как встроенного компонента информационной системы управления производственными процессами получает действенный инструмент текущего анализа возникающих как штатных, так и нештатных ситуаций. При этом нештатные ситуации система «Advanced Tester» позволяет прогнозировать и в итоге избежать их. Такое использование ее как вспомогательное средство анализа открывает возможности эффективного управления системами производственной деятельности, минимизации рисков естественной эксплуатации и максимизации финансовых потоков оптимальным образом.

#### Литература

1. Козлов С.В. Особенности использования методов интеллектуального анализа данных в обучающих информационных системах // International Journal of Open Information Technologies. 2020. Т. 8. № 7. С. 29-39.
2. Козлов С. В. Использование функциональных возможностей информационных систем в производственной сфере // Энергетика, информатика, инновации - 2017 (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве): сборник трудов VII-ой Международной научно-технической конференции. В 3 томах. - Смоленск. - 2017. - Т. 1. - С. 298-301.
3. Козлов С. В. Перспективы внедрения интеллектуальных цифровых технологий в процессы управления // Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты: сборник статей Международной научно-практической конференции (г. Брянск, 30 ноября 2018 г.) [Электронный ресурс]. – Брянск: Брян. гос. инженерно-технол. ун-т, 2018. – С. 236-240.
4. Козлов С.В., Суин И.А. О некоторых аспектах применения инвариантных методов функционального анализа данных в различных предметных областях // Системы компьютерной математики и их приложения. Смоленск, 2019. № 20–1. С. 199-205.

*С.П. Курилин, д. т. н., проф.;*

*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

Замена вращающихся асинхронных электроприводов линейными повышает надёжность и снижает материалоёмкость электрооборудования. При этом в каждом конкретном случае необходимо технико-экономическое обоснование применения линейного асинхронного электродвигателя (ЛАЭД), которое выполняется на основе предварительной оценки технических характеристик устройства. Здесь имеются в виду габаритные размеры устройства, его масса, скорость, тяговая сила, потребляемый ток, максимальный рабочий ход, динамические показатели. Решение этих задач производится на компоновочном этапе проектирования ЛАЭД. Окончательное – полномасштабное, проектирование ЛАЭД производится на базе результатов предварительной компоновки в среде инженерной 3-D САПР. В связи с несерийным



производством ЛАЭД и отсутствием консолидированной базы их технических характеристик, предварительные оценки характеристик устройства могут быть выполнены только на математических моделях, ориентированных на проектировочные задачи. При этом, безусловно желательными являются аналитические модели, увязывающие технические характеристики и критерии проектирования, и позволяющие проанализировать их взаимное влияние. Задача данной статьи состоит в представлении читателю аналитической модели проектировочного направления, предназначенной для предварительной оценки основных технических характеристик ЛАЭД.

Объектами исследования являются плоские двухсторонние ЛАЭД с коротким и длинным немагнитным вторичным элементом (ВЭ). Данные термины иллюстрирует рисунок 1. На нём показаны 1 – индуктор, 2 – вторичный элемент,  $2a$  – длина индуктора,  $S_{max}$  – максимальный рабочий ход. Стрелками показано направление движения ВЭ относительно индуктора.

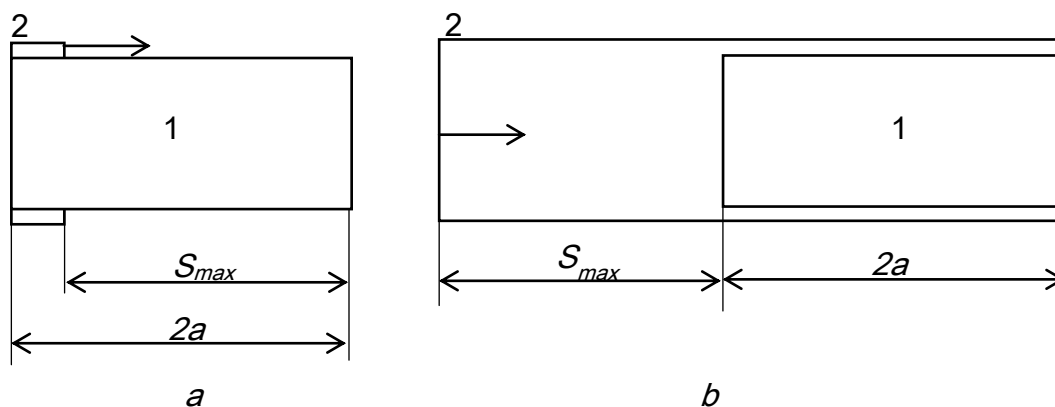


Рисунок 1. ЛАЭД с коротким (a) и длинным (b) ВЭ

ЛАЭД с коротким ВЭ предназначены для привода объектов возвратно-поступательного движения. Как правило, это вспомогательное оборудование, такое как грохоты, просеивающие машины, запорная аппаратура воздушных и гидравлических трубопроводов. ЛАЭД с длинным ВЭ предназначены для электроприводов грузоподъемных механизмов, внутрицехового транспорта, конвейерного транспорта и других устройств, используемых на промышленных предприятиях.

Математическая модель ЛАЭД базируется на расчётной схеме, которая представлена на рисунке 2. Здесь показаны главные размеры устройства и возбуждающий электромагнитное поле ток  $j_1$ . Двухсторонний индуктор 1 бесконечной длины по координате  $x$ , имеет ширину  $2c$  и высоту  $h$ . Материал индуктора, как правило – это шихтованная электротехническая сталь, имеет постоянную магнитную проницаемость  $\mu_f$ . На отрезке  $x \in [-a, a]$  индуктор несёт на себе возбуждающий  $2p$ - полюсный ток с линейной плотностью  $j_1 = j_1(x, t)$ . Немагнитный зазор между сторонами индуктора имеет длину  $\delta$ . В зазоре расположен немагнитный ВЭ 2 электродвигателя, движущийся с



постоянной скоростью в направлении возрастания координаты  $x$ . ВЭ имеет линейные размеры  $b_2 \times 2c \times \Delta$ , - электрическую проводимость  $\sigma_2$  и выполняется из сплава алюминия.

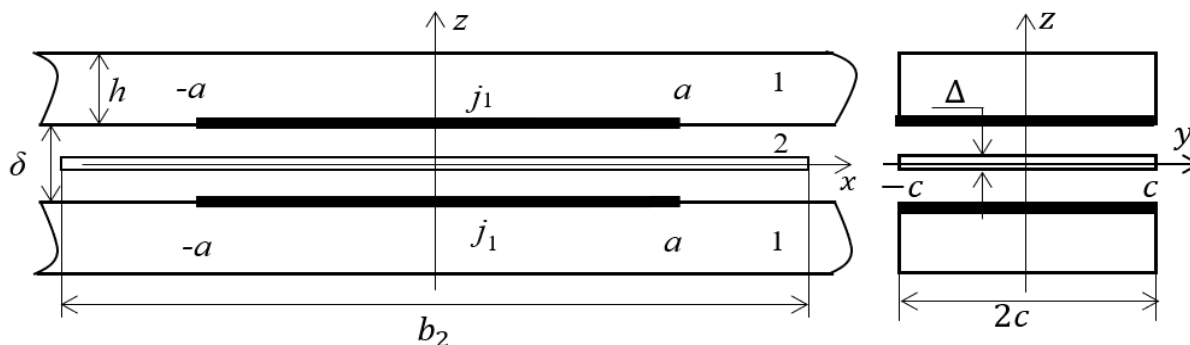


Рисунок 2. Расчетная схема ЛАЭД  
1 – индуктор, 2 - вторичный элемент

Моделирование ЛАЭД по рисунку 2 проводилось в относительных единицах. Математическая модель для расчёта электромагнитного поля и тяговой силы ЛАЭД, записанная через комплексные векторы действующих значений векторного магнитного потенциала –  $A$  и линейной плотности тока –  $J_1(x)$ , в относительных единицах имеет следующий вид

$$A_{xx} - \beta^2 A - j\sigma \frac{1}{k_1} A - v\sigma \frac{k_2}{k_1} A_x = -\frac{1}{\delta} J_1(x), \quad (1)$$

$$F = Re(2c \int_{-a}^a A_x \cdot \text{con}(J_1(x)) dx) \quad (2)$$

где  $v$  – скорость движения ВЭ,  $\text{con}(J_1(x))$  – комплексно-сопряжённый вектор по отношению к вектору  $J_1(x)$ ,  $A_x$ ,  $A_{xx}$  – первая и вторая производные от  $A$  по координате  $x$ ,  $Re$  – символ операции вычисления действительной части комплексного выражения,

$$\sigma = 0.65 \frac{\Delta}{\delta} \sigma_2$$

расчётная электрическая проводимость ВЭ с учётом бортового эффекта,

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{\mu_f \cdot \delta \cdot h}}$$

- коэффициент пространственного затухания магнитного поля в индукторе при удалении от возбуждающего тока,  $j$  – мнимая единица,

$$k_1 = \frac{t_6}{x_6^2} \cdot \frac{1}{\mu_6 \sigma_6}$$

$$k_2 = \frac{t_6}{x_6^2} \cdot v_6 x_6$$

- коэффициенты подобия модели.

На этапе компоновки устройства роль проектировочных критериев играют величины развиваемой тяговой силы и скорости, объединённые в механической характеристике. Поэтому модель (1), (2) можно рассматривать как уравнение механической характеристики ЛАЭД, записанное через множество конструктивных и физических параметров

$$F = F(v, a, h, c, \delta, \Delta, b_2, \mu_f, \sigma_2, J_1, p). \quad (3)$$

Задача компоновки устройства состоит в выборе параметров выражения (3), исходя из желательной зависимости  $F = F(v)$ . Выбор производится путём вариаций параметров решения системы (1), (2) с учётом возможностей их технической реализации.

Аналитическое решение уравнения (1), полученное методом интегрального преобразования Фурье ориентировано на проектирование ЛАЭД с длинным ВЭ. Решение для  $2p$ -полусной волны возбуждающего тока

$$J_1(x) = J_1 e^{-j2p\pi x}$$

выглядит следующим образом:

$$A = \frac{J_1}{2\lambda\delta} e^{\frac{Vx}{2}} \left( e^{-\lambda x} \varphi(x) - e^{\lambda x} \psi(x) \right) \quad (4)$$

где

$$\lambda = \sqrt{\beta^2 + \frac{V^2}{4} + j\Omega}, \quad V = \frac{k_2}{k_1} \sigma v, \quad \Omega = \frac{\sigma}{k_1}$$

$$\varphi(x) = \frac{e^{(\lambda - \frac{V}{2} - j2p\pi)x} - e^{-(\lambda - \frac{V}{2} - j2p\pi)\frac{1}{2}}}{\lambda - \frac{V}{2} - j2p\pi}$$

$$\psi(x) = \frac{e^{-(\lambda + \frac{V}{2} + j2p\pi)\frac{1}{2}} - e^{-(\lambda + \frac{V}{2} + j2p\pi)x}}{\lambda + \frac{V}{2} + j2p\pi}$$

Вариация параметров (4), (2) для ЛАЭД с пусковой силой 1000 Н, рабочей скоростью (2 - 3) м/с и максимальным рабочим ходом  $S_{max} \approx 2$  м позволила скомпоновать устройство, технические данные которого приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические данные ЛАЭД

| Обозначение | Величина в относительных единицах | Величина в абсолютных единицах |
|-------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| $2a$        | 1                                 | 0,72 м                         |
| $h$         | 0,11                              | 0,08 м                         |
| $2c$        | 0,28                              | 0,2 м                          |
| $\delta$    | 0,014                             | 0,01 м                         |
| $\Delta$    | 0,007                             | 0,005 м                        |
| $b_2$       | 4                                 | 2,88 м                         |
| $\beta$     | 0,805                             | $1,12 \text{ м}^{-1}$          |

|                        |        |   |
|------------------------|--------|---|
| $\sigma$               | 0,0464 | $0.162 \cdot 10^7 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$ |
| $\sigma_2$             | 0,14   | $0.49 \cdot 10^7 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}^{-1}$  |
| $\mu_f$                | 1000   | $1000 \mu_0 \text{ Гн/м}$                           |
| $I_1$                  | 2      | $5,64 \cdot 10^4 \text{ А/м}$                       |
| $2p$                   | 6      | 6   |
| Масса ВЭ $m$           | 68     | 9,54 кг   |
| Пусковая сила $F_{St}$ | 1,97   | 1040 Н  |

Важным техническим показателем ЛАЭД является время совершения максимального рабочего хода при отсутствии нагрузки -  $t_{max}$  и максимальная скорость ВЭ на этом перемещении -  $v_{max}$ . Их можно рассчитать по уравнению

$$\frac{m}{F_{St}} \left( e^{-\frac{F_{St}}{m}t} - 1 \right) + t = S_{max} \cdot k_3$$

и формуле

$$v_{max} = 1 - e^{-\frac{F_{St}}{m}t_{max}},$$

где  $k_3 = \frac{x_6}{v_6 t_6}$  – коэффициент подобия модели.

Расчёт для числовых значений параметров даёт динамические характеристики ЛАЭД, приведенные в таблице 2.

Таблица 2. Динамические характеристики ЛАЭД

| Обозначение | Величина в относительных единицах | Величина в абсолютных единицах |
|-------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| $S_{max}$   | 3                                 | 2,16 м                         |
| $t_{max}$   | 88                                | 0,28 с                         |
| $v_{max}$   | 0,92                              | 11,04 м/с                      |

На рисунке 3 приведена механическая характеристика спроектированного ЛАЭД.

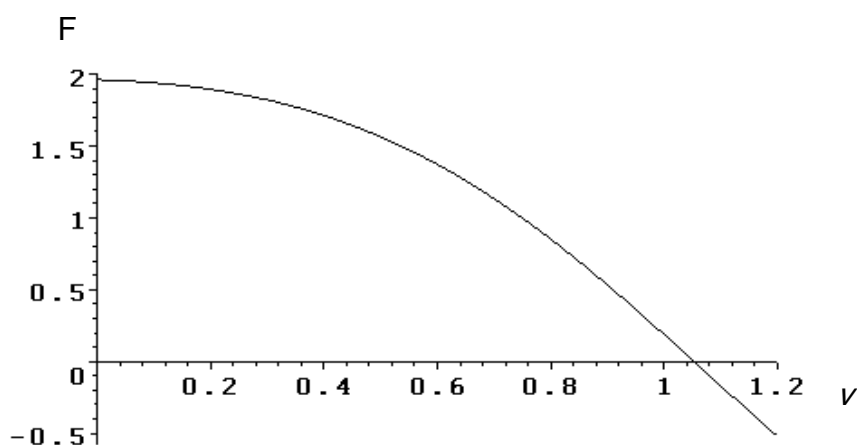


Рисунок 3 Механическая характеристика ЛАЭД

## **Выводы**

Предварительная оценка основных технических показателей ЛАЭД является основой технико-экономического обоснования линейного электропривода и принятия решения о его полномасштабном проектировании, производстве и внедрении.

Оценка технических показателей ЛАЭД производится на математических моделях проектировочного назначения.

На основе предложенной модели произведена оценка технических показателей ЛАЭД с тяговым усилием 1000 Н и рабочей скоростью (2 - 3) м/с, предназначенного для применения в составе группы или индивидуально в качестве силовой части линейного электропривода.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-01-00283.*

### Литература

1. S. P. Kurilin, M. I. Dli, A. M. Sokolov. Linear induction motors for non-ferrous metallurgy, Non-ferrous Metals. 2021 No. 1. pp. 67–73. DOI: 10.17580/nfm.2021.01.09
2. Вольдек А.И. Индукционные магнитогидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом. – Л.: Энергия, 1970. - 270 с.
3. Ямамура С. Теория линейных асинхронных двигателей.: Пер. с англ. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 180 с

*Е.А. Миненкова, студ.; А.А. Тютюнник, к.э.н., доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **НЕЙРОННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МОДИФИКАЦИЙ РНК- ЦЕПОЧЕК ПРИ ПОМОЩИ LSTM СЕТЕЙ**

В XXI веке процессы информационных технологий охватывают почти все области деятельности человечества. Вместе с данным процессом, наиболее прогрессивными разработками выделяются процессы прогнозирования разноструктурированных данных и развития связей искусственного интеллекта с целью автоматизации прикладных процессов [1]. Особенно актуальной сферой развития является область медицинских исследований, где процесс появления новых штаммов напрямую затрагивает процесс разработки противовирусных препаратов. На данный момент, группы вирусов подразделяются на РНК / ДНК, характеризующиеся представлением нуклеиновых кислот. Рассматриваемая группа РНК-вирусов обособлена наличием большого количества мутаций, что сказывается на повышенной необходимости прогнозирования мутаций. Например, генетическая модификация популярного вируса SARS-CoV-2 согласно Всемирной организации здравоохранения, представленная на рисунке 1, оказывает непосредственное влияние на характеристику вируса и его поведение, а недостаточное исследование фенотипического или эпидемиологического воздействия на человека сказывается на необходимости мониторинга возможных изменений и анализа последствий [2].

|                        |            |            |                                    |                                      |
|------------------------|------------|------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| B.1.1.523              | GR         | -          | Multiple countries, May-2020       | 14-Jul-2021                          |
| B.1.619                | G          | 20A/S.126A | Multiple countries, May-2020       | 14-Jul-2021                          |
| B.1.620                | G          | -          | Multiple countries, November 2020  | 14-Jul-2021                          |
| C.1.2                  | GR         | -          | South Africa, May 2021             | 01-Sep-2021                          |
| B.1.617.1 <sup>§</sup> | G/452R.V3  | 21B        | India, Oct-2020                    | VOI: 4-Apr-2021<br>VUM: 20-Sep-2021  |
| B.1.526 <sup>§</sup>   | GH/253G.V1 | 21F        | United States of America, Nov-2020 | VOI: 24-Mar-2021<br>VUM: 20-Sep-2021 |
| B.1.525 <sup>§</sup>   | G/484K.V3  | 21D        | Multiple countries, Dec-2020       | VOI: 17-Mar-2021<br>VUM: 20-Sep-2021 |
| B.1.630                | GH         | -          | Dominican Republic, Mar-2021       | 12-Oct-2021                          |

Рисунок 1 – Вариации вируса SARS-CoV-2

На данный момент основным инструментом для решения данной проблемы является методология машинного обучения, предполагающая возможность анализа влияния однонуклеотидных полиморфизмов на восприимчивость к лекарственным препаратам. Основная проблема, выделяемая в данном процессе – недостаточная адаптивность существующих моделей для прогнозирования возможных уникальных мутаций.

Для решения описываемой проблемы предлагается использовать модификацию модели нейронной сети долгосрочной памяти (LSTM), которая позволяет за счёт использования ячеек скрытого состояния в вариативных временных интервалах прогнозировать состояние входного вектора на определенный временной интервал [3]. Использование входных векторов представлением последовательности позволяет использовать разноструктурированный формат данных для последующей обработки. Преимущественно, основные возможности LSTM-моделей основаны на рекуррентной нейронной сети (RNN), однако модификация LSTM-сети для обработки последовательностей позволяет использовать кодировщик / декодировщик для обработки последовательностей [4].

Основной процесс прогнозирования расхождений основан на использовании нескольких независимых процессов обработки данных. На первом этапе осуществляется процесс секвенирования ДНК, предполагающий преобразование последовательности в единообразный массив с сохранением исходной информации о положении нуклеотида в цепочке (рисунок 2).

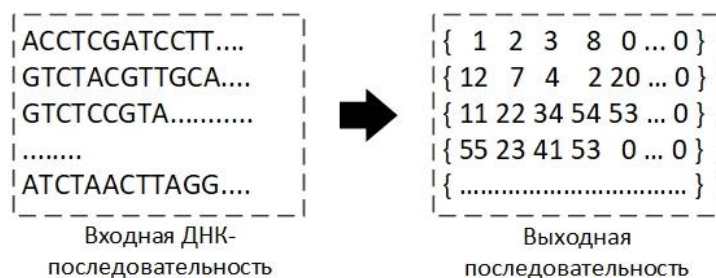


Рисунок 2 – Процесс секвенирования ДНК-массива

Согласно представлению рисунка 2, на этапе предварительной обработки входного вектора осуществляется трансляция ДНК, токенизация и заполнение выходной матрицы. Процесс токенизации представляет собой этап разделения последовательности для создания словаря по разделению на нуклеотидные основания для последующего представления всех данных в виде целочисленных массивов. На завершающем этапе осуществляется добавление символов для создания корректной матрицы значений.

Процесс обработки полученного массива данных осуществляется с использованием LSTM модели. Как представлено на рисунке 3, выходное состояние векторов скрытого слоя и слоя текущего состояния вследствие слияния передаются в декодер, где осуществляется создание последующей прогнозируемой последовательности.

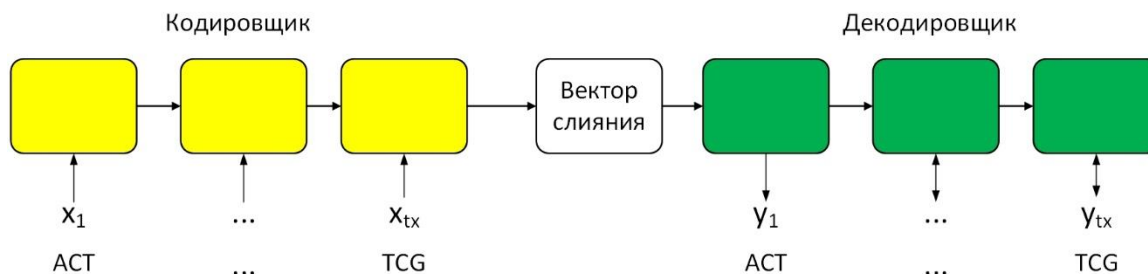


Рисунок 3 – Процесс обработки РНК при помощи LSTM

В качестве основной функции для нормализации значений является softmax, задаваемая формулой 1. Основной процесс программной реализации осуществляется с использованием нейросетевой библиотеки Keras и языка программирования Python [5].

$$S(y_i) = \frac{e^{y_i}}{\sum_j e^{y_j}}, \quad (1)$$

Вследствие процесса построения модели, был получен график обучения, представленный на рисунке 4, исходя из которого можно сказать, что построенная модель обучения действительно позволит осуществить прогнозирование изменений в РНК-записи.

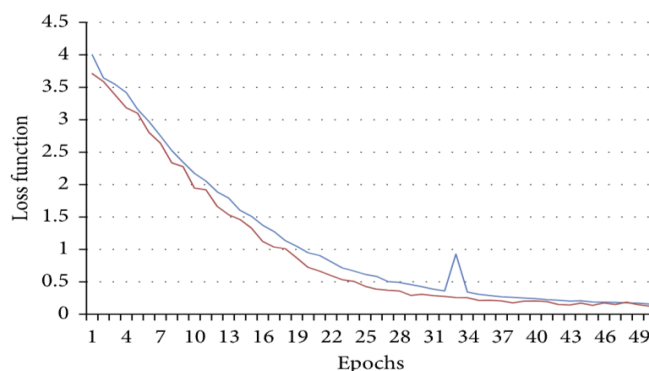


Рисунок 4 – Процесс обучения на тестовом РНК-наборе

В заключении можно сказать, что использование машинного обучения, в частности – средств обработки данных при помощи нейронных сетей глубокого обучения позволяет осуществить прогнозирование вирусной ситуации на основе данных РНК-вирусов.

#### Литература

1. Кириллова Е.А., Лазарев А.И. Программно-аналитический система прогнозирования и оценки реализации инновационных процессов в интеграционных формированиях // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2021. № 3. С. 47-57.
2. Tracking SARS-CoV-2 variants // World Health Organization [Электронный ресурс], URL: <https://www.who.int/en/activities/tracking-SARS-CoV-2-variants/> (дата обращения: 24.09.2021).
3. Gulli A., Kapoor A., Pal S. Deep Learning with TensorFlow 2 and Keras: Regression, ConvNets, GANs, RNNs, NLP, and more with TensorFlow 2 and the Keras API. 2nd ed. Birmingham: Packt Publishing, 2019.
4. Warr K. Strengthening Deep Neural Networks: Making AI Less Susceptible to Adversarial Trickery. 1st ed. изд. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2019.
4. Géron A. Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems. 2nd ed. изд. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2019.

*Е.А. Миненкова, студ.; А.А. Тютюнник, к.э.н., доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **АНАЛИЗ СРЕДСТВА ГЕНЕРАЦИИ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ «METASPLOIT PAYLOAD GENERATOR» ФРЕЙМВОРКА METASPLOIT**

На данный момент обеспечение информационной безопасности (ИБ) предполагает собой процесс многовекторного тестирования потенциальных угроз на целевых устройствах. К таким угрозам можно отнести различные атаки из популярных разделов сбора данных (Information Gathering), анализа уязвимостей (Vulnerability Analysis), эксплуатации веб-приложений (Web Applications), инструментария для работы с паролями (Password Attacks), атаки на беспроводные протоколы (Wireless Attacks), а также средства эксплуатации уязвимостей (Exploitation Tools). Данные средства при комплексном взаимодействии с друг другом позволяют провести массивную атаку с использованием, например программного обеспечения из раздела анализа и последующей эксплуатации уязвимостей.

Основным инструментом для эксплуатации уязвимостей на данный момент является инструмент Metasploit – фреймворк, позволяющий проводить процесс тестирование на проникновение с использованием графического интерфейса

(Metasploit Pro) или режима терминала (Metasploit Framework). Примечательной особенностью данного фреймворка является возможность эксплуатации как опубликованного кода конкретных уязвимостей при помощи базы уязвимостей – Common Vulnerabilities and Exposures (CVE) или разработки собственного программного кода с использованием вариативных языков программирования [1].

Сегодня в базу Metasploit включается более 1700 эксплойтов с поддержкой разнообразных платформ (Microsoft Windows, Android, PHP, Python, Web-App) и более 500 полезных нагрузок, обеспечивающих выполнение такого функционала как запуск полезных сценариев работы, динамические полезные нагрузки для аналитики, функциональные составляющие Meterpreter, статистические данные. Аналогичную базу данных предоставляет компания Rapid7, куда включаются совместимые с Metasploit уязвимости [2].

За счёт того, что данный инструмент является полнофункциональным инструментом тестирования безопасности, в его основные модули включаются (рисунок 1):

- эксплойты (метод поиска уязвимостей в устройстве / сегменте сети, приложения);
- пэйлоадеры (инструкции кода уязвимости);
- декодер (инструмент преобразования данных в другой формат);
- шелл-коды (код эксплуатации уязвимостей, запускаемый в пост-модуле процесса эксплуатации);
- слушатели (скрытое ПО, направленное на получение доступа);
- пост-модули (направлены на эксплуатацию дополнительных атак внутри атакуемой системы).

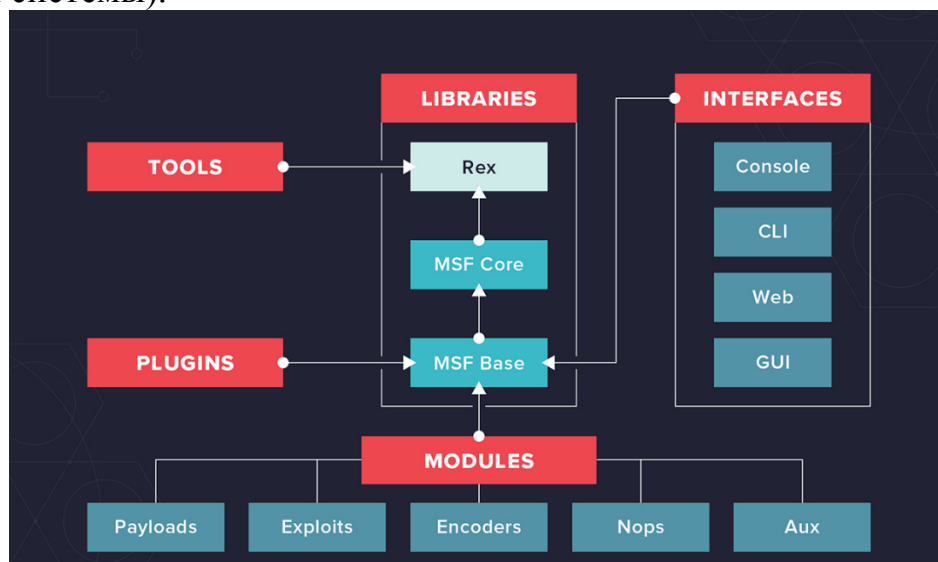


Рисунок 1 – Архитектура Metasploit

Наиболее популярным использованием инструментария Metasploit Framework является терминал, который позволяет командами осуществить аналогичные операции, что и графический режим. Например, рисунок 2 демонстрирует возможность эксплуатации уязвимости «CVE-2019-0708-bluekeep-rce), которая позволяет при наличии открытого порта RDP выполнить таргетиро-



ванную атаку на цель с последующим получением прав администратора на операционных системах Microsoft Windows.

```
msf5 exploit(windows/rdp/cve_2019_0708_bluekeep_rce) > check
[*] 192.168.1.138:3389 - Detected RDP on 192.168.1.138:3389 (Windows version: 6.1.7601) (Requires NLA: No)
[+] 192.168.1.138:3389 - The target is vulnerable.
[+] 192.168.1.138:3389 - The target is vulnerable.
msf5 exploit(windows/rdp/cve_2019_0708_bluekeep_rce) > exploit
[*] Started reverse TCP handler on 192.168.1.136:4444
[*] 192.168.1.138:3389 - Detected RDP on 192.168.1.138:3389 (Windows version: 6.1.7601) (Requires NLA: No)
[+] 192.168.1.138:3389 - The target is vulnerable.
[*] 192.168.1.138:3389 - Using CHUNK grooming strategy. Size 50MB, target address 0xfffffa8005607000, Channel count 1.
[*] 192.168.1.138:3389 - Surfing channels ...
[*] 192.168.1.138:3389 - Lobbing eggs ...
[*] 192.168.1.138:3389 - Forcing the USE of FREE'd object ...
[*] Sending stage (206403 bytes) to 192.168.1.138
[*] Meterpreter session 3 opened (192.168.1.136:4444 -> 192.168.1.138:49163) at 2019-09-10 08:07:21 -0400

meterpreter > shell
Process 1740 created.
Channel 1 created.
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Windows\system32>whoami
whoami
nt authority\system
```

Рисунок 2 – Эксплуатация уязвимости BlueKeep

Для автоматизации процесса эксплуатации уязвимостей существует ряд прикладных решений, одним из которых является компонент Metasploit Payload Generator, входящий в состав платформы мобильного тестирования на проникновение Nethunter, принадлежащей компании Offensive Security [3].

Продукт MSFvenom Payload Creator (MSFPC) является частью фреймворка, позволяющий создавать различные типы полезной нагрузки. Программный процесс автоматизации данного продукта в NetHunter представляется отдельным меню, куда включается ряд параметров для генерации нагрузки (рисунок 3).

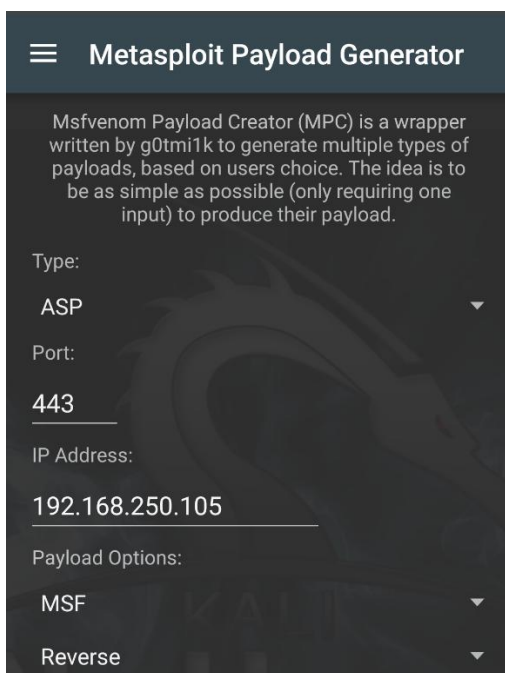


Рисунок 3 – Интерфейс Metasploit Payload Generator

В основные параметры данного компонента включается возможность выбрать вектор атаки, порт, ip-адрес. Также представляется возможным выбрать дополнительные опции:

1. Обратный или привязанный шелл (Reverse / Bind). Позволяет вернуть ответ терминала тестируемой системы на исходное устройство – то есть, возможность получить доступ к терминалу жертвы.

2. Поэтапный или бесступенчатый (Staged / Stageless). Данная опция обеспечивает вариативность выбора этапа взлома – либо модули выполняются в процессе эксплуатации каждого запускаемого модуля, либо полезная нагрузка сразу содержит весь исполняемый код и отправляется на целевую машину.

Таким образом, в результате анализа фреймворка Metasploit были выявлены основные преимущества его использования в процессе тестирования безопасности, а также рассмотрен инструмент автоматизации загрузки полезных нагрузок, который позволяет выполнять автоматизированное тестирование на проникновение.

#### Литература

1. What is Metasploit // Varonis [Электронный ресурс], URL: <https://www.varonis.com/blog/what-is-metasploit/> (дата обращения: 25.09.2021).
2. Vulnerability & Exploit Database // Rapid7 [Электронный ресурс], URL: <https://www.rapid7.com/db/?type=metasploit> (дата обращения: 25.09.2021).
3. NetHunter Metasploit Payload Generator // Kali Linux Documentation [Электронный ресурс], URL: <https://www.kali.org/docs/nethunter/nethunter-mpg/> (дата обращения: 25.09.2021).

*Р.Г. Мухарлямов д. ф.-м. н.; В.К. Бадяева, студент  
(Российский университет дружбы народов, Москва)  
vlada\_badyaeva@mail.ru , robgar@mail.ru*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ «КОНЬ-НАЕЗДНИК»**

### **Введение.**

Конный спорт – элегантный, захватывающий и один из самых травмоопасных видов спорта. Для слаженного взаимодействия лошади и всадника, последнему необходимо большое количество тренировок. Конюшни, как правило, располагаются на окраине города, что приводит к дополнительному расходу времени. Более того, занятия могут не состояться по причине болезни конника или карантина на конюшне. Поэтому целесообразно использование тренажеров, имитирующих верховую езду. Подобные тренажеры уже существуют на рынке и пользуются спросом.

Целью данной работы является описание динамики системы «конь–наездник» и постановка задачи математического моделирования для разработки рекомендаций по проектированию тренажеров, предназначенных для тренировок спортсменов и любителей. Задача всадника и лошади – подстроиться под движения друг друга, синхронизироваться. При этом всадник сначала должен научиться чувствовать движение лошади, а затем быть инициатором её движения и смены аллюра. Верховую езду можно назвать игрой в равновесие, потому что лошадь реагирует на малейшее изменение положения тела всадника [1].

## **Обзор основных движений системы «Конь-наездник».**

Приведем основные определения конного спорта, используемые в дальнейшем.

Аллюром называют способ хода, бега лошади. например: шаг, рысь, галоп.

Шаг – самый медленный аллюр. Подъем ног производится в следующей последовательности: правая передняя нога, левая задняя нога, левая передняя нога, правая задняя нога и т. д. Шаг лошади передает на спину всадника движение, подобное человеческой ходьбе. Это объясняет эффективность иппотерапии. [1]

Рысь – один из самых быстрых аллюров лошади. Лошадь шагает вперед диагональными парами ног: передняя правая - задняя левая, передняя левая - задняя правая. Поскольку движение обеих ног происходит одновременно, движение выполняется в два такта. [2]

Галоп – это самый быстрый прыжковый аллюр в три такта с фазой свободного подвисания (моментом, когда все четыре ноги лошади находятся в воздухе). [2] При галопе внутренняя поверхность бедра всадника автоматически выдвигается вперед и подвергается большей нагрузке. Важным моментом является то, что всадник не выполняет это движение сам, а скорее подчиняется движению лошади. частью движения лошади, вы сможете попытаться повлиять на него. Всадник может попытаться влиять на движение лошади лишь тогда, когда научится чувствовать движение лошади, являться с ней одним целым. [1]

Посадка всадника – его положение в седле. Центр масс всадника близок к вертикали центра масс лошади. [2] Вертикальная линия должна проходить через следующие точки: ухо, плечевой сустав, тазобедренный сустав, пятка.

Умение управлять лошастью с помощью посадки важно для верховой езды. В этом случае всадник будто сливается в единое целое со своей лошастью. Правильное положение в седле помогает сохранять равновесие. Без умения балансировать в седле всадник будет удерживаться на лошади с большим трудом или упадет с нее. [1]

Есть два типа посадки: выездковая и облегченная. При выездковой посадке верхняя часть туловища всадника остается спокойной и вертикальной. Таз выступает в качестве стабильной опоры. Ноги, свисающие с бедер, действуют как маятники и помогают стабилизировать равновесие. [1]

В облегченной посадке верхняя часть тела всадника немного наклонена вперед. При наклоне вес распределяется между бедрами и коленами. Индивидуальный центр тяжести всадника должен быть выше центра тяжести лошади. В более быстром галопе и в прыжках используется облегченная посадка. В таком положении туловище уравнивается ногами. Кроме того, все движения лошади воспринимаются всеми суставами, вплоть до пяток всадника. [1]

Когда всадник движется вместе с лошастью, происходит равномерное чередование фаз опирания и подвисания четырех конечностей лошади, и движения лошади являются колебательными.

### Математическая модель системы.

Механическую модель всадника и лошади представим системой двух материальных точек, соответствующих центрам масс наездника и лошади. Пусть  $m_1, m_2$  – соответственно массы наездника и коня,  $z_1, z_2$  – координаты их центров масс в неподвижной прямоугольной системе координат с осью  $Oz$  направленной по вертикали вверх. Динамика системы описывается уравнениями:

$$\begin{cases} \frac{dz_1}{dt} = v_1, \\ \frac{dz_2}{dt} = v_2, \\ m_1 \frac{dv_1}{dt} = F_1 - m_1 g, \\ m_2 \frac{dv_2}{dt} = -F_1 + F_2 - m_2 g, \end{cases} \quad (1)$$

$$z_k(t_0) = z_{k0}, \quad v_k(t_0) = v_{k0}, \quad k = 1, 2. \quad (2)$$

Здесь  $F_1$  – давление всадника на лошадь,  $F_2$  – сила, с которой конь отталкивается от земли,  $g$  – ускорение свободно падающего тела. В процессе движения силы  $F_1, F_2$  должны изменяться так, чтобы выполнялись условия, накладываемые на положения центров масс наездника и лошади:

$$f_k(z, t) = 0, \quad z = (z_1, z_2), \quad k = 1, 2. \quad (3)$$

Представим систему (1), начальные условия (2) и уравнения связей (3) в компактном виде

$$\frac{dx_i}{dt} = X_i(x) + b_i^k u_k, \quad (4)$$

$$x_i(t_0) = x_{i0}, \quad (5)$$

$$f_k(x_1, x_2, t) = 0, \quad f_{2+k}(x, t) = 0, \quad (6)$$

$$i = 1, 2, 3, 4, \quad k = 1, 2,$$

$$x_1 = z_1, \quad x_2 = z_2, \quad x_3 = v_1, \quad x_4 = v_2,$$

$$x = (x_1, x_2, x_3, x_4), \quad X = (X_1, X_2, X_3, X_4),$$

$$X_1 = x_3, \quad X_2 = x_4, \quad X_3 = X_4 = -g,$$

$$u_1 = m_1^{-1} F_1, \quad u_2 = m_2^{-1} F_2,$$

$$b_1^k = b_2^k = 0, \quad b_3^1 = 1, \quad b_3^2 = 0, \quad b_4^1 = -\kappa, \quad b_4^2 = 1, \quad \kappa = m_1 m_2^{-1}.$$

Здесь и всюду в дальнейшем производится суммирование по одинаковым индексам. Очевидно, что при подстановке начальных значений (5), определенных приближенно, и в процессе численного интегрирования уравнений динамики (4) левые части уравнений связей (6) и их производных будут отличны от нуля. Для оценки этих отклонений введем новые переменные  $y_i$ , определив их равенствами

$$y_i = f_i(x, t). \quad (7)$$

Для выполнения уравнений связей (6) с требуемой точностью следует использовать уравнения программных связей, определяемых равенствами (7), и составив уравнения возмущений связей [4]:

$$\frac{dy_i}{dt} = Y_i(y, x, t), \quad Y_i(0, x, t) = 0. \quad (8)$$

В соответствии с уравнениями динамики (4) правые части уравнений (8) могут быть представлены в следующем виде:

$$Y_k = Y_{2+k}, \quad Y_{2+k} = Y_{2+k}(y, x, t). \quad (9)$$

При этом из уравнений возмущений связей (8) с учетом выражений (4),(7),(9) следуют соотношения

$$\begin{aligned} f_{2+s}(x, t) &= \frac{\partial f_s}{\partial x_k} \delta^{kr} x_{2+r} + \frac{\partial f_s}{\partial t}, \\ \frac{\partial f_{2+s}}{\partial x_l} \delta^{lj} (X_j(x) + b_j^k u_k) + \frac{\partial f_{2+s}}{\partial t} &= Y_{2+s}(f(x, t), x, t), \quad i, j, l = 1, 2, 3, 4, \\ \delta^{kr} &= 0, \quad k \neq r, \quad \delta^{rr} = 1, \quad s, k, r = 1, 2. \end{aligned} \quad (10)$$

Равенства (10) составляют систему линейных алгебраических уравнений относительно управляющих сил  $u_1, u_2$ :

$$\begin{aligned} a_s^k u_k &= a_s, \\ a_s^k &= \frac{\partial f_{2+s}(x, t)}{\partial x_l} \delta^{lj} b_j^k, \quad a_s = Y_{2+s}(f(x, t), x, t) - \frac{\partial f_{2+s}(x, t)}{\partial x_l} \delta^{lj} X_j(x) - \frac{\partial f_{2+s}(x, t)}{\partial t}. \end{aligned} \quad (11)$$

Если  $\det(a_s^k) \neq 0$ , решением системы уравнений (11) определяются выражения управляющих сил

$$u_k = c_k^s a_s, \quad (c_k^s) = (a_s^k)^{-1}, \quad s, k, p = 1, 2. \quad (12)$$

Подстановка полученных выражений сил (9) в уравнения динамики (4) приводит к замкнутой системе уравнений движений центров масс всадника и лошади:

$$\frac{dx_i}{dt} = X_i(x) + b_i^k c_k^p(x, t) \left( Y_{2+p}(f(x, t), x, t) - \frac{\partial f_{2+p}(x, t)}{\partial x_l} \delta^{lj} X_j - \frac{\partial f_{2+p}(x, t)}{\partial t} \right), \quad (12)$$

решение которой при соответствующих начальных условиях

$$x_i(t_0) = x_{i0}, \quad f_k(x_0, t_0) = 0, \quad \frac{\partial f_k(x_0, t_0)}{\partial x_s} x_{2+s,0} + \frac{\partial f_k(x_0, t_0)}{\partial t} = 0, \quad (13)$$

удовлетворяет уравнениям связей (6). Если начальные условия не соответствуют уравнениям связей (6),

$$f_i(x_0, t) = y_{i0}, \quad (14)$$

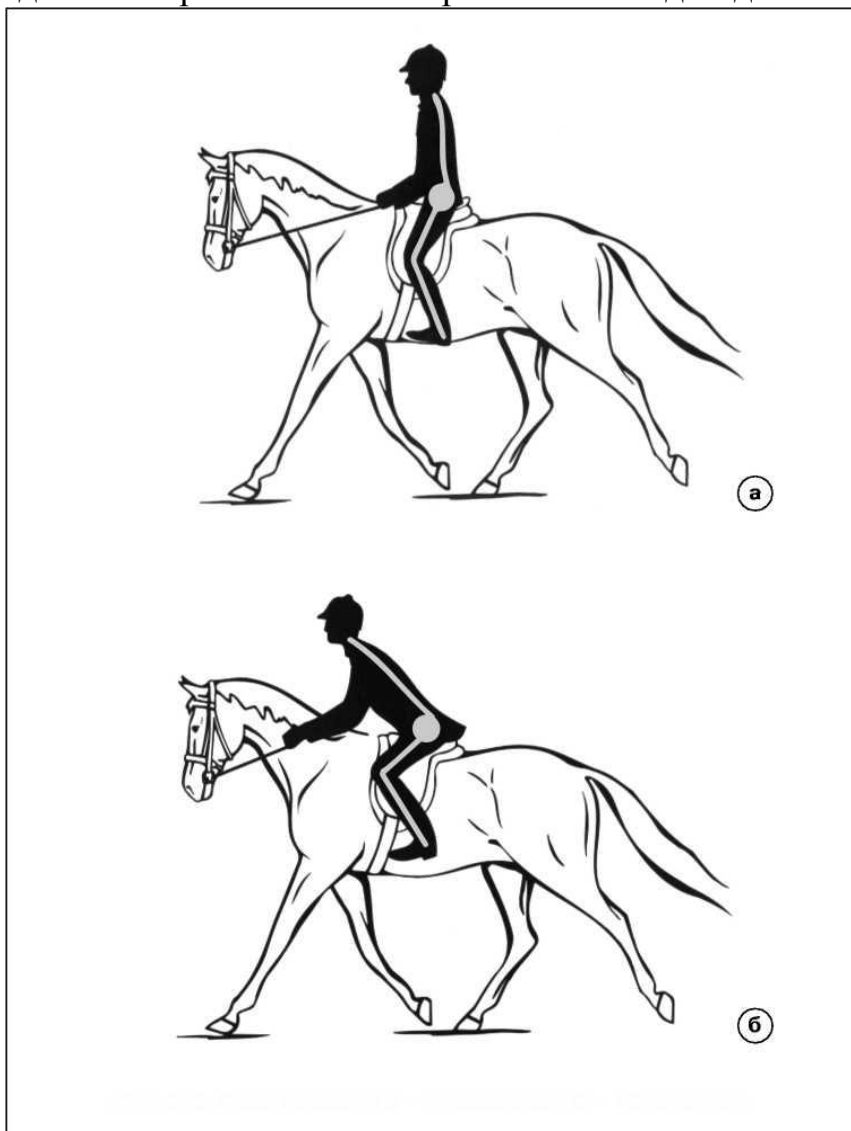
то выражения управляющих сил  $u_k$  должны быть определены в соответствии с условиями стабилизации связей [3]. Для этого необходимо наложить соответствующие ограничения на правые части уравнений возмущений связей (8) [4].

### Эволюция моделей описания динамики системы «Конь-наездник».

Первой была предложена простая модель, состоящая из двух тел соединенных двумя пружинами. Пружины играли роль ног всадника. Затем было предложено описание с помощью двух материальных точек и сил (сила давления всадника на лошадь и сила, с которой конь отталкивается от земли).

В настоящее время исследуются способы построения механической модели системы «Конь-наездник», состоящей из стержней и пружин. Стержни играют

роль ног человека, согнутых в коленях. В дальнейшем планируется продолжение исследований применительно к различным видам движения.



Виды посадки: а – выездковая; б – облеченная. [1]

### **Выводы.**

Математическое моделирование динамики системы конь-наездник позволяет решать задачи проектирования тренажеров, соответствующих различным видам движений. В качестве механической модели принимается система двух тел. Методы построения уравнений динамики и решения задач управления системой с программными связями позволяют определить силы, обеспечивающие движения наездника и коня по заданному закону.

### **Литература**

1. Дитце, С. Равновесие в движении. Посадка всадника: пер. с нем. / С. Дитце. - М.: Московский конноспортивный клуб инвалидов, 2001. - 202 с.
2. Гуревич Д. Я. Словарь-справочник по коневодству и конному спорту/ Д. Я. Гуревич, Г. Т. Рогалев. — М.: Росагропромиздат, 1991. — 240 с.
3. Baumgarte J, Stabilization of constraints and integrals of motion in dynamical systems // Comp. Math. Appl. Mech. Eng. 1 (1972), 1-16.
4. Р.Г. Мухарлямов. Управление динамикой системы с дифференциальными связями // Известия РАН. Теория и системы управления. – № 4. – 2019, с. 16-28.

*А.В. Полячков, к. т. н., доцент.*

*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **МОДЕЛЬ МНОГОКООРДИНАТНОЙ АССОЦИАТИВНОЙ ПАМЯТИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НА FPGA**

Современные требования к средствам вычислительной техники ставят задачи обработки больших массивов данных. Как отмечено в работах [1,2], структурированные и неструктурированные данные могут описываться пространственными структурами, для обработки которых применимы многокоординатные ассоциативные среды (МКАС).

Для эффективного применения МКАС необходимо иметь средства, реализующие МКАС, под которыми следует понимать аппаратные и программные средства. Аппаратная часть этих средств позволяет максимально использовать параллелизм для достижения наивысших скоростей обработки.

Разработка аппаратных средств МКАС не может использовать специализированные ассоциативные ИС по причине их отсутствия. Но ассоциативные устройства входят, как составная часть, в изготавливаемые и успешно применяемые устройства, такие как кэш-память, маршрутизаторы и другие устройства.

В сложившейся ситуации наиболее реальным является путь использования программируемой логики типа FPGA для реализации оригинальных устройств и, в частности, средств обработки данных с использованием МКАС.

Опыт использования программируемой логики для реализации МКАС [3] позволяет сформулировать требования к организации их структуры и моделированию.

Перечислим особенности организации МКАС, которые вызывают затруднения при моделировании и реализации на FPGA:

- многомерность;
- структура ассоциативных ячеек.

Многомерность МКАС не соответствует структуре FPGA, которая условно может считаться двумерной. Поэтому «упаковка» ассоциативных ячеек производится в ячейки матрицы FPGA, ресурсы которой обычно полностью не используются.

Схемотехника ассоциативных ячеек имеет структуру, которая содержит цепочки узлов «запоминающий элемент – логические элементы». Для FPGA ячейки программируемой матрицы имеют обратные по последовательности цепочки «логические схемы (логические матрицы) – запоминающий элемент».

По этим причинам, если реализовывать модель МКАС без учета структуры FPGA, возникают издержки:

- неэффективное использование ячеек матрицы FPGA;
- снижение потенциально возможной скорости обработки данных.

Для описания структуры и поведения моделей для FPGA в настоящее время чаще всего используются языки описания аппаратных средств (HDL) - VHDL и



Verilog. Также существуют компиляторы с СИ и OpenCL для последующей реализации на FPGA. Компиляции с моделей, описанных на высокоуровневых языках на HDL, в настоящее время неплохо реализуют устройства, предназначенные для цифровой обработки сигналов, и несколько хуже реализуют устройства, подобные МКАС. По этой причине для МКАС предпочтительнее использовать VHDL или Verilog.

Современные FPGA имеют в своей структуре встроенные блоки памяти, которые могут использоваться для реализации ассоциативной памяти.

Для структуры МКАС, которую будем реализовывать на FPGA, сделаем следующие допущения:

- процессы записи, хранения и чтения данных в МКАС не зависят от операций ассоциативного поиска и сравнения;
- ассоциативные ячейки, входящие в пространство МКАС, могут быть представлены состоящими из элементов памяти и логических схем, реализующих ассоциативный поиск и сравнение;
- элементы памяти ассоциативных ячеек образуют в своей совокупности матрицу памяти МКАС;
- логические схемы ассоциативных ячеек образуют логические матрицы по отдельным направлениям поиска и сравнения;
- матрица памяти и логические матрицы, образующие МКАС, при реализации модели проецируются на матрицу FPGA в двумерном виде.

На рисунке 1. представлена структура МКАС, содержащая матрицу памяти (МП) и две логические матрицы (ЛМ1, ЛМ2).

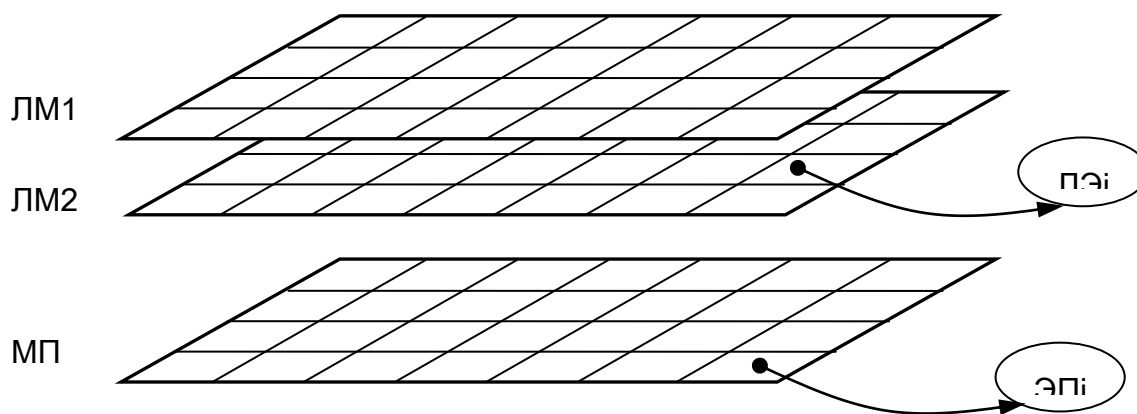


Рисунок 1. Структура МКАС.

Матрицы имеют прямоугольные формы, которые могут:

- быть удобно представленными и на VHDL, и на Verilog;
- размещать многомерную структуру данных;
- реализовывать поиск и сравнения по отдельным направлениям.

Логических матриц может быть больше двух.

Организация элементов памяти в матрицу, отделенную от логических элементов, позволяет реализовать запись в элементы памяти и считывание из них данных независимо от операций поиска и сравнения. Также такое отдельное



описание этой структуры МКАС позволяет реализовать как последовательный, так и произвольный (адресный) доступ к данным, в зависимости от конкретной реализации и применения МКАС.

Ассоциативные элементы в соответствующих матрицах могут образовывать собственные связи с целью реализации логических операций, например, поиска и/или сравнения. Размерности ассоциативных матриц могут не соответствовать друг другу, так как они соответствуют своим проекциям в МКАС.

Предложенная структура для 2-х координатной МКАС была реализована на Verilog в среде проектирования Quartus Prime версии 20.1.

Структура модели МКАС состоит из модулей:

- ввода-вывода;
- описания элементов памяти и логических элементов;
- логических матриц и матрицы памяти, состоящих из логических элементов и элементов памяти соответственно;
- дополнительных узлов, организующих интерфейс сопряжения МКАС.

Размерность матрицы элементов памяти модели МКАС 32x32. Доступ к этой памяти организован с произвольным доступом по строкам матрицы 32-х разрядными словами.

Для организации ассоциативного поиска по строкам и столбцам реализованы две логические матрицы. Вывод сравнения возможен по отдельности по каждому из направлений сравнения.

То, что матрица элементов памяти состоит из отдельных ячеек, позволяет формализовать структуру логических матриц и их связей с матрицей данных. В описаниях модулей используются сформированные списки связей. Списки связей получают или в форме функции, или в форме таблицы.

Для проверки работоспособности модели использовались FPGA серии Cyclone. Матрица элементов памяти для этих FPGA полностью размещается во встроенных блоках памяти.

Для проверки использовались элементы задач обработки изображений, постановка которых рассмотрена в [1].

Проверено размещение МКАС размерностью 256x256.

Разработанная модель МКАС предполагается для применения в качестве составной части средств обработки данных и в учебном процессе.

#### Литература

1. Огнев И.В., Борисов В.В. Ассоциативные среды. – М.: Радио и связь, 2000. -312 с.
2. Огнев И.В., Борисов В.В. Сутола Н.А. Ассоциативные память, среды, системы. М.: Горячая линия – Телеком, 2016. -420 с.
3. Борисов В.В., Полячков А.В. Моделирование ассоциативной среды на основе FPGA // Системы компьютерной математики и их приложения. 2013. № 14. С. 11–13

## **ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ НЕФОРМАЛИЗОВАННЫХ ПУНКТОВ В АКТАХ О НЕСЧАСТНОМ СЛУЧАЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕ ПО ФОРМЕ Н-1 ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ**

Проблема обработки неформализованного текста для извлечения из него необходимой информации достаточно актуальна в наше время, так как объемы генерируемой по всему миру информации растут экспоненциальными темпами, а качество её представления становится всё ниже. Достаточно большое количество информации в неформализованном виде, что неудобно для её обработки, а также накладывает ряд ограничений для её анализа. Одно из таких ограничений – необходимость ручной обработки текста, а также ручная формализация и структурирование информации оператором для внесения в систему автоматизированной обработки [1].

Для того чтобы сократить обработку большого объема данных, выделить из них ценные сведения и автоматически занести в систему обработки информации сейчас активно используется машинное обучение. Машинное обучение предоставляет широкий спектр инструментов для работы со структурированной информацией, извлечения знаний, получения новых знаний на основании имеющихся данных и фактов. Широко распространены библиотеки и инструменты машинного обучения, такие как Pandas, NumPy, NLTK, Scikit-learn [2].

В сфере управления профессиональными рисками на уровне Фонда социального страхования РФ, а также на уровне отдельных крупных производственных предприятий и холдингов накоплен значительный объем информации и статистики реализации профессиональных рисков. Такая информация фиксируется в формах Н-1 [3]. Основная сложность автоматической обработки такой информации состоит в слабой структурированности данных внутри формы. Так, основная информация, представляющая интерес с точки зрения снижения вероятности повторной реализации рисков заключена в описании происшествия, выполняемого в неформализованном виде (свободной форме). Формализация и обобщение данных о несчастных случаях позволит выработать эффективные меры и рекомендации по управлению профессиональными рисками на различных уровнях управления.

Обработка актов Н-1 должна включать этапы:

- 1) Анализ – аннотирование неформализованных пунктов акта с помощью инструментов машинного обучения и выделения из них определенного вида данных, с целью их последующей переработки.
- 2) Постобработка полученных данных, которая подразумевает поиск и выделение различных типов зависимостей в данных с дальнейшим их структурированием в виде формализованных знаний (например, фактов).

3) Сериализация полученной модели в удобных формат для последующей работы с ней.

Под анализом акта Н-1 будем понимать аннотирование неформализованных пунктов акта с помощью инструментов машинного обучения и выделения ценных данных, и дальнейшее их хранение для постобработки.

Постобработка будет в себя включать переработку аннотированной информации путем семантического анализа предварительно обработанного текста с целью выделения из него знаний для последующего формирования онтологической модели и дальнейшей работы с этой моделью в том числе извлечения скрытых зависимостей.

Последний этап обработки – перенос накопленных знаний посредством онтологии в необходимый формат для продолжения работы с моделью знаний.

Рассмотрим каждый этап подробнее:

1) В случае, если информация имеется только в сканированном виде, для распознавания исходного текста можно применить стороннюю библиотеку, например, Tesseract OCR. Одним из главных преимуществ использования данной библиотеки является поддержка русского языка и большая точность распознавания текстов ввиду наличия обученных моделей. В ином, и самом часто встречающемся случае, предполагается, что информация на входе будет представлена в виде машиночитаемого текста.

2) Аннотирование полученного текста можно делать различными способами и с использованием принципиально разных инструментов. В нашем случае достаточно гибкие и удобные инструменты — это библиотеки для создания моделей seq2seq и pg (со стемами и флексиями – основное слово + окончания, т.е. морфология слов). На данном этапе планируется уменьшать размерность данных путем их аннотирования для дальнейшей обработки на следующем этапе.

3) Самый трудозатратный этап – построение онтологической модели.

Данный этап подразумевает определение классов объектов, описание отношений этих объектов на формальном языке. Данный процесс начинается с формирования таксономического ядра онтологии, т.е. базовой онтологической структуры, где отображаются основные понятия предметной области и связи между ними.

Основные подходы для автоматического формирования онтологий – это подходы основанные на методах статистики, на продукционных методах и на применении формальных понятий [4].

Статистические методы чаще всего используются для извлечения знаний в различных системах. Эти методы включают в себя готовые алгоритмы выделения терминов из текста на естественном языке, по которым далее определяются классы онтологической модели.

Продукционные модели рассматривают исходный текст как некоторое утверждение, где для определения семантики используется ситуационный подход. Данный подход непрерывно связан с понятием пропозиции, что означает что при анализе текста будет происходить с использованием

продукционных правил, ядром которого будет являться пропозиция. Где продукционные правила представлены парами «условие-следствие» и связями между ними.

Модели на основе анализа формальных понятий позволяют построить множество формальных понятий и вывести на нем отношение обобщения. Такой анализ позволяет выявить таксономические отношения между понятиями, построив формальные понятия [5].

Заключительный этап – сериализация полученной модели в необходимый для цели исследования формат, а именно XML. Данный формат необходим для последующей трансформации модели и унификации формата для развития, или дополнения полученной модели знаний [6].

В данной статье была рассмотрена проблема обработки неформализованных данных на примере акта о несчастном случае на производстве формы Н-1. Были рассмотрены проблемы обработки неформализованной информации и способы их решения, путем использования современных инструментов для обработки данных. Выделены этапы для обработки неформализованной информации. Предложены инструменты, обеспечивающих реализацию каждого из этапов.

#### Литература

1. Чельшев Э.А., Оцоков Ш.А., Раскатова М.В. Разработка информационной системы для автоматической рубрикации новостных текстов // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2021. – Т.6 №3(21) с. 2-7
2. Инструменты машинного обучения. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – <https://tproger.ru/articles/machine-learning-tools-for-dummies/> (10.09.2021)
3. Об утверждении форм документов, необходимых для расследования и учета несчастных случаев на производстве, и положения об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях : постановление Минтруда России от 24.10.2002 N 73 (ред.от 14.11.2016) // Российская газета. - 2016. - 12 дек. - С. 3-4.
4. Создание сетей терминов на основе анализа текстов. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – <https://habr.com/ru/post/219243/> (02.09.2021)
5. Создание аннотированного текста на основе ML [Электронный ресурс] – Режим доступа. – <https://habr.com/ru/company/abbyy/blog/479400/> (10.09.2021)
6. Сеньков А.В. Формат базы знаний системы поддержки принятия решений для интеллектуального управления комплексными рисками в сложных организационно-технических системах // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2017. – Т.2 №3(5) с. 23-34

*В.А. Тихонов, к. т. н., доц.; А.Р. Козлова, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РЕЗЕРВИРУЕМЫХ СИСТЕМ**

Современные сложные технические системы, такие как аппаратура сбора и выдачи телеметрической информации, характеризуются усложнением структуры и повышением требований к надежности системы [1]. Одним из методов повышения надежности является резервирование блоков системы.

Для анализа надежности сложных систем широко применяются Марковские модели и метод структурных схем надежности [2].

Марковские модели обладают большей широтой действий, используются для анализа как невозстанавливаемых, так и восстанавливаемых систем.

Модели допускают зависимость отказов одних блоков от других, выполнение нескольких функций блоками (функциональную избыточность), позволяют оценивать влияние последовательности отказов. Эти модели учитывают работу резерва в нагруженном, облегченном и ненагруженном режимах.

Марковские модели основаны на построении и анализе графов состояний, требуют составления и решения системы дифференциальных уравнений и позволяют оценить вероятность любого состояния системы и вероятность работоспособного состояния всей системы. Однако применение данных моделей требует специальной подготовки работников по теории надежности, информационным технологиям.

Метод структурных схем надежности применяется для анализа невозстанавливаемых систем, у которых отказы отдельных блоков являются статистически независимыми событиями, и оперирует со структурными схемами. На этих схемах отображается каждый функциональный элемент системы, имеющий только два состояния (работоспособен и неработоспособен) и индивидуальный поток отказов. Метод достаточно прост в использовании и не требует решения дифференциальных уравнений. Разработаны правила преобразования структурных схем, которые позволяют упростить структурную схему и достаточно просто оценить надежность системы [2]. Причем, процесс преобразования структурных схем может быть легко запрограммирован.

Однако в силу того, что блоки структуры имеют только два состояния, метод структурных схем не предусматривает описания использования ненагруженного режима.

Ряд сложных систем в силу технических причин или ограничений по стоимости не позволяют иметь в составе функционирующей системы дополнительных (в частности, ненагруженных) резервных блоков, а могут подключаться только при выходе из строя основного или резервного блока системы. Кроме того, необходимость повышения надежности аппаратуры в ряде случаев требует включения в систему дополнительных резервных блоков или замены резервных блоков, отработавших свой ресурс.

При этом требуется оценка надежности системы после отказа и после установки резервного блока.

Оценка надежности системы в случае такого отказа требует изменения самой модели.

В случае Марковской модели при отказе блока необходимо изменить граф состояний, составить и решить новую систему дифференциальных уравнений. Наиболее трудоемкий этап – решение системы дифференциальных уравнений.

В случае метода структурных схем при отказе будет исключен один из блоков структуры. Правила преобразования структурных схем позволят упростить новую структуру и оценить без сложных вычислений надежность такой системы.

Если надежность системы при отказе резервного блока не соответствует требуемой, то производится подключение нового резервного блока и оценка надежности системы после восстановления.

При этом Марковская модель будет иметь исходный граф состояний. Надежность полученной системы и степень сложность расчетов будет зависеть от распределения интенсивностей отказов. В сложных системах, где используются все режимы работы резерва, отказ функционирующего блока приводит к загрузке ненагруженного резервного блока. Подключаемый резервный блок переходит в ненагруженный режим работы. Оценка надежности в этом случае производится по исходным дифференциальным уравнениям.

Если система не предполагает в своем составе ненагруженного резерва, то подключаемый резерв должен функционировать в нагруженном или облегченном режиме. Включение резервного блока с другими начальными условиями существенно усложнит решение системы дифференциальных уравнений.

При использовании метода структурных схем в случае подключения нового резерва также должна рассматриваться исходная структура, в которой появится блок с нулевым начальным временем наработки. На рисунке 1 показан фрагмент структурной схемы надежности с резервированием, в котором отказал и был заменен блок 2.

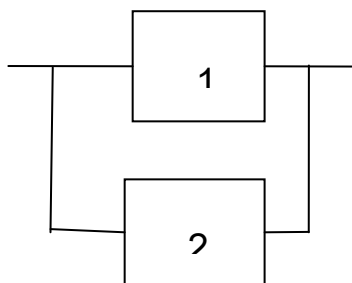


Рисунок 1 – Фрагмент структурной схемы надежности

Вероятность безотказной работы такого узла  $p(t)$  после замены может быть оценена в соответствии с выражением (1)

$$p(t) = 1 - (1 - p_1(t)) \cdot (1 - p_2(t - T)) = 1 - (1 - e^{-\alpha_1 t}) \cdot (1 - e^{-\alpha_2 (t - T)}), \quad (1)$$

где  $p_1(t)$  – вероятность безотказной работы блока 1,  $p_2(t - T)$  – вероятность безотказной работы блока 2 после его замены,  $t$  – наработка системы,  $T$  – наработка отказавшего основного или резервного элемента,  $\alpha_1$  – интенсивность отказов блока 1,  $\alpha_2$  – интенсивность отказов блока 2.

Выражение (1) путем коррекции промежутка времени  $T$  позволяет учесть и наработку подключаемого резервного блока.

Анализ надежности всей системы не приведет к существенным вычислениям, как это присутствует при анализе надежности с использованием Марковской модели.

Достаточно важной задачей является оценка надежности работающей системы при использовании дополнительного резервирования. Данный метод позволяет повысить надежность системы и продлить срок ее эксплуатации.

Оценка надежности для этого варианта по Марковской модели требует построения нового графа состояний, соответствующего построения и трудоемкого решения системы дифференциальных уравнений с учетом начальных условий подключаемого резервного блока.

При использовании метода структурных схем введение дополнительного резервного элемента в систему требует незначительной коррекции структурной схемы надежности и учета надежности резервного блока в соответствии с выражением (1).

Таким образом, метод структурных схем позволяет существенно упростить и ускорить анализ надежности резервируемых систем при отказе основного или резервного блоков и подключении новых резервных блоков.

#### Литература

1. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой связи. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 270 с.
2. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.

*В.П. Фомченков, к.т.н., доц.*

*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **СЕТЕВАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ИНТЕГРИРОВАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

*В статье рассматривается современное направление инновационного развития промышленного производства, связанное с интеграцией на основе технологий промышленного Ethernet ранее изолированных уровней управления АСУТП и АСУП. Предлагается вариант обобщенной архитектуры инфокоммуникационной инфраструктуры промышленного предприятия, достоинством которой является детализированное представление как сетевой, так и информационной инфраструктуры как интегрированной автоматизированной системы.*

В апреле 2011 года на промышленной выставке-ярмарке в Ганновере впервые были представлены основные положения концепции «Индустрия 4.0», в которой были сформулированы важнейшие направления инновационного развития промышленности в XXI веке [1]. С 2014 года концепция стала активно внедряться в такие отрасли, как машиностроение, автомобильная промышленность, транспорт. «Индустрия 4.0» тесно связана с понятием «умного производства», которое основано на широкой компьютеризации технологических процессов, использовании киберфизических систем, облачных технологий и Интернета вещей, предполагающих как независимый обмен данными между устройствами, входящими в состав систем промышленной автоматизации, в том числе и через глобальные сети и сети 5G, так и интеграцию ранее изолированных уровней управления АСУТП и АСУП.

Россия несколько запоздало, но все же подключилась к этому процессу. 14 февраля 2017 г. в Сколково на заседании президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России была обсуждена и утверждена дорожная карта «Технет», предусматривающая комплекс мер, которые, в частности, должны к 2035 году

обеспечить вхождение России в десятку ведущих стран «Индустрии 4.0», создание 40 собственных «умных производств», становление российских компаний как производителей и поставщиков технологий «фабрик будущего» [2].

А ведь еще на рубеже 80-х и 90-х годов в нашей стране уже было понимание важности этого направления развития автоматизации производства, что нашло свое отражение в закреплении в ГОСТ 34.003-90 «Автоматизированные системы. Термины и определения» такого понятия, как «интегрированная автоматизированная система» (ИАС). В широком смысле под интеграцией различных автоматизированных систем предприятия понимается их объединение во взаимосвязанную ИАС и формирование таким образом его единого информационного пространства. Важнейшим этапом этого процесса является интеграция АСУ предприятием (АСУП) и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП).

Технически реализация такой интеграции стала возможной благодаря бурному развитию в последние годы технологий промышленных сетей, в частности появлению промышленного Ethernet, позволившего связать полевые сети технологического уровня и офисные локальные сети предприятия.

Как правило, для промышленных предприятий сетевую и информационную инфраструктуру рассматривают отдельно. Сетевая инфраструктура часто изображается в виде так называемой пирамиды автоматизации, имеющей от 3-х до 5-ти уровней, иногда с указанием того, какие информационные системы используются на различных уровнях. Пример представления сетевой инфраструктуры в виде пирамиды автоматизации представлен на рисунке 1.

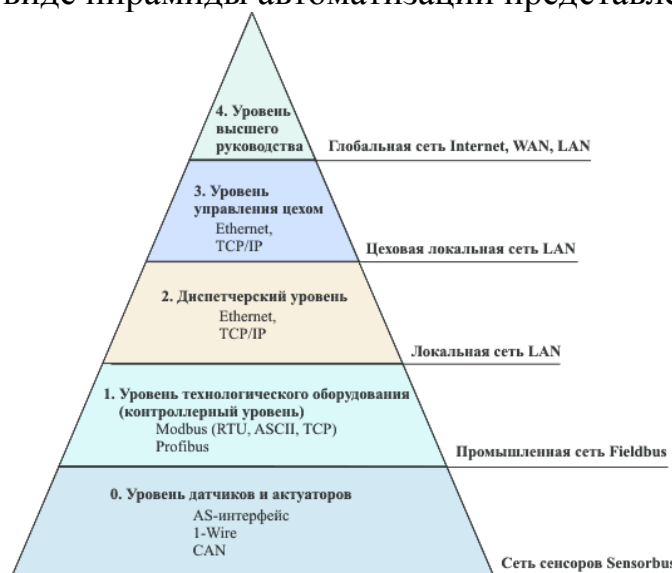


Рисунок 1 – Сетевая инфраструктура промышленного предприятия в виде пирамиды автоматизации

Источник: [https://www.bookasutp.ru/Chapter1\\_1\\_4.aspx](https://www.bookasutp.ru/Chapter1_1_4.aspx)

Информационная инфраструктура предприятия также изображается в виде пирамиды, однако с точки зрения отображения информационной составляющей наиболее удачной является структура ИАС промышленного предприятия от компании Siemens (см. рисунок 2).



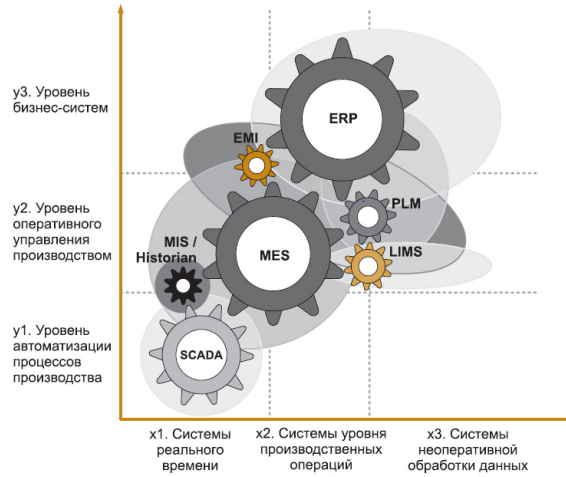


Рисунок 2 – Структура ИАС промышленного предприятия  
 Источник: Бурдин А.В., Занин И.В., Шопин А.Г. MIS и EMI: информационные системы уровня MES // Автоматизация в промышленности. 2009. № 9. С. 28-34.

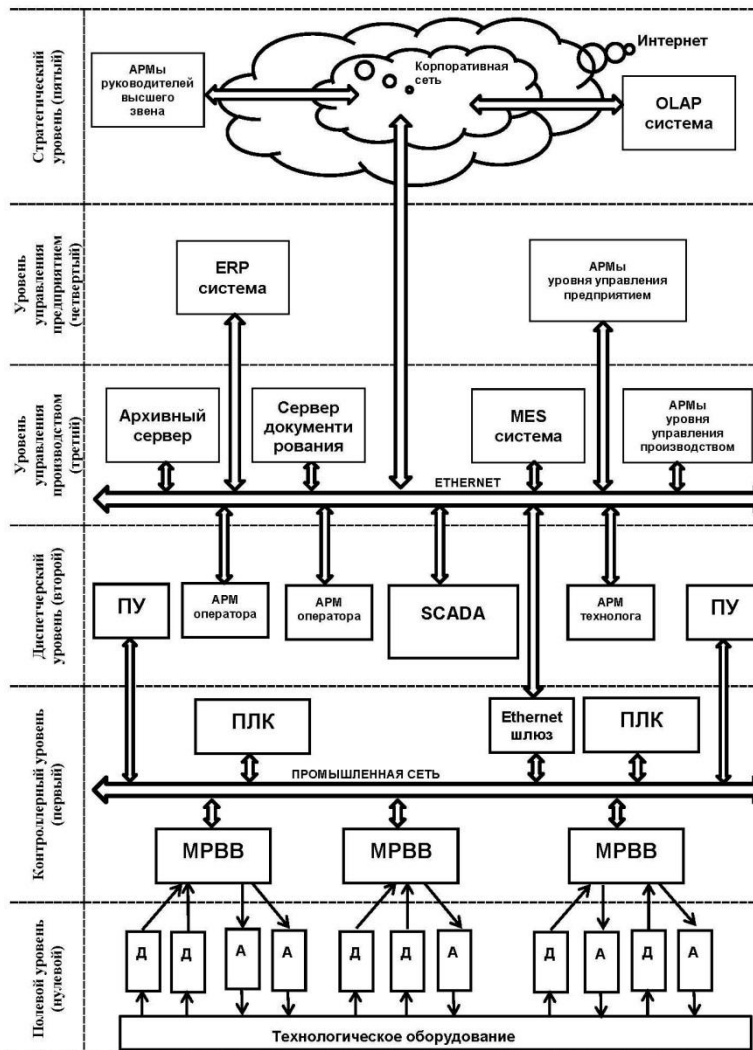


Рисунок 3 – Обобщенная архитектура сетевой инфраструктуры интегрированных автоматизированных систем

Для разработчиков и администраторов интегрированных информационных систем важно иметь представление не только об архитектуре самих этих систем,

но и о сетевой инфраструктуре, на основе которой они построены. На рисунке 3 приведена разработанная автором обобщенная архитектура инфокоммуникационной инфраструктуры промышленного предприятия.

*Нулевой (полевой) уровень* представлен датчиками (Д) и исполнительными устройствами (А – актуаторами).

На первом уровне работают программируемые логические контроллеры (ПЛК), которые связаны с датчиками и актуаторами по промышленной сети через модули распределенного ввода-вывода (МРВВ). На этом же уровне функционируют не отмеченные на схеме локальные системы автоматического управления.

Второй уровень называют либо диспетчерским, либо уровнем ЧМИ (человеко-машинного интерфейса). Наиболее распространенным вариантом для построения ЧМИ является использование SCADA-систем. На этом уровне используются пульты управления (ПУ), с которых операторы технологического процесса получают информацию о его параметрах и осуществляют управление его ходом. Рабочие места операторов могут комплектоваться персональными компьютерами, на которых устанавливаются соответствующие АРМы. Ко второму (или третьему) уровню относят и АРМы технологов, задача которых состоит в автоматизации процессов технологической подготовки производства.

Основой построения нулевого и первого уровней является промышленная информационная сеть. Сопряжение сетевых интерфейсов промышленной сети и построенной по технологии Ethernet офисной ЛВС обеспечивает Ethernet-шлюз. На схеме такое устройство изображено отдельным блоком, на практике современные ПЛК помимо интерфейсов промышленной сети имеют также сетевые интерфейсы Ethernet.

Нулевой, первый и второй уровень, и частично третий (*архивный сервер*), являются уровнями, на которых функционирует АСУТП.

Третий уровень (*уровень управления производством*) является средством интеграции АСУТП с АСУП. Такая интеграция служит основой формирования единой информационной среды умного предприятия, в которой полностью исключена передача информации в традиционной форме на твердых (бумажных) носителях. Главным препятствием в создании такого единого информационного пространства до относительно недавнего времени являлся «технологический разрыв» между промышленными и офисными сетями, который не позволял обеспечить передачу технологической информации на верхний уровень управления в автоматическом режиме. Наиболее эффективным решением данной проблемы стала модификация стандарта Ethernet, на котором основана работа обычных офисных сетей, в направлении обеспечения возможности передачи информации в режиме реального времени и инкапсуляции ее в Ethernet-кадры. *Промышленный Ethernet, Real-Time Ethernet*, а именно так стали называть новую технологию, нашел широкое применение как в промышленных сетях на нижних уровнях, так и для передачи производственно-технологической информации на уровне АСУП. [3]

На третьем, производственном уровне функционируют:

– *MES(Manufacturing Execution System)*-системы оперативного управления производством;

– АРМы руководителей производства, службы главного механика, главного технолога и др.

*Архивный сервер (сервер архива базы данных реального времени БДРВ)* – система хранения исторических данных, обеспечивающая в реальном времени запись больших объемов значений параметров и событий производственных технологических процессов и доступ к ним из информационных систем верхнего уровня. Для сервера архива также используют название *система сбора данных*. Архивный сервер функционирует на основе *СУБД реального времени*.

*Сервер документирования* предназначен для подготовки различных документов и отчетов о параметрах и событиях технологических процессов в многоуровневых распределенных информационных системах. Сервер документирования получает информацию от сервера исторического архива. В его задачи также входит предоставление, например, по SQL-запросам, информации для MES- и ERP-систем. Функции сервера архива и сервера документирования могут быть совмещены в одном сервере. Одно из названий сервера документирования – *сервер производственных данных*.

На четвертом уровне управления предприятием функционируют

– *ERP-системы*;

– АРМы руководителей предприятия, финансового отдела, отдела кадров, бухгалтерии и др.

Четвертый уровень обеспечивает интеграцию с высшим руководством (*стратегический уровень*), которое может работать в офисах, расположенных в различных странах и на разных континентах. На стратегическом уровне используются *OLAP- системы*. Под термином *OLAP (Online Analytical Processing), аналитическая обработка данных в реальном времени*) понимаются технологии обработки и анализа больших массивов данных, обеспечивающие поддержку принятия решений на стратегическом уровне управления крупными корпорациями.

Данная архитектура имеет методологическое значение и используется автором при преподавании дисциплин «Сетевые технологии», «Системы промышленной автоматизации предприятий ТЭК», «АИС реального времени». Ее достоинствами являются детализированное представление как сетевой, так и информационной инфраструктуры промышленного предприятия, причем последняя представлена как интегрированная автоматизированная система.

#### Литература

1. Белов В.Б. Новая парадигма промышленного развития Германии – стратегия «Индустрии 4.0» // Современная Европа. 2016. № 5. С. 11-22.
2. Рудычева Н. Российская промышленность 4.0: как не опоздать на поезд в будущее. [Электронный ресурс] // CNA.CNEWS.RU: Официальный сайт агентства CNews Analytics. URL: [https://www.cnews.ru/reviews/it\\_v\\_promyshlennosti\\_2018/articles/rossijskaya\\_promyshlennost\\_40\\_kak\\_ne\\_opozdat\\_na\\_poezd\\_v\\_budushchee](https://www.cnews.ru/reviews/it_v_promyshlennosti_2018/articles/rossijskaya_promyshlennost_40_kak_ne_opozdat_na_poezd_v_budushchee) (дата обращения: 18.09.2021).
3. Аарон Хаммер. Тенденции применения промышленного Ethernet // Современные технологии автоматизации. 2020. № 3. С. 18-23.

*А.Е. Мисник, к.т.н., доц.; М.А. Шалухова, студ.*

*(МОУВО Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ ВАФЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Запрос на создание систем, использующих нейронные сети для решений производственных задач, в современном мире стабильно растет, этому способствует как повышающееся качество инструментария для обработки информации, так и высокая эффективность систем, применяющих нейросетевые технологии.

Использование нейронных сетей позволяет создавать обучаемые системы, способные без вмешательства специалиста решать множество повседневных задач, от классификационных до прогнозирования событий. Любое коммерческое производство направлено в первую очередь на получение прибыли путем реализации произведенного продукта, удовлетворяющего потребности потребителя. Обеспечить устойчивый спрос на произведенную продукцию в конкурентной среде невозможно без обеспечения должного уровня качества. Использование нейронных сетей в системах определения брака — лишь один вариант из множества возможных применений технологии в производство. Потребность в таких системах ощущают предприятия самых разных областей — от предприятий тяжелой промышленности до пищевых производств. Ограничение по применению накладывает лишь соображения экономической целесообразности такого решения.

Одним из способов выявления дефектов произведенной продукции является визуальный осмотр и сверка полученных размеров с эталоном (контроль по контрольному образцу, измерительный контроль, визуальный контроль). Применение сверточной нейронной сети, использующей признаковый метод анализа изображений в автоматизированной системе способно снять часть задач с отдела контроля. В данной работе рассматривается возможность применения возможностей сверточной нейронной сети для обнаружения брака при производстве вафель.

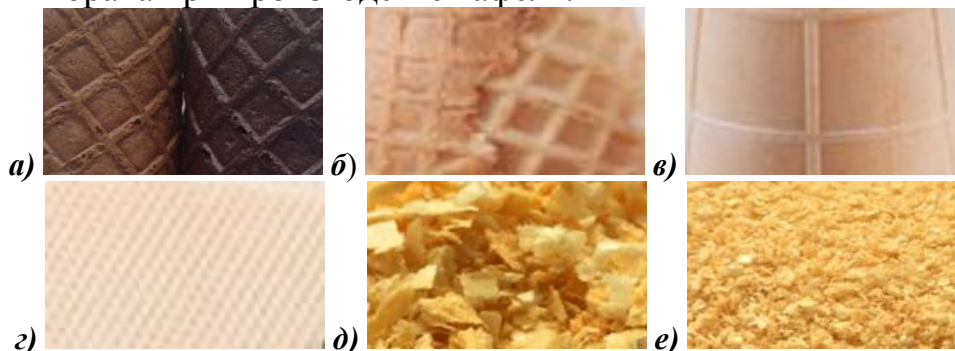


Рис 1. Типы производимых вафель

: а,б – сахарный рожок; в – вафельный стаканчик; г – вафельный лист;  
д – вафельная крошка; е – панировочные сухари

На данный момент, рассматриваемое производство изготавливает несколько основных видов продукции: вафельный стаканчик и конус, лист

вафельный, вафельная крошка, сухари панировочные и вафельные сахарные рожки. Типы производимых вафель представлены на рисунке 1.

Соответствие качества продукции определяется согласно государственному стандарту Республики Беларусь (СТБ 2400-2015) “Вафли”, в котором содержатся общие технические условия, правила приемки, методы контроля, упаковка, маркировка, транспортирование, хранение. Контроль за физико-химическими показателями осуществляется в лабораторных условиях. Предполагается разработать систему, заменяющую при визуальном контроле качества продукции специалиста.

Основной объем производимой продукции составляют вафельные сахарные рожки. Пример готовой продукции представлен на рисунке 2.



Рис. 2 –Пример продукции (вафельный сахарный рожок)

Визуальный контроль способен выявить следующие разновидности дефектов у произведенных вафель: разрывы либо разломы вафельного листа, неровный обрез края вафельного листа, пятна, просвечивание корпуса с доньшка изделий (для вафельных стаканчиков).

Основной вид дефектов на производстве – разрывы и разломы вафель. Это обусловлено тем, что вафли имеют в своем составе незначительную долю влаги (до 6% для вафельных листов), что делает их хрупкими. Наибольший процент брака наблюдается при производстве вафельных рожков, что связано с особенностью технологического процесса скручивания вафельного листа в рожок. Распространённость дефектов в общей доле всех выявляемых дефектов на производстве приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Распространённость дефекта в общей доле всех выявляемых дефектов

| Доля распространённости дефекта в выявленных дефектах продукции | Виды дефекта     |                |        |                       |
|---|------------------|----------------|--------|-----------------------|
|   | Разрывы, разломы | Неровный обрез | Пятна  | Просвечивание корпуса |
|   | 57,63%           | 17,27%         | 11,40% | 13,70%                |

.Очевидно, что при производстве различных видов продукции, процент частоты выявления характерных дефектов в каждом подвиде неодинаков. Различие в содержании сахара (массовая доля до 45%) и допустимом стандартом проценте влаги обуславливает отличия в прочности изделий. Процентное

соотношение обнаруженных дефектов по типам продукции представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Распределение дефекта в зависимости от типа продукции

| Виды дефектов         | Вид продукции            |                |                            |
|-----------------------|--------------------------|----------------|----------------------------|
|                       | Вафельные сахарные рожки | Лист вафельный | Вафельный стаканчик, конус |
| Разрывы, разломы      | 0,591                    | 0,164          | 0,245                      |
| Неровный обрез        | 0,394                    | 0,279          | 0,327                      |
| Пятна                 | 0,378                    | 0,347          | 0,275                      |
| Просвечивание корпуса | 0,582                    | 0,243          | 0,175                      |

Для определения дефектов использовалась сверточная нейронная сеть. Сверточные нейронные сети на достаточном уровне справляются с задачами высокоточного распознавания, которые требуют выделения узкоспецифичных признаков, что позволит их применять при визуальном и измерительном контроле. Каждый слой сверточной нейронной сети представляет собой набор плоскостей, состоящих из нейронов. Каждый нейрон скрытого слоя связан только с ограниченным участком изображения, не имеющим разрывов. Такой подход позволяет получать независимые от конкретного расположения локального признака представления в изображении, и одинаковым образом реагировать на интересующие объекты, присутствующие на любом участке входного изображения [2].

Сегментация объектов на полученном изображении определяет объект с точностью до пикселя, отделяя от остального изображения, дальнейшая передача полученных данных программной системе позволяет произвести точные измерения размеров деталей полученного узла. В дальнейшем полученные данные сопоставляются эталону каждой выделенной части объекта. При выявлении несоответствия, решается задача классификации, согласно месту обнаружения, типа, и процента выявленного несоответствия: распространенности (непрерывный, разовый или повторяющийся дефект) и исправимости [4].

Для обучения нейронной сети использовался подход обучения с учителем. Точность распознавания обучающей и проверяющей выборки рассматривается в таблице 3.

Таблица 3 – Точность распознавания дефектов вафель сверточной нейронной сетью

| Тип выборки | Точность распознавания выборки |        |                       |                  |
|-------------|--------------------------------|--------|-----------------------|------------------|
|             | Неровный обрез                 | Пятна  | Просвечивание корпуса | Разрывы, разломы |
| Обучающей   | 91,03%                         | 89,96% | 89,00%                | 91,62%           |
| Проверяющей | 90,70%                         | 88%    | 88,56%                | 90,70%           |

Полученные результаты показывают, что при распознавании изображений дефектов сверточная сеть достаточно эффективна, что достигается благодаря ее устойчивости к искажениям входных данных, а так же делает ее подходящим выбором архитектуры для решения задач обнаружения и классификации дефектов.

В дальнейших исследованиях предполагается исследовать возможности применения адаптивных сети на основе системы нечеткого вывода, для увеличения точности распознавания дефектов, а так же повысить устойчивость системы к разнообразным искажениям входных данных.

#### Литература

1. Bobryakov A., Borisov V., Misnik A. and Prokopenko S. Approaches to the Implementation of Information-Analytical Processes in Complex Technical-Organizational Systems // 2020 V International Conference on Information Technologies in Engineering Education ( Inforino ), 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/Inforino48376.2020.9111833.
2. Николенко С., Кадурич А., Архангельская Е.. Глубокое обучение // Серия «Библиотека программиста». СПб. : Питер, 2018.
3. Плас Дж. Вандер. Python для сложных задач: наука о данных и машинное обучение. // Серия «Библиотека программиста». СПб.: Питер, 2018. — 576 с.
4. Ян Эрик Содем Программирование компьютерного зрения на языке Python / пер.с англ. Слинкин А.А – М.: ДМК Пресс,2016-312с.

*Е.А. Якимов, к.т.н.; В.Т. Садовский, ст. преп., А.С. Барыгин, А.А. Плотников  
(Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь)*

### **ВЕБ-ПЛАТФОРМА ДЛЯ УДАЛЕННОГО ИЗУЧЕНИЯ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ**

В настоящее время для удаленного обучения студентов выпускающей кафедры «Автоматизированные системы управления» используется платформа Moodle, обеспечивающая удаленный доступ к учебным материалам и реализующая функцию контроля знаний обучаемых. Однако Moodle не поддерживает интеграцию виртуальных лабораторий, что не позволяет обучаемым в достаточной мере получать необходимые им практические знания и навыки.

Основная особенность разработанной веб-платформы – возможность интеграции различных виртуальных лабораторий, которые позволяют выполнять специальные практические задания и, таким образом, закреплять теоретические знания на практике. Такой способ удаленного обучения позволит повысить эффективность процесса удаленного обучения студентов, а также сделать его более разнообразным и интересным [1, 2].

Виртуальная лаборатория предоставляет студентам комплекс задач из различных предметных областей, виртуальные инструменты для формализации условий процесса, средства для решения проблемы; преподавателям – постоянный контроль, диагностику освоения материала. Таким образом, обучаемые самостоятельно могут формировать практические умения и навыки в удобное для них время, не ограничивая себя временем и территориальной отдаленностью от образовательной организации.

Особый интерес представляют веб-лаборатории с удаленным доступом. Они реализуются путем доработки программного обеспечения лаборатории с



одним лабораторным сервером. В этом случае студенты получают доступ к оборудованию с помощью любого персонального компьютера, имеющего выход в интернет. Именно такие виртуальные лаборатории проще всего интегрировать в разрабатываемую веб-платформу, потому что они уже разработаны в виде веб-приложений. В приложении В представлены примеры реализованных студентами кафедры АСУ виртуальных лабораторий.

При разработке веб-платформы были сформулированы следующие задачи:

- организация хранения информации об учебных дисциплинах (различного рода файлы, лабораторные работы, лекции и др.);
- организация быстрого доступа к материалам учебных дисциплин;
- реализация возможности тестирования обучаемых с автоматической оценкой результатов прохождения тестов;
- реализация возможности формирования отчетов по результатам тестирования, что позволяет снизить нагрузку преподавателей.
- поддержка возможности интеграции различных виртуальных лабораторий;
- возможность администрирования и управления всеми объектами, относящимися к веб-приложению (создание, редактирование и удаление различных объектов, таких как тест, лабораторная работа, лекция и др.).

При разработке серверной части веб-платформы использован язык программирования Python, в частности, фреймворк Django Rest Framework. В качестве сервера базы данных используется PostgreSQL. Для разработки графического интерфейса используется язык программирования JavaScript, в частности, фреймворк Vue.js, а также язык разметки Html и каскадные таблицы стилей CSS.

Веб-платформа имеет модульную структуру. Например, модуль работы с учебными дисциплинами (рис. 1), модуль работы с тестами (рис. 2). Основные действия, реализуемые в этих модулях – создание, редактирование и удаление объектов.

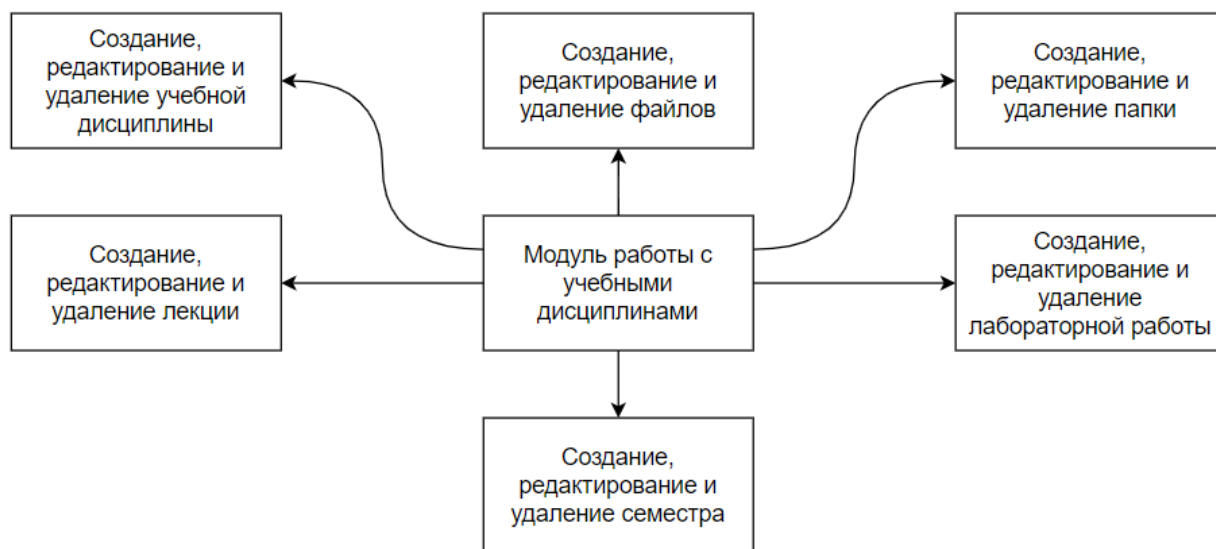


Рисунок 1 – Структура модуля работы с учебными дисциплинами



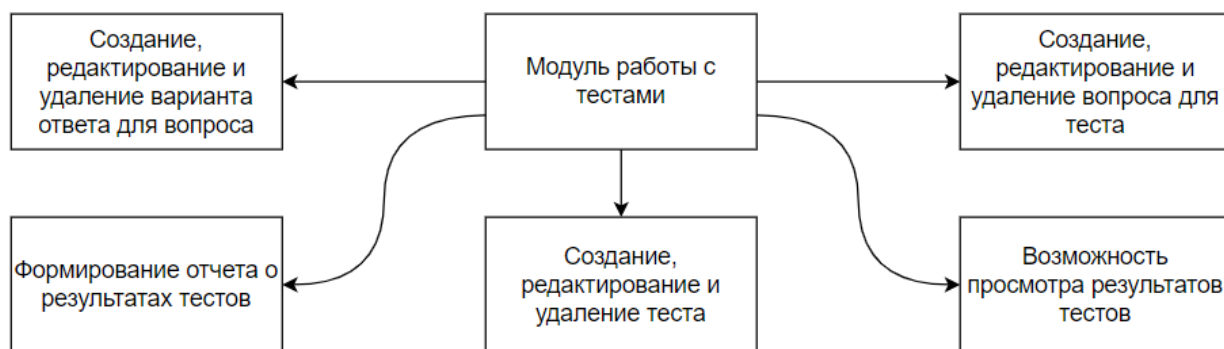


Рисунок 2 – Структура модуля работы с тестами

Кроме разработанных модулей используются внешние библиотеки на языке Python:

- Django – веб-фреймворк, предоставляющий функционал для разработки веб-приложений;
- Django Rest Framework – дополнение к Django, предоставляет функционал для создания restful API приложений;
- Pillow – позволяет работать с изображениями, в приложении используется для добавления изображений в тесты;
- Psycopg2 – предоставляет функционал для работы с PostgreSQL путем написания кода на Python.

При входе в систему с ролью преподавателя пользователю доступны все функции обучаемого и открыт доступ к администрированию. В режиме администрирования можно добавлять, изменять, удалять как устройства, так и команды с подкомандами для устройств виртуальных лабораторий.

Модульная структура приложения обеспечивает возможность интеграции внешних виртуальных лабораторий, позволяет достичь независимости отдельных модулей друг от друга, а также позволяет вести их коллективную разработку.

К разработчикам внешних модулей для серверной части предъявляются следующие требования:

- опыт работы с языком программирования Python;
- опыт работы с библиотекой Django с надстройкой Django Rest Framework;
- опыт работы с реляционными базами данных, в частности, PostgreSQL;
- опыт работы с приложениями, реализованными с помощью клиент-серверной архитектуры;
- опыт работы с системами контроля версий, в частности, GitHub.

Для клиентской части разработчик интегрирования внешних модулей должен обладать опытом работы с языковым средством JavaScript, а также иметь опыт работы с библиотекой Vue.js.

Доступ к внешней виртуальной лаборатории осуществляется с помощью добавления доменного имени разрабатываемой программной системы в реестр имен, имеющих доступ к внешней виртуальной лаборатории. Для обеспечения безопасности необходимо использовать секретный ключ доступа для каждого

пользователя. Секретный ключ позволит идентифицировать пользователя ИС, а также обеспечит синхронизацию между пользователями двух систем.

Модули для серверной части доступны в корневом каталоге платформы `asu_app_api/asu_app/api`. Данная директория содержит все модули разрабатываемой системы. Для добавления нового модуля необходимо создать папку с именем этого модуля. Далее создать файлы, необходимые для реализации функционала модуля. На рисунке 3 представлен пример файлов модуля «Console».

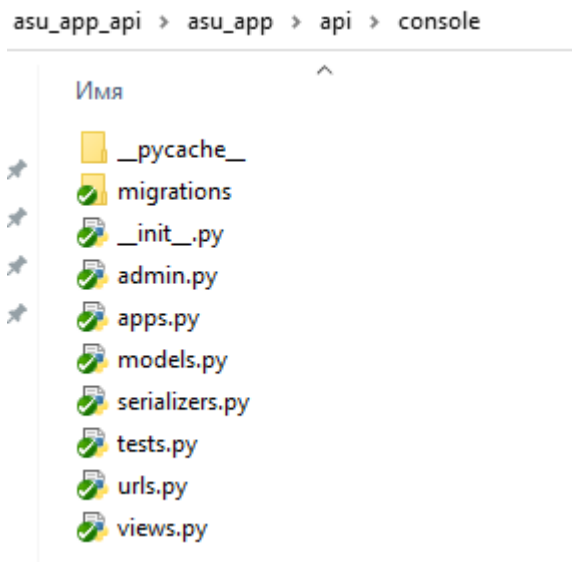


Рисунок 3 – Пример файлов модуля «Console»

Папка «migrations» содержит в себе набор файлов-миграций для базы данных. Файлы-миграции используются для изменения или создания таблиц. Файл «\_\_init\_\_.py» используется для обозначения видимости модуля внутри разрабатываемой системы. Файлы «admin.py» и «apps.py» используются для настройки режима администрирования разрабатываемой системы. Файл «models.py» содержит в себе набор классов, отвечающих за взаимодействие серверной части и базы данных. Файл «serializers.py» содержит в себе код для форматирования данных об объектах системы в JSON формат для отображения их клиентской частью. За передачу данных между серверной частью и клиентской частью отвечает код, содержащийся в папке «view.py». Код маршрутизации модуля содержится в файле «urls.py». Файл «tests.py» используется для проведения автоматизированного тестирования.

После написания необходимого модуля на серверной стороне необходимо добавить модуль в настройках веб-платформы. Для этого в директории основного проекта `asu_app/asu_app` в файле «settings.py» необходимо в переменную «INSTALLED\_APPS» добавить имя модуля. Содержимое переменной «INSTALLED\_APPS»:

```
INSTALLED_APPS = [  
    'django.contrib.admin',  
    'django.contrib.auth',  
    'django.contrib.contenttypes',
```

```

'django.contrib.sessions',
'django.contrib.messages',
'django.contrib.staticfiles',
'rest_framework',
'rest_framework.authtoken',
'corsheaders',
'django_filters',
'nested_admin',
'api.users',
'api.subjects',
'api.groups',
'api.simple_tests',
'api.console',

```

```
]
```

После изменений в файле «settings.py» для доступности функционала нового модуля необходимо добавить код маршрутизации модуля в код маршрутизации всей платформы. Код маршрутизации платформы находится в файле `asu_app/asu_app/urls.py`. В данном файле необходимо изменить переменную «`urlpatterns`». В переменную необходимо добавить путь к маршрутизации модуля. Содержимое переменной «`urlpatterns`»:

```

urlpatterns = [
    path('', include('api.users.urls')),
    path('', include('api.groups.urls')),
    path('', include('api.subjects.urls')),
    path('', include('api.console.urls')),
    path('', include('api.simple_tests.urls')),

```

```
]
```

После всех необходимых настроек серверной части для отображения данных для пользователя необходимо добавить новый модуль для клиентской части. Для этого необходимо создать шаблон страницы, написанный с использованием библиотеки `Vue.js`. После создания его необходимо переместить в директорию клиентской части в папку `src/components`. Данный шаблон страницы должен содержать набор функций, отвечающий за передачу и прием данных с серверной части.

После создания шаблона страницы, его необходимо добавить в систему маршрутизации клиентской части. Для этого необходимо перейти в папку `src/router`, в файле `index.js` добавить новую запись в переменную `routes`.

В случае корректного добавления модулей для клиентской и серверной части при входе на веб-платформу будет доступна возможность работы с новым модулем.

#### Литература

1. Шабров, Н. Н. Программно-аппаратные комплексы виртуального окружения – ключевые компоненты технологий виртуального инжиниринга / Н. Н. Шабров // *CAD/CAM/CAE Observer*. – 2016. – № 3. – С. 83–86.
2. Веб-приложение для обучения администраторов компьютерных сетей предприятий и организаций / Е. А. Якимов [и др.] // *Энергетика, информатика, инновации – 2019* (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве, микроэлектроника и оптотехника): сб. трудов IX-ой Междунар. науч.-техн. конф. В 2 т. Т 1; Смоленск, 17–18 октября 2019 г. – Смоленск: филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2019. – С. 346–349.

*А.И. Якимов, д.т.н., доц.; В.Т. Садовский, ст. преп., А.А. Плотников, А.С. Барыгин  
(Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь)*

## **ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УДАЛЕННОГО ИЗУЧЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Информация представляется не только в виде, пригодном для просмотра на обычных компьютерах и ноутбуках, но и может быть воспроизведена на современных цифровых телевизорах с высокой степенью разрешения, или мини-экранах мобильных телефонов, смартфонов, фотоаппаратов и коммуникаторов. Это позволяет усовершенствовать самостоятельную работу обучающихся, перенести ее в значительной мере в домашние условия, использовать время поездок на транспорте и, тем самым, улучшить качество обучения. С другой стороны, отставание в обеспечении современными компьютерами учебных лабораторий, а также переполненность академических групп в некоторых случаях приводит к снижению качества проведения занятий.

Под термином «виртуальная лаборатория» будем понимать предоставление обучаемому возможности самостоятельно с использованием компьютеров или других технических средств изучить теоретический материал, подробно проследить за ходом выполнения лабораторного эксперимента и подготовиться к последующему контролю знаний в требуемом объеме [1, 2].

В настоящее время для изучения телекоммуникационных систем используется программное обеспечение (ПО) Cisco Packet Tracer, а также физическое оборудование компании Cisco (например, маршрутизаторы CISCO887E-K9, CISCO-1900).

Cisco Packet Tracer является симулятором сети передачи данных, позволяет создавать работоспособные телекоммуникационные модели сети, настраивать с помощью командного интерфейса маршрутизаторы и коммутаторы. Данное ПО имеет ряд преимуществ:

- малое время создания новой топологии сети;
- простота установки;
- наличие графического интерфейса для настройки оборудования.

К недостаткам следует отнести сложность и громоздкость программного интерфейса. Для обучаемых с начальным уровнем знаний работы с программой достаточно сложно найти необходимое меню для настройки интерфейса или самого оборудования. Другим недостатком является невозможность продемонстрировать результаты выполненной лабораторной работы преподавателю с использованием интернета. Для демонстрации результата требуется сохранить настроенную топологию сети в виде файла, а затем с помощью почтовых или иных сервисов отправить ее преподавателю или другому пользователю.

С целью повышения эффективности образовательного процесса разработано веб-приложение для удаленного изучения телекоммуникационных систем. В веб-приложении реализованы следующие функции:

- управление оборудованием;

- управление командами и подкомандами;
- управление пользователями;
- формирование отчета.

Приложение состоит из программного модуля для работы с пользователями (рис. 1), модуля для работы с оборудованием (рис. 2), модуля для работы с командами (рис. 3).

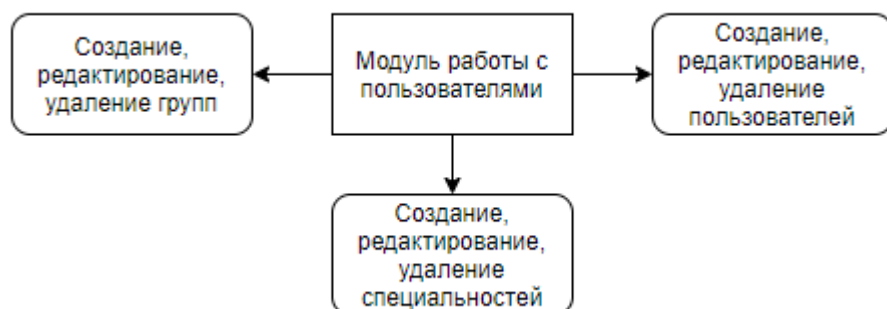


Рисунок 1 – Структура модуля работы с пользователями



Рисунок 2 – Структура модуля для работы с оборудованием



Рисунок 3 – Структура модуля для работы с командами

Для программной реализации модулей использовались языки программирования Python и JavaScript, а также СУБД PostgreSQL.

Библиотеки, используемые вместе с языком программирования Python:

– веб-фреймворк Django с надстройкой Django Rest Framework, предоставляющей широкий набор возможностей для разработки серверной части веб-приложения;

– Psycopg2 предоставляет возможность работы с СУБД PostgreSQL;

– Xlrd позволяет формировать отчет в виде Excel-файла.

JavaScript библиотеки, используемые для разработки клиентской части:

– Vue.js предоставляет возможность разработки и управления веб-страницами;

– Redux – менеджер состояний приложения;

– GNS3 позволяет взаимодействовать с Cisco оборудованием.

Ниже приведен код серверной части веб-приложения, отвечающий за взаимодействие клиентской и серверной частей:

```
class ExecuteCommandView(APIView):
```

```
    permission_classes = [IsAuthenticated, IsAdminUser | ConsolePermissions] # список прав, при которых пользователь имеет доступ к модулю работы с оборудованием
```

```
    def post(self, request, format='json'): # обработка post запроса
```

```
        try:
```

```
            console = Console() # инициализирование класса для работы с оборудованием
```

```
            device = Devices.objects.get(pk=request.query_params['id']) # получение данных об конкретном оборудовании из БД
```

```
            console.connect(request, device) # подключение к устройству
```

```
            command = request.data["command"] # получение введенной пользователем команды
```

```
            result, prompt = Console().execute_command(command) # выполнение команды
```

```
            console.disconnect() # отключение от оборудования
```

```
        re-
```

```
turn Response({"result": result, "prompt": prompt}, status=status.HTTP_200_OK) # возвращение успешно выполненной команды
```

```
    except Exception as e:
```

```
        print(e)
```

```
    return Response(status=status.HTTP_400_BAD_REQUEST) # возвращение ошибки
```

Код класса отображения списка всех устройств (рисунок 4) :

```
class DeviceViewSet(viewsets.ModelViewSet):
```

```
    permission_classes = [IsAuthenticated, IsAdminUser | ReadOnlyIfAllowed] # список прав, при которых пользователь имеет доступ к модулю работы с оборудованием
```

```
    queryset = Devices.objects.all() # запрос к БД на получение всех устройств
```

```
    serializer_class = DeviceSerializer # класс-сериализер для формирования JSON объекта
```

При выборе опции «Стенды» (см. рис. 4) пользователь перейдет на веб-страницу с виртуальными стендами. При выборе имени виртуального стенда пользователю будет доступна его настройка (рис. 5).

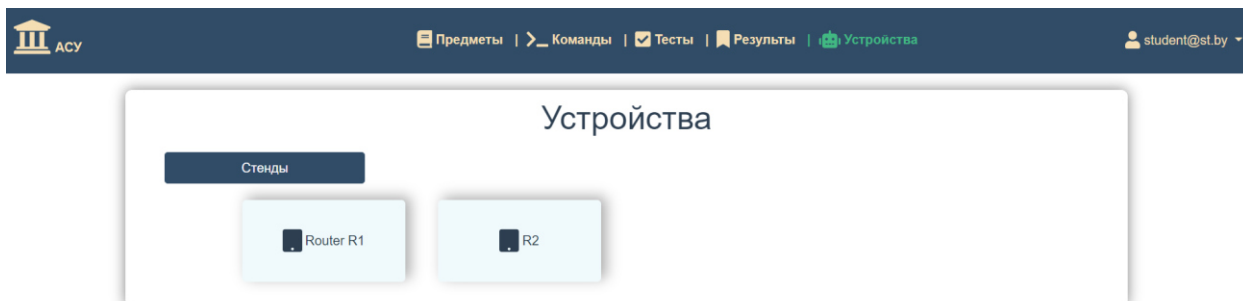


Рисунок 4 – Веб-страница со списком устройств

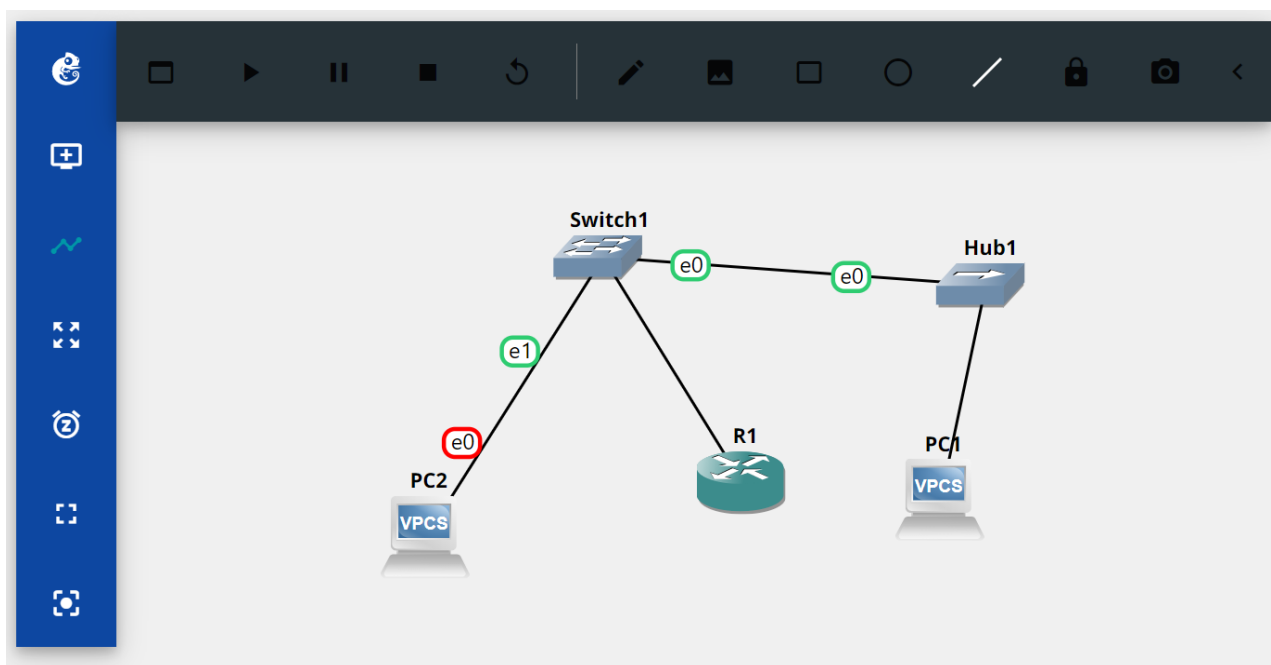


Рисунок 5 – Пример виртуального стенда

С помощью разработанного веб-приложения пользователи могут создавать и настраивать виртуальные лабораторные стенды для изучения телекоммуникационных систем. Настройка стендов может производиться как для виртуального, так и для физического оборудования.

При реализации веб-приложения в полном объеме реализуется требование масштабируемости. Модульная структура приложения позволяет разработчикам производить изменения в исходном коде, избегая ошибок. Другие виртуальные лаборатории, реализуемые в перспективе, могут использовать существующий программный код, что существенно облегчает процесс разработки, а также сокращает время создания новых модулей.

#### Литература

1. Веб-приложение для обучения администраторов компьютерных сетей предприятий и организаций / Е. А. Якимов [и др.] // Энергетика, информатика, инновации – 2019 (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве, микроэлектроника и оптоэлектроника): сб. трудов IX-ой Междунар. науч.-техн. конф. В 2 т.

Т 1; Смоленск, 17–18 октября 2019 г. – Смоленск: филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2019. – С. 346–349.

2. Плотников, А. А. Веб-приложение суммирования чисел в двоичном коде с плавающей запятой / А. А. Плотников // 56-я студенческая научно-техническая конференция Белорусско-Российского университета: материалы конф., редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]; 21-22 мая 2020 г. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. – С. 143.

*А.И. Якимов, д.т.н., доц.; Н.П. Скрылев, асп.  
(Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Беларусь)*

## **ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ПО BIM ДОКУМЕНТАЦИИ**

BIM (Building Informational Modeling) технология предполагает построение виртуальных моделей зданий, домов и других сооружений в цифровом виде. Использование моделей облегчает процесс проектирования на всех его рабочих этапах, обеспечивая его анализ и контроль. Проработанные BIM модели зданий наполнены информацией о геометрии конструкций и данными, необходимыми для закупки материалов, изготовления конструкций и строительных работ.

Для поддержки BIM технологии разработано множество программных систем. Например, первая версия программы ArchiCAD (<https://graphisoft.com>) была создана в 1984 году под названием Radar CH. Она работала на компьютерах Apple Lisa и представляла собой программу для проектирования водопроводов. В 2020 году вышла версия Archicad 24. Все версии до 4.16 выпускались под ОС Apple Macintosh. Версия 4.16 была выпущена под Windows 3.1. Все последующие версии, кроме 4.5, выпускались под ОС семейства Windows и MacOS X. Основным преимуществом программы является естественная взаимосвязь между всеми частями проекта. Любые изменения, сделанные, например, на плане здания, автоматически отобразятся (перестроятся, перерассчитаются) на разрезах, видах, в спецификациях, экспликациях и пр. Такой подход обеспечивает значительное сокращение времени проектирования. Archicad позволяет работать над одним проектом группе архитекторов. Недостатком программы можно считать ограниченные возможности по созданию объектов со сложной, нестандартной геометрией [1].

Tekla Structures (<https://www.tekla.com>) – система, предназначенная для трехмерного моделирования как простых, так и сложных сооружений из разнообразных материалов и управления строительной информацией. Может использоваться, как платформа для разработки собственных приложений. Программа поддерживает форматы IFC, CIS/2, SDNF, DSTV, DWG, DXF, DGN и др. Содержит следующую функциональность: автоматическая генерация и копирование чертежей, поддержка многопользовательского доступа и совместная работа над одной моделью, автоматизированное создание и копирование предварительно определенных соединений и детализовок. Возможен экспорт для различных автоматизированных производств (как стальных, так и железобетонных изделий, арматуры), например для ConstruSteel, Steel Projects, FabTrolMRP, BETSY, EliPlan, Unitechnik, SAA, Progress и др. [2].



Tekla Structures применяется в производстве металлоконструкций. Была поставлена задача разработки динамической модели прогнозирования состояния производства. Для решения такой задачи требуется извлечь данные из инструментов ВІМ, используемых на производственном предприятии. Это достаточно простая задача, т. к. большинство инструментов ВІМ поддерживают экспорт документации с технической информацией в широко распространённые форматы документов, например, таблицы Microsoft Excel (рис. 1).

| Отправочная марка | Наименование марки | Позиция детали | ГОСТ | Материал   | Количество |
|-------------------|--------------------|----------------|------|------------|------------|
| Изделие           | [REDACTED]         |                |      |            | 4          |
|                   |                    | 4              | -    | [REDACTED] | 1          |
|                   |                    | 5              | -    | [REDACTED] | 1          |
|                   |                    | 7              | -    | [REDACTED] | 1          |
|                   |                    | 73             | -    | [REDACTED] | 4          |

Рис. 1. Исходный ВІМ документ для построения имитационной модели

Первая строка описывает готовое изделие (или, в терминологии самого документа, «отправочную марку»), последующие – детали, необходимые для его сборки, и их количество для одного изделия (для производства 4 изделий потребуется  $(1+1+1+4)*4=28$  деталей (см. рис.1)).

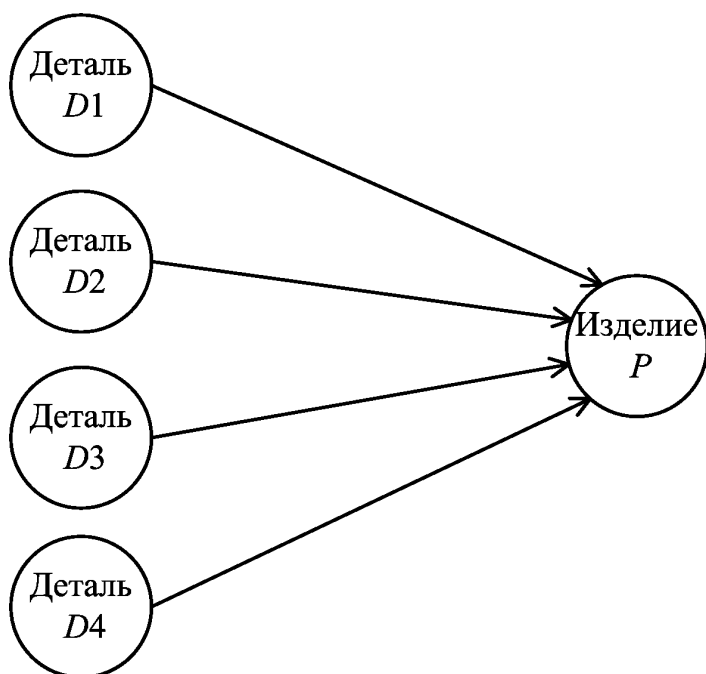


Рис. 2. Предварительная схема создания изделия

Всё, о чем документ информирует на данном этапе – детали какого типа входят в состав изделия. Других данных нет: не задана последовательность операций по созданию изделия, не указаны длительности операций. Можно утверждать, что на данном этапе абстракции система работает как «чёрный ящик». Формально это можно представить следующим образом:

$$D_1 \cup D_2 \cup D_3 \cup 4D_4 \rightarrow P$$

где  $D_i$  – детали определенного типа,  $i = 1, \dots, 4$ ,

$P$  – изделие для изготовления в производственном процессе.

На следующем этапе из ВІМ документации извлекается информация о последовательности действий для изготовления изделия  $P$ . Например, детали

$D1$  и  $D2$  собираются в промежуточный объект  $X$ , а детали  $D3$  и  $D4$  собираются в промежуточный объект  $Y$ . Затем объекты  $X$  и  $Y$  собираются в изделие  $P$  (рис. 2).

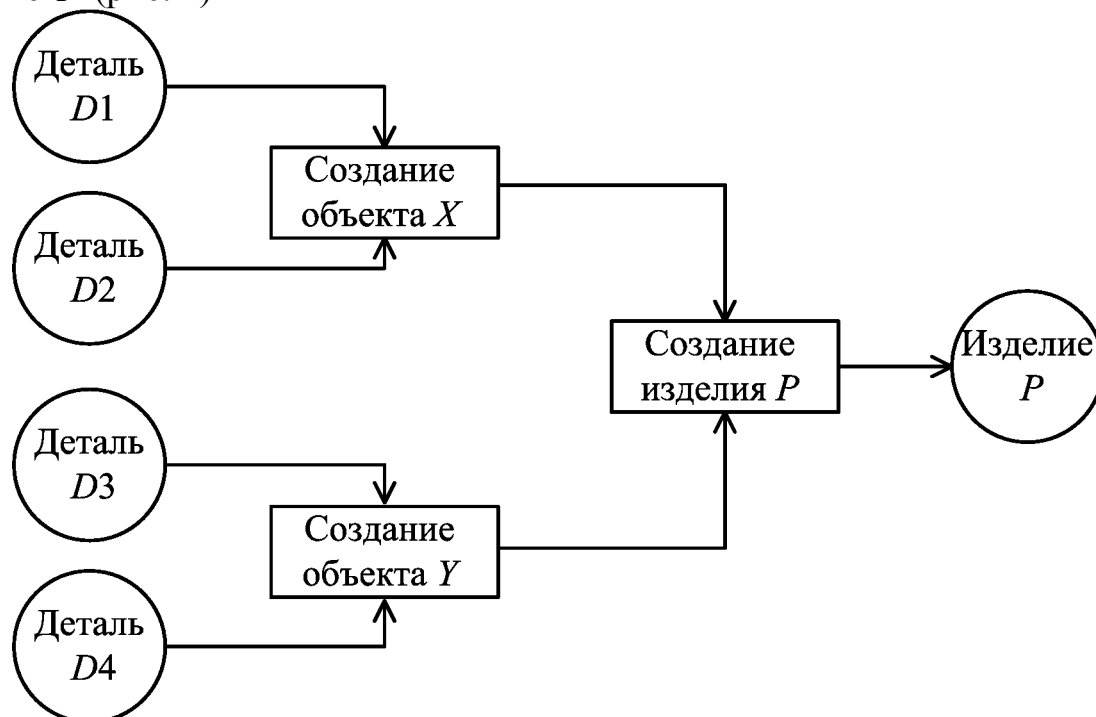


Рис. 2. Полная схема изготовления изделия

Последовательности операций могут быть достаточно сложными, но описанный здесь подход может быть применён для любых из них. Этот пример формально представляется в виде

$$\begin{aligned}
 D_1 \cup D_2 &\rightarrow X; \\
 D_3 \cup D_4 &\rightarrow Y; \\
 X \cup Y &\rightarrow P.
 \end{aligned}$$

Схему на рис. 2 можно рассматривать как сетевой график. Длительность каждого отдельного этапа производства не документируется в ВМ и должна быть измерена эмпирически. Длительности этапов производства можно представить интервалами  $[t_{\min}, t_{\max}]$  с указанием минимального  $t_{\min}$  и максимального  $t_{\max}$  значений.

Методика построения имитационной модели в виде сетевого графика представлена следующей последовательностью шагов.

Шаг 1. Прочсть данные о составляющих изделия  $P$ ;

Шаг 2. Прочсть данные о последовательности выполнения производственных операций;

Шаг 3. Рассчитать минимальную  $t_{\min}$  и максимальную  $t_{\max}$  длительности выполнения каждой из операций;

3.1 Длительность рассчитывается, исходя из параметров исходной детали и характера выполняемой над ней работы в процессе сборки изделия;

3.2 Если длительности можно прочитать из BIM документа, они будут прочитаны;

Шаг 4. На основании полученных данных сгенерировать сетевой график;

Шаг 5. По сетевому графику рассчитывается суммарная длительность производственного процесса по сборке изделия *P*.

Методика автоматизированного построения имитационной модели изготовления изделия реализована в единичном производстве металлоконструкций.

#### Литература

1. GRAPHISOFT – Building Together 2021 / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://graphisoft.com>.

2. Tekla 2021 now available / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tekla.com>.

## СЕКЦИЯ 4 МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ОПТОТЕХНИКА

С.А. Амелин, к.т.н., доц.; К.П. Клямеров, маг.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ *SPICE*-МОДУЛЯ ДРАЙВЕРА LED-СВЕТОДОВ С ЕДИНИЧНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ МОЩНОСТИ

Современный процесс разработки любого электронного устройства невозможно представить без применения средств математического моделирования для выявления особенностей работы разрабатываемых радиоэлектронных схем. В разных КБ, на разных предприятиях и вузах используются различные программы схемотехнического моделирования, которые отличаются как по своему функционалу, так и по формату, разрешению и содержанию используемых файлов. Из-за широкого разнообразия сред моделирования возникает необходимость вести разработки новых математических моделей электронных устройств таким образом, чтобы они могли быть применимы в большинстве программ. Для этого макромодели создают в виде подсхемы на языке *SPICE*.

Применение светоизлучающих диодов во многих областях техники создало необходимость в разработке ряда устройств, способных обеспечить долгую и стабильную работу светодиода (поддерживали стабилизацию номинального тока светодиода). Создание *SPICE*-подсхем контроллеров стабилизаторов тока светодиодов различных производителей для удобства процесса разработки является актуальной задачей.

Компания *SupertexInc* выпускает ряд ШИМ-контроллеров, использующихся при разработке современных стабилизаторов тока светодиодов, как, например, микросхема *HV9931* [2]. Разработанную ранее макромодель данного ШИМ-контроллера [4] возможно использовать только в среде математического моделирования *Micro-Cap*. Для расширения возможных областей применения разработанной модели, придания большей универсальности, расширения возможностей использования в других программах схемотехнического моделирования оптимальным решением представляется создание подсхемы на языке *SPICE*. Также это позволит зарегистрировать полученную модель микросхемы *HV9931* в качестве программы для ЭВМ, что позволит применять ее на производстве и не только в учебных целях.

Целью данной работы является создание подсхемы ШИМ-контроллера на языке *SPICE* и исследование его работы в программе схемотехнического моделирования.

При помощи программы схемотехнического моделирования *Micro-Cap* возможно транслировать файл макромодели микросхемы в файл на языке *SPICE*. В результате описанного преобразования генерируется файл формата *.ckt*, в котором содержится описание функционирования ранее разработанной модели на языке *PSPICE*.

Директивы, находящиеся в начале сгенерированной программы на языке *PSPICE*, к определению подсхемы микросхемы *HV9931* отношения не имеют. Они являются вспомогательными файлами, определяющими функции (*.FUNC*) и глобальные параметры (*.PARAM*) (рис. 1).

```
.FUNC HOTD(D,MAX) {IF((V(D)*I(D)>MAX),1,0)}
.FUNC HOTB(Q,MAX) {IF((VCE(Q)*IC(Q)+IB(Q)*VBE(Q)>MAX),1,0)}
.FUNC HOTF(M,MAX) {IF((VDS(M)*ID(M)>MAX),1,0)}
.PARAM LOW3MIN={IMPORT(LOW3MIN.OUT,LOW3THRES)}
.PARAM HIGH3MAX={IMPORT(HIGH3MAX.OUT,HIGH3THRES)}
.PARAM LOWLVDS={IMPORT(LOWLVDS.OUT,LOWLIMIT)}
.PARAM HILVDS={IMPORT(HILVDS.OUT,HILIMIT)}
.PARAM LIMTLVDS={IMPORT(LIMTLVDS.OUT,LVDSLIMITS)}
.FUNC SKINAC(DCRES,RESISTIVITY,RELPERM,RADIUS) {((PI*RADIUS*RADIUS)/((PI*RADIUS*RADIUS)-
-PI*(RADIUS-SKINDEPTHAC(RESISTIVITY,RELPERM)**2))*DCRES}
.FUNC SKINDEPTHAC(RESISTIVITY,RELPERM) {503.3*(SQRT(RESISTIVITY/(RELPERM*F)))}
.FUNC SKINTR(DCRES,RESISTIVITY,RELPERM,RADIUS,FREQ) {((PI*RADIUS*RADIUS)/((PI*RADIUS*RADIUS)-
-PI*(RADIUS-SKINDEPTHTR(RESISTIVITY,RELPERM,FREQ)**2))*DCRES}
.FUNC SKINDEPTHTR(RESISTIVITY,RELPERM,FREQ) {503.3*(SQRT(RESISTIVITY/(RELPERM*FREQ)))}
```

Рисунок 1 — Листинг программы (директивы)

Описание макромодели начинается с директивы *.SUBCKT* и заканчивается директивой *.END*. Между ними находится описание компонентов, которые использовались при создании макромодели (рис. 2).

После директивы *.SUBCKT* записано название макромодели (*HV9931*), имена узлов (*VIN, VDD, CS1, CS2, PWM\_D, RT, GATE, AGND*). Ключевым словом *.PARAMS* обозначен параметр, который может быть изменен пользователем при моделировании. В разработанной макромодели микросхемы *HV9931* это сопротивление внешнего резистора *ROSC*, который задаёт частоту генератора тактовой частоты *V2*.

Описание используемых при создании макромодели компонентов приводится после окончания ее описания. Типовое описание модели начинается с названия компонента (для совместимости с *SPICE* название конденсатора должно начинаться с *C*, резистора с *R*, источников напряжения с *V*, а функциональных блоков с *X*). Далее указаны номера (или символические имена) узлов к которым подключён компонент и заданный параметр элемента. Заканчивается описание макромодели директивой *.ENDS* после которой пишут название макромодели, используемое вначале (*.ENDS HV9931*).

В сгенерированной программе присутствуют также и описания моделей функциональных блоков [3], из которых моделировалась внутренняя структура ШИМ-контроллера стабилизатора тока светоизлучающих диодов (рис. 3). Описание моделей функциональных блоков структурно аналогичны структуре макромодели микросхемы *HV9931*.

```

.SUBCKT HV9931 VIN VDD CS1 CS2 PWM_D RT GATE AGND PARAMS: ROSC=205K
R1 PWM_D 0 100k
ROSC 0 0 205k
U1 DLYLINE $G_DPWR $G_DGND 11 12
+ 1 IO_STD IO_LEVEL=0 MNTYMXDLY=0
V1 1 0 8
V2 9 0 DC 0 AC 1 0 Pulse 0 7.5 0 0 0 1u {(RosC)/25E9+22/25E6}
X1 VIN 1 VDD COMP PARAMS: VH=7.5
X2 0 CS1 5 COMP PARAMS: VH=7.5
X3 0 CS2 7 COMP PARAMS: VH=7.5
X4 VDD 9 10 AND2 PARAMS: VH=7.5
X5 5 7 11 OR2 PARAMS: VH=7.5
X6 11 12 13 OR2 PARAMS: VH=7.5
X7 PWM_D 14 BUF PARAMS: GAIN=1
X8 10 13 15 16 RS-TR PARAMS: VH=7.5
X9 15 14 17 M2 PARAMS: VH=7.5
X10 17 GATE BUF PARAMS: GAIN=1
.MODEL 1 UDLY (DLYMN=214N DLYMX=215N DLYTY=216N)
.MODEL IO_STD UIO (
+ DRVH=130 DRVL=130
+ ATOD1="ATOD_STD" ATOD2="ATOD_STD_NX"
+ ATOD3="ATOD_STD" ATOD4="ATOD_STD_NX"
+ DTOA1="DTOA_STD" DTOA2="DTOA_STD"
+ DTOA3="DTOA_STD" DTOA4="DTOA_STD"
+ TSWHL1=3.310NS TSWHL2=3.310NS
+ TSWHL3=3.310NS TSWHL4=3.310NS
+ TSWLH1=2.115NS TSWLH2=2.115NS
+ TSWLH3=2.115NS TSWLH4=2.115NS
+ DIGPOWER="DIGIFPWR")
.MODEL D074 NX DOUTPUT (
+ S0NAME="0" SOVLO=-1.5 SOVHI=1.4
+ S1NAME="1" S1VLO=1.4 S1VHI=5.5)
.MODEL Q74 NPN (ISE=1E-16 ISC=4E-16 BF=49 BR=.04 CJE=1P CJC=.5P VJE=.9
+ VJC=.8 MJE=.5 MJC=.33 TF=.2N TR=10N CJS=3P VJS=.7
+ RC=40 MJS=.33)
.MODEL D74CLMP D (IS=1E-14 CJO=5P M=.5 RS=0)
.MODEL D74 D (IS=1E-14 CJO=5P M=.5)
.MODEL DIN74 DINPUT (
+ S0NAME="0" S0TSW=3.5NS S0RLO=7.1 S0RHI=170 ;@6.8 OHMS, .2V
+ S1NAME="1" S1TSW=7.5NS S1RLO=415 S1RHI=195 ;@133 OHMS, 3.4V
+ S2NAME="F" S2TSW=3.5NS S2RLO=41.8 S2RHI=107 ;@30.1 OHMS, 1.4V
+ S3NAME="R" S3TSW=3.5NS S3RLO=41.8 S3RHI=107 ;@30.1 OHMS, 1.4V
+ S4NAME="X" S4TSW=3.5NS S4RLO=41.8 S4RHI=107 ;@30.1 OHMS, 1.4V
+ S5NAME="2" S5TSW=3.5NS S5RLO=1MEG S5RHI=1MEG)
*
.ENDS HV9931

```

Рисунок 2 — Листинг программы (начало описания макромодели *HV9931*)

```

.SUBCKT BUF PINA PINB PARAMS: GAIN=1
E1 PINB 0 PINA 0 {GAIN}
R1 0 PINA 100Meg
RE1 PINA 0 1G;added by E1
.ENDS BUF

```

Рисунок 3 — Листинг программы (описание модели буферного усилителя)

Разработанная *SPICE*-подсхема ШИМ-контроллера стабилизатора тока светодиодов *HV9931* была проверена в типичной схеме включения для оценки корректности ее работы в программе *Micro-Cap* (рис. 4).

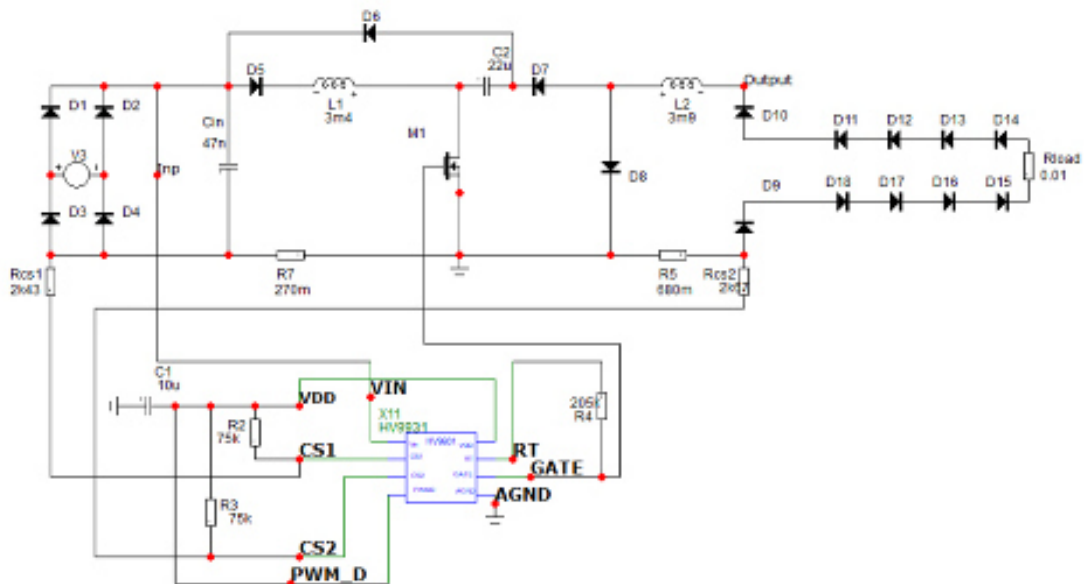


Рисунок 4 — Модель ШИМ-стабилизатора тока светодиодов

Моделирование показало корректность работы разработанной подсистемы стабилизатора тока светодиодов *HV9910* на языке *PSPICE*. Эта модель поддерживает на выходе ток светоизлучающего диода на постоянном уровне (рис. 5).

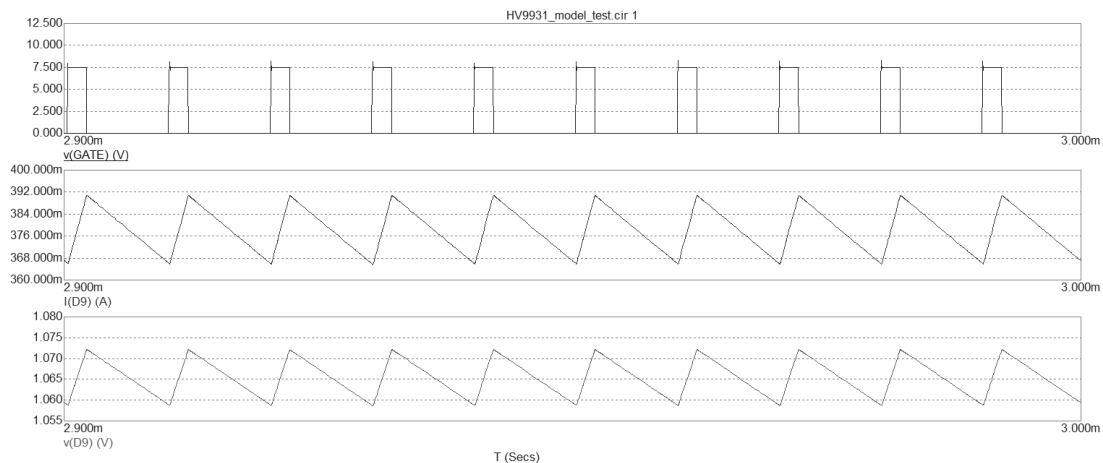


Рисунок 5 — Временные диаграммы тока и напряжение на светодиоде *VD2*

Разработанная в среде схемотехнического моделирования программы *Micro-Cap* макромодель ШИМ- стабилизатора стабилизатора тока светодиодов *HV9931* успешно транслирована в подсистему на языке *PSPICE*. Изучена структура разработанной программы. Проверка показала, что полученная *SPICE*-подсистема работает корректно, а, значит, возможно ее использование для разработки, устройств, содержащих узлы на основе ШИМ-контроллера стабилизатора тока светодиодов *HV9931*.

#### Литература

1. Амелина М.А., Амелин С.А Программа схемотехнического моделирования MICRO-CAP. Версии 9, 10 – Санкт-Петербург, Издательство Лань, 2014, 632 С.
2. Universal High Brightness LED Drivers HV9931. Supertex inc. Doc.# DSFP-HV9931.
3. Амелин С.А., Амелина М.А. Библиотека функциональных блоков. Системы компьютерной математики и их приложения. 2013. № 14. С. 5-7.
4. Клямеров К.П., рук. С.А. Амелин, к.т.н., доц. Математическая модель драйвера светодиодной лампы с единичным коэффициентом мощности // Сборник: XVIII международная научно-техническая



С.А. Амелин, к.т.н., доц., М.А. Амелина, к.т.н., доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

## ДЕЛИТЕЛЬНОЕ ЗВЕНО КАК ЭЛЕМЕНТ СРАВНЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрена типичная структура системы автоматического управления с обратной связью (управление по отклонению). Показаны особенности такой системы, а также типичные проблемы, возникающие при обеспечении устойчивости таких систем в случае, если коэффициент усиления объекта управления меняется в зависимости от режима работы. Отмечено, что именно такое поведение характерно для существенной части импульсных регуляторов постоянного напряжения, что делает оптимальную коррекцию систем управления такими регуляторами нетривиальной задачей. Показано, что кроме классического разностного (линейного) звена в системе управления можно использовать множителе-но-делительное (нелинейное) звено. При использовании такого звена получается логотметрическая система управления, обладающая рядом уникальных свойств. В частности петлевой коэффициент передачи такой системы не зависит от коэффициента усиления объекта управления, что создает перспективы улучшения динамических характеристик стабилизаторов напряжения, построенных на основе импульсных регуляторов. Продемонстрированы основные свойства этой системы на примере объекта управления, представляющего собой колебательное звено. Намечены основные задачи исследований свойств логотметрической системы управления в составе импульсных источников электропитания.

**Ключевые слова:** система автоматического управления, нелинейные звенья, делитель, умножитель, частотные характеристики, непрерывная нелинейная модель.

В системах автоматического управления (САУ) с обратной связью (системах с управлением по отклонению) обязательно должно быть звено, отслеживающее отклонение выходного параметра от входного (уставки). В подавляющем большинстве случаев для этого используется линейное звено – вычитатель [1]. При этом классическая система управления с обратной связью имеет вид, представленный на рис. 1. В частности, именно такие системы управления используются при построении импульсных источников вторичного электропитания.

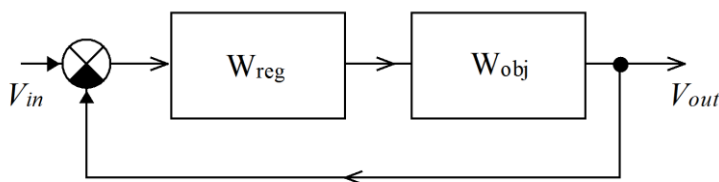


Рисунок 1 – Структурная схема классической системы с управлением по отклонению

Передачная характеристика такой системы описывается уравнением:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{W_{reg} \cdot W_{obj}}{1 + W_{reg} \cdot W_{obj}},$$

где  $V_{in}$  и  $V_{out}$  – входной и выходной сигналы системы управления (для определенности в качестве сигнала рассматривается напряжение),  $W_{reg}$  и  $W_{obj}$  – передаточные функции регулятора и объекта управления, соответственно.



Для получения точного равенства между входным и выходным сигналами (получение астатической системы) при ограниченном коэффициенте передачи  $W_{obj}$ , необходимо, чтобы  $W_{reg}$  стремилась к бесконечности. Обычно это достигается включением в состав регулятора интегрирующего звена. Однако такое решение не лишено недостатков.

Использование регулятора с пропорционально-интегральным (ПИ) или пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) законом регулирования позволяет получить максимальное быстродействие с сохранением астатизма системы [1]. Но оптимальность сохраняется только при вполне определенных значениях параметров объекта управления, в частности, его коэффициента усиления  $K$ . Однако в процессе эксплуатации системы эти параметры могут меняться, как могут меняться и параметры самого регулятора. Данное обстоятельство либо требует постоянной адаптивной настройки регулятора, либо приводит к ухудшению эксплуатационных свойств системы.

В случае с импульсным источником электропитания объектом управления является импульсный преобразователь постоянного напряжения. Для ряда типов таких преобразователей коэффициент усиления  $K$  в области низких частот не является постоянным, что делает затруднительным выполнение оптимальной коррекции и получение максимального быстродействия. Особенно сильно проблемы проявляются при коррекции систем на основе регуляторов напряжения со сложной топологией. Поэтому поиск альтернативных вариантов построения систем управления и исследование их характеристик является актуальной задачей.

Одной из альтернатив вычитателю в структуре САУ может быть множително-делительное звено [2]. Такая система управления называется логометрической (рис. 2). Здесь  $X1$  – звено умножения,  $X2$  – инерционное звено с постоянной времени  $T$ ,  $X3$  – звено деления.

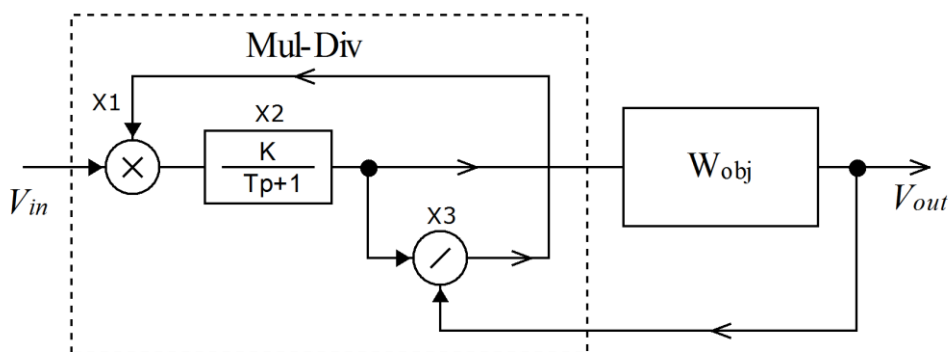


Рисунок 2 – Структурная схема логометрической системы с множително-делительными звеньями

В [2] показано, что такая система обладает рядом интересных свойств. В частности, эту нелинейную систему в окрестности рабочей точки можно представить как классическую систему с вычитателем и интегрирующим звеном. Таким образом, эта система обладает астатизмом. Постоянная времени интегрирования равна постоянной времени  $T$  инерционного звена.

Кроме того, диапазон устойчивой работы такой системы шире, чем у системы с интегрирующим звеном. И что очень важно, петлевой коэффициент усиления не зависит от коэффициента усиления объекта управления, что существенно упрощает обеспечение устойчивости системы и позволяет оптимизировать динамические свойства вне зависимости от изменения коэффициента передачи системы в процессе её работы. Это свойство позволяет считать ее перспективной для использования в импульсных источниках электропитания.

Однако глубокого исследования динамических свойств такой системы и обоснование целесообразности её использования в составе импульсных источников вторичного электропитания до сих пор не проводилось. Во многом это было обусловлено тем, что на момент возникновения идеи использования множительно-делительного звена её реализация была нетривиальной технической задачей. В настоящее время развитие микроэлектроники и повсеместное использование микроконтроллеров в системах управления техническими объектами, в том числе и источниками электропитания вполне позволяет массово использовать предложенную структуру САУ.

Представленную выше структуру можно реализовать и по-другому с сохранением тех же основных свойств. Модифицированный вариант нелинейной САУ представлен на рис. 3

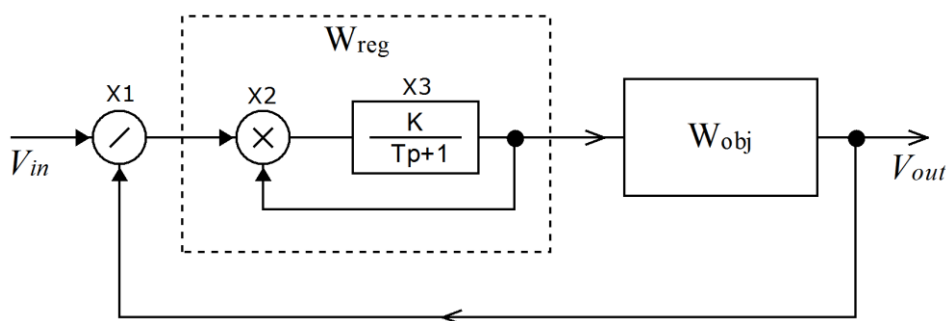


Рисунок 3 – Структурная схема логометрической системы с местной положительной обратной связью

Эта структура ближе по конфигурации к классической САУ с вычитательным звеном сравнения. Только вместо вычитателя используется делитель X1, а астатизм системе придает умножитель X2 с положительной обратной связью через инерционное звено X3

Характеристическое уравнение исследуемой системы:

$$1 + \frac{1}{Tp} \cdot \frac{W_{obj}(p)}{K_{obj}} = 0,$$

где  $T$  – постоянная времени инерционного звена,  $K_{obj}$  – коэффициент усиления объекта управления.

В окрестности рабочей точки стационарного режима, когда  $V_{in} \approx V_{out}$ , делительное звено может быть представлено вычитателем, а умножитель с положительной обратной связью и инерционным звеном – интегратором. При этом фактически получается классическая САУ с ПИ-регулятором. Например, для

объекта управления, представляющего собой колебательное звено, структура приобретает вид рис. 4.

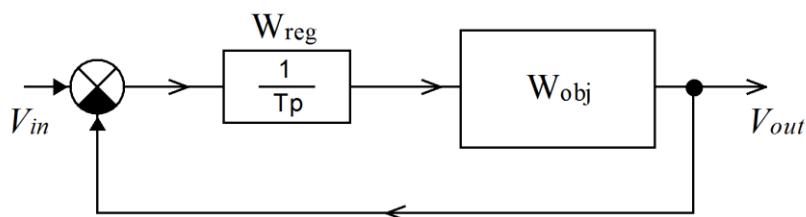


Рисунок 4 – Структурная схема логометрической системы при малых возмущениях

Однако в отличие от классической системы с ПИ-регулятором, ЛАЧХ разомкнутой логометрической системы не меняется при изменении коэффициента усиления объекта управления. Например, для объекта управления в виде колебательного звена с коэффициентом передачи  $K$  получаются следующие семейства ЛАЧХ (рис. 5):

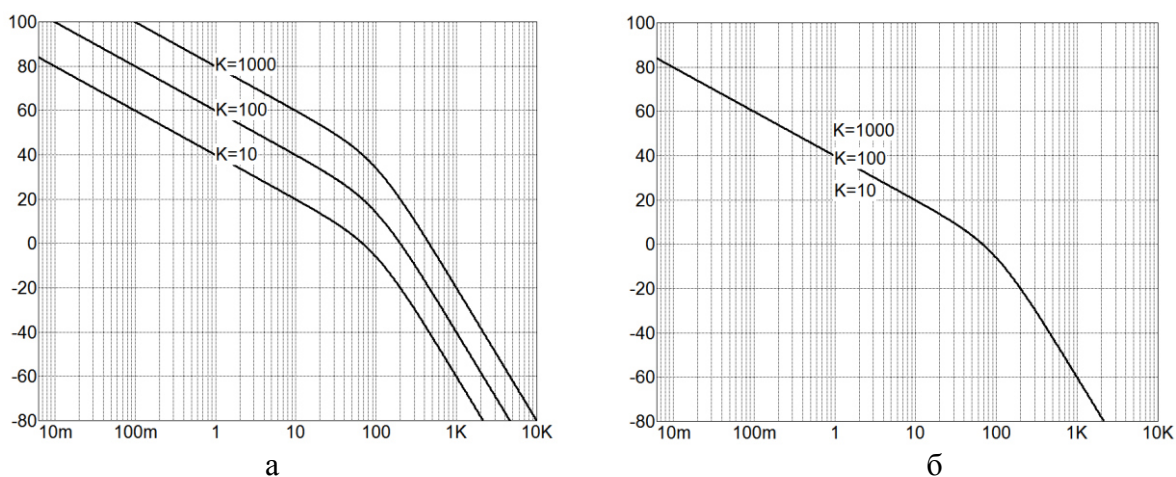


Рисунок 5 – ЛАЧХ при изменении коэффициента усиления объекта управления:  
а – классической системы с ПИ-регулятором, б – логометрической системы

Неизменность ЛАЧХ свидетельствует о неизменности динамических характеристик системы. Это подтверждается семейством переходных характеристик, снятых при изменении коэффициента передачи объекта  $K$  от 10 до 1000, т.е. в 100 раз (рис. 6).

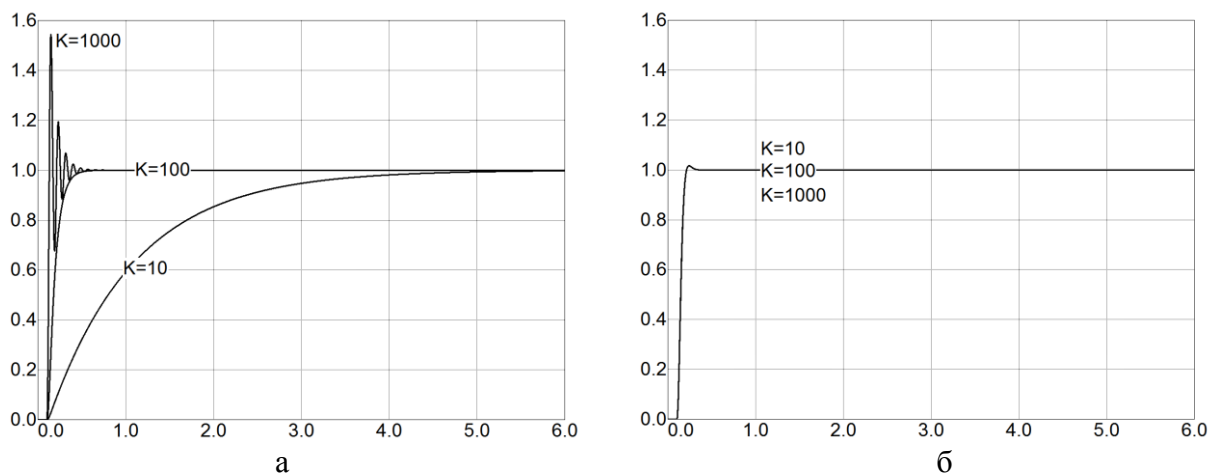


Рисунок 6 – Переходная характеристика при изменении коэффициента усиления объекта управления: а – классической системы с ПИ-регулятором, б – логометрической системы

При изменении коэффициента усиления переходная характеристика классической системы с ПИ-регулятором меняется от сильно демпфированной при  $K=10$  до сильно колебательной при  $K=1000$ . При тех же изменениях коэффициента усиления объекта переходная характеристика логометрической системы остается неизменной. Это свойство делает такую систему перспективной для получения максимального быстродействия при отсутствии колебаний и перерегулирования при существенном изменении коэффициента усиления объекта, что характерно для ряда импульсных регуляторов постоянного напряжения.

Исследование характеристик источников электропитания при использовании логометрической системы управления может быть проведено с использованием непрерывных моделей импульсных преобразователей. В частности, актуальной задачей является разработка методики обеспечения устойчивости таких систем и выработка рекомендаций по синтезу цепей коррекции, если таковые потребуются.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-07-00193 А «Использование нелинейных обратных связей для улучшения характеристик преобразовательных устройств».*

#### Литература

1. Основы теории автоматических систем. Я.З. Цыпкин. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», М., 1977, 560 стр. С. 174-178.
2. Кульков А.А. Регуляторы автоматических систем с обратной связью // Системы автоматизации и управления технологическими объектами: Сборник научных трудов №5. Смоленск: Смоленский филиал МЭИ. 1993. С. 113-117.
3. М.А. Амелина, С.А. Амелин Построение непрерывных моделей импульсных преобразователей постоянного напряжения // Практическая силовая электроника. 2019. №3 (75). С. 20–28.

*С.А. Амелин, к.т.н., доц., М.А. Амелина, к.т.н., доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА ЛОГОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ**

*Рассмотрена структура логометрической системы управления и необходимые меры по обеспечению её работы в составе импульсного источника вторичного электропитания. Отмечены особенности умножителя с положительной обратной связью, оказывающие влияние на получения его частотных характеристик. Представлен способ получения частотных характеристик системы в окрестности рабочей точки при наличии умножителя с положительной обратной связью. Отмечено, что такой способ позволяет программам схемотехнического анализа переходить от построения частотных характеристик разомкнутых систем к временным характеристикам замкнутых систем без каких-либо дополнительных перестроений схемы. Показана возможность использования логометрической системы для обеспечения устойчивости стабилизатора напряжения на основе понижающе-повышающего регулятора, получены частотная и переходная характеристика скорректированной системы. Намечены дальнейшие задачи исследования систем с логометрическим принципом управления.*

**Ключевые слова:** система автоматического управления, нелинейные звенья, делитель, умножитель, частотные характеристики, непрерывная нелинейная модель, понижающе-повышающий регулятор, Flyback, режим непрерывных токов дросселя.

Для улучшения динамических характеристик систем автоматического управления (САУ) в их состав могут включаться нелинейные звенья. В частности, если использовать в качестве звена сравнения входного сигнала (уставки) и выходного сигнала не обычное звено вычитания, а звено деления, и для придания астатизма вводить не интегратор, а умножитель с положительной обратной связью, то получается так называемая логометрическая система управления (рис. 1). Такая система обладает очень интересным свойством – петлевой коэффициент усиления не зависит от коэффициента усиления объекта управления [1].

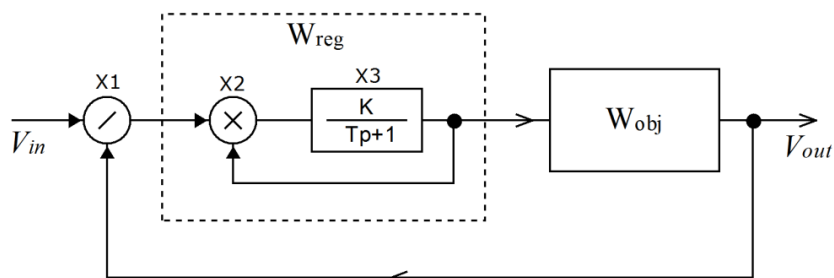


Рисунок 1 – Структурная схема логометрической системы с местной положительной обратной связью: X1 – звено деления, X2 – звено умножения, X3 – инерционное звено,  $W_{reg}$  – регулятор,  $W_{obj}$  – объект управления.

При исследовании свойств таких систем важно учитывать особенности их функционирования. Особенность первая: поскольку система содержит звено деления, то делитель никогда не должен обращаться в ноль. Однако в начальный момент времени  $V_{out}=0$ . Поэтому при реализации устройства в цепь сигнала обратной связи необходимо добавить звено с зоной нечувствительности. При использовании такой САУ в составе импульсного источника электропитания можно утверждать, что выходное напряжение в процессе работы не меняет знак и звено с зоной нечувствительности в этом случае можно заменить на ограничитель снизу. Кроме того, сигнал обратной связи в таких системах будет ограничен (как минимум, напряжением питания системы управления). Поэтому в реальном устройстве всегда будет двустороннее ограничение и при анализе такой системы логично использовать двусторонний ограничитель.

Особенность вторая: поскольку система содержит умножитель, то в начальный момент времени происходит умножение на ноль и система «залипает» в этом состоянии. Поэтому в тракт местной положительной обратной связи также нужно включить ограничитель снизу. Строго говоря, это так же, как и в первом случае, должно быть звено с зоной нечувствительности, но поскольку в импульсных источниках вторичного электропитания сигнал обратной связи не меняет знак, то произведение также не будет менять знак и можно использовать звено ограничения снизу. Опять-таки, практическая реализация всегда будет формировать ограниченный сверху сигнал. Т.е. при моделировании необходимо использовать двусторонний ограничитель. Поскольку для импульсных регуляторов постоянного напряжения параметр регулирования это коэффициент заполнения импульсов  $d$ , который может меняться только в диапазоне от нуля до единицы, то с целью исследования работы такой САУ в импульсных источниках

электропитания ограничение сверху должно быть на уровне единицы. Таким образом, логотметрическая система, пригодная к практической реализации, приобретает вид рис. 2.

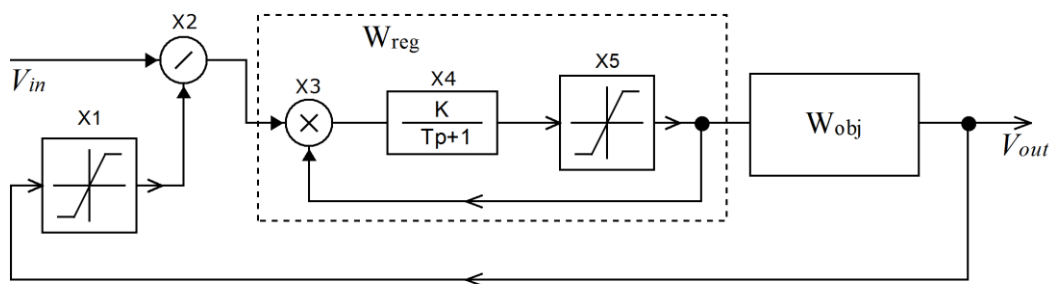


Рисунок 2 – Структурная схема логотметрической системы для практической реализации в составе импульсного источника электропитания

Еще одна особенность рассматриваемой системы – неопределенность частотной характеристики умножителя, охваченного положительной обратной связью. В замкнутой системе в состоянии баланса (т.е. когда  $V_{out}=V_{in}$ ) на входе умножителя всегда единица. А вот на выходе сигнал может принимать различные значения в зависимости от коэффициента усиления  $K$  объекта управления  $W_{obj}$  (рис. 3)

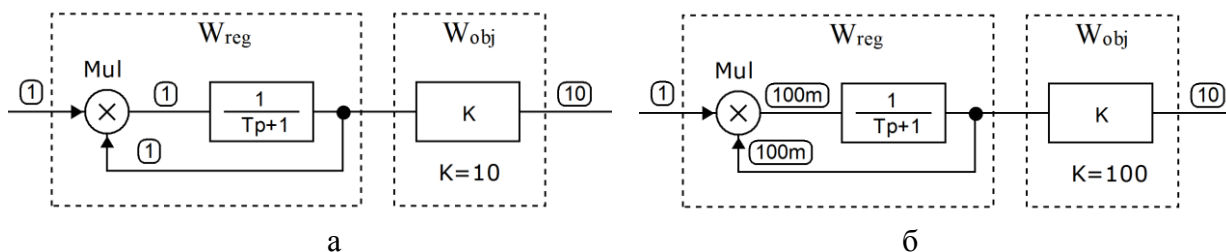


Рисунок 3 – Уровни сигналов в системе при разных коэффициентах усиления объекта управления: а – при  $K=10$ , б – при  $K=100$

Таким образом, построить частотную характеристику такого регулятора  $W_{reg}$  для общего случая невозможно. В частных случаях такая характеристика представляет собой характеристику интегрирующего звена с постоянной времени  $T_{mul}$ , равной постоянной времени  $T$  инерционного звена, умноженной на коэффициент усиления  $K$  (рис. 4).

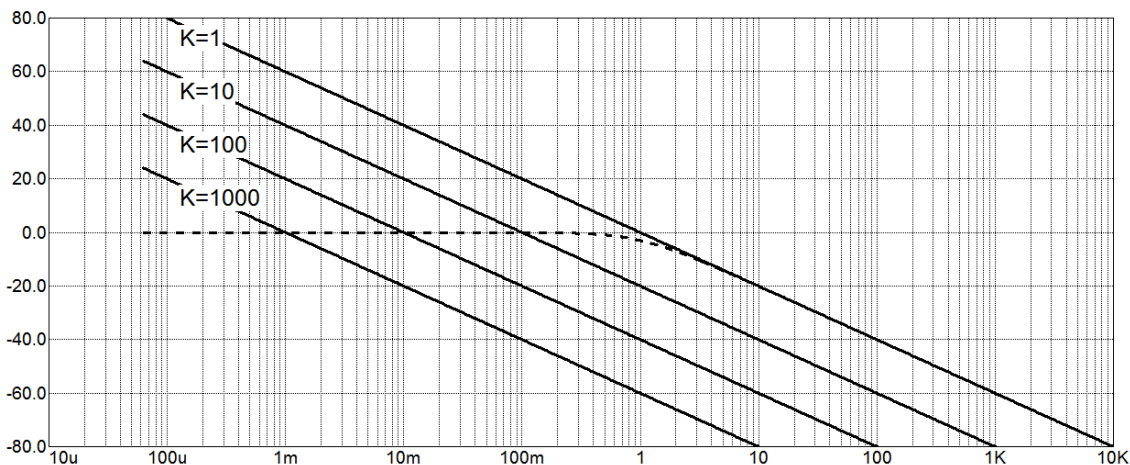


Рисунок 4 – ЛАЧХ звеньев системы: сплошной линией – умножителя с положительной обратной связью при разных значениях коэффициента усиления  $K$  объекта управления, пунктирной линией – инерционного звена в цепи обратной связи умножителя



Получается, что свойства регулятора  $W_{reg}$  зависят от свойств объекта управления  $W_{obj}$ . Поэтому такую логометрическую систему можно считать вариантом адаптивной системы. Именно вследствие этого результирующая частотная характеристика разомкнутой логометрической САУ не меняется при изменении коэффициента усиления  $K$  объекта управления  $W_{obj}$ .

Получение ЛАЧХ нелинейной системы в окрестности рабочей точки (точки баланса) имеет свои особенности. В наибольшей степени они проявляются для именно рассматриваемого варианта логометрической системы, поскольку эти характеристики имеют смысл только в замкнутой системе. Получить их в разомкнутой системе невозможно даже в случае подачи на входы делителя сигналов, соответствующих балансу системы (т.е. соответствующих рабочей точке). Корректные частотные характеристики получаются только в том случае, если система замкнута по постоянному току. Поэтому при использовании программ схемотехнического моделирования для получения частотных характеристик таких систем в цепь обратной связи приходится включать фильтр нижних частот L1 C1 с частотой среза стремящейся к нулю. Такой фильтр обеспечивает связь по постоянному току и разрыв по переменному (рис. 5)

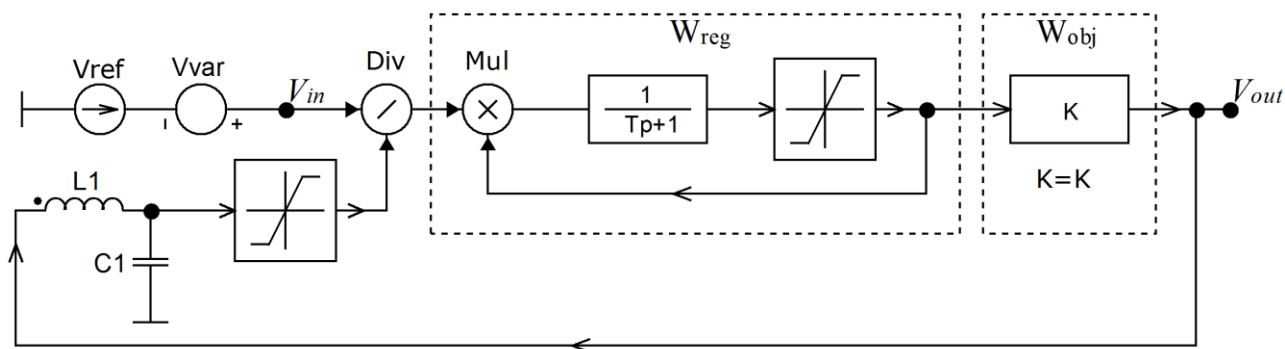


Рисунок 6 – Схема моделирования для получения ЛАЧХ системы в окрестности рабочей точки

В ряде программ схемотехнического моделирования (например, Micro-Cap) параметры C1 и L1 можно менять автоматически в зависимости от режима анализа. Это позволяет, не меняя схемы, сначала получать частотные характеристики разомкнутой системы, а потом сразу строить переходные характеристики уже для замкнутой (или наоборот). Это очень удобно при изучении влияния каких-либо параметров, поскольку позволяет быстро получать характеристики, как в частотной, так и во временной области.

Если в качестве объекта управления  $W_{obj}$  использовать нелинейную непрерывную модель импульсного регулятора напряжения [2], то по полученным ЛАЧХ можно оценить устойчивость системы и меняя постоянную времени инерционного звена  $T$  в цепи положительной обратной связи скорректировать её для получения необходимого запаса устойчивости (рис. 7). Для примера использовалась непрерывная модель повышающе-понижающего регулятора (Fly-back), работающего в режиме непрерывных токов дросселя.

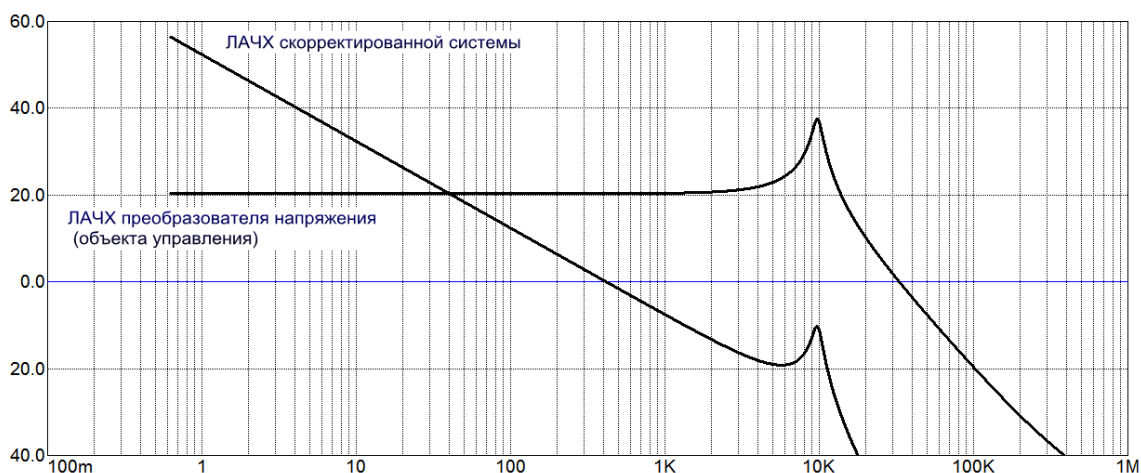


Рисунок 7 – ЛАЧХ разомкнутой скорректированной и нескорректированной системы в окрестности рабочей точки

Как видно из графиков, выбранная постоянная времени интегрирования обеспечила достаточный запас устойчивости. Таким образом, используя выбранную логометрическую систему, можно гарантировано обеспечить устойчивость импульсного источника электропитания с сохранением астатизма. Переходная характеристика скорректированной системы представлена на рис. 8.

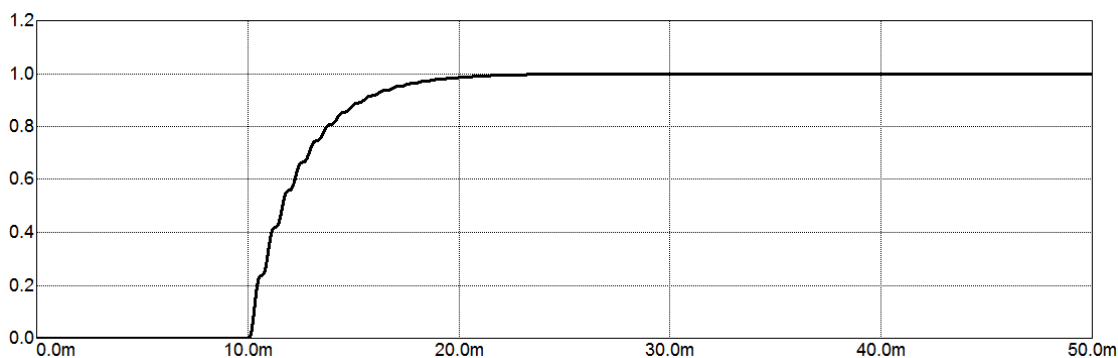


Рисунок 8 – Переходная характеристика скорректированной системы управления повышающе-понижающим регулятором напряжения (Flyback)

Рассмотренный импульсный регулятор постоянного напряжения имеет характеристику колебательного звена с явно выраженным пиком характеристики вблизи частоты среза. Такие же характеристики типичны и для ряда других регуляторов. Причем как частота, на которой появляется этот пик, так и коэффициент передачи в области низких частот для регуляторов напряжения не является постоянной величиной и может существенно меняться в зависимости от режима работы. Классические рекомендации (например, метод асимптотических ЛАЧХ) для таких систем подходят плохо. И если изменение коэффициента усиления в рассматриваемом случае можно не учитывать, поскольку логометрическая система его нивелирует, то изменение частоты пика гарантировано будет влиять на устойчивость. Поэтому для выработки рекомендаций по выбору постоянной времени  $T$  (фактически для коррекции системы) и оценки её динамических свойств применительно к импульсным преобразователям напряжения требуются дополнительные исследования.



*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-07-00193 А «Использование нелинейных обратных связей для улучшения характеристик преобразовательных устройств».*

Литература

4. 1. Кульков А.А. Регуляторы автоматических систем с обратной связью // Системы автоматизации и управления технологическими объектами: Сборник научных трудов №5. Смоленск: Смоленский филиал МЭИ. 1993. С. 113-117.
5. 2. М.А. Амелина, С.А. Амелин Построение непрерывных моделей импульсных преобразователей постоянного напряжения // Практическая силовая электроника. 2019. №3 (75). С. 20–28.

*М.А. Амелина, к.т.н., доц.; С.А. Амелин, к.т.н., доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПОСТРОЕНИЕ НЕПРЕРЫВНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ С ПРОИЗВОЛЬНОЙ ТОПОЛОГИЕЙ В РЕЖИМЕ PEAK CURRENT MODE**

*Рассмотрено построение непрерывной модели переключаемой ШИМ-структуры, на основе которой могут быть построены усредненные непрерывные модели DC-DC преобразователей с произвольной топологией в режиме Peak Current Mode. Демонстрируется методика построения модели ШИМ-структуры, проверка её адекватности для одного из преобразователей путем сравнения поведения во временной области с полной имитационной моделью импульсного преобразователя. Показана применимость модели для получения малосигнальных передаточных характеристик преобразователя с произвольной топологией в частотной области для режима управления по амплитудному току дросселя (Peak Current Mode). Обоснованы перспективы применения модели для анализа устойчивости преобразователей в данном режиме.*

**Ключевые слова:** импульсный источник питания, Switch Mode Power Supply, импульсный преобразователь напряжения, DC-DC converter, Voltage Mode, Current mode, усредненная непрерывная модель, ШИМ-структура диод-ключ, CCM, DCM.

В [1, 2] показано построение непрерывных моделей трех основных структур импульсных преобразователей постоянного напряжения: понижающего (BUCK), повышающего (BOOST) и инвертирующего (BUCK-BOOST) на основе усредненной модели переключаемой ШИМ-структуры S-D. В данной ШИМ-структуре: S – управляемый ключ (транзисторный силовой ключ преобразователя), D – неуправляемый ключ (обратный диод преобразователя). Однако построенная модель предназначена для режима *Voltage Mode* (VM) [3], т.е. для управления относительной длительностью проводящего состояния силового транзисторного ключа сигналом рассогласования напряжения. Большинство же современных импульсных источников питания используют режим *Current Mode* [3] (управление по амплитудному значению тока силового ключа). Создание обобщенной непрерывной модели S-D структуры для этого режима представляет собой актуальную задачу, решению которой и посвящена данная статья.

В режиме управления *Peak Current Mode* (CM) в широтно-импульсном модуляторе, для создания ШИМ-сигнала управления транзисторным ключом используется не пилообразный сигнал тактового генератора с частотой коммутации  $F_s$ , а линейно-нарастающий ток дросселя (или, что, то же самое, ток

управляемого ключа  $S$  на этапе его включенного состояния). Типовая структура импульсного стабилизатора напряжения, использующего данный режим управления, представлена на рис. 1. Управляемый транзисторный ключ включается в начале периода коммутации коротким прямоугольным импульсом тактового генератора, устанавливающим RS-триггер  $T$  в единичное состояние. Запирается ключ тогда, когда линейно нарастающий ток дросселя (управляемого ключа) сравнивается с сигналом рассогласования выходного напряжения  $V_C$ . При этом событии единичный сигнал с выхода ШИМ-компаратора, поступающий на вход сброса  $R$  RS-триггера (рис. 1), запрет управляемый ключ. Дополнительно из сигнала рассогласования напряжения  $V_C$  вычитается компенсирующее пилообразное напряжение  $V_{RAMP}$  для ликвидации субгармонической неустойчивости стабилизатора при коэффициенте заполнения управляющих импульсов ключа  $d_1 > 0,5$  в режиме непрерывных токов дросселя [4].

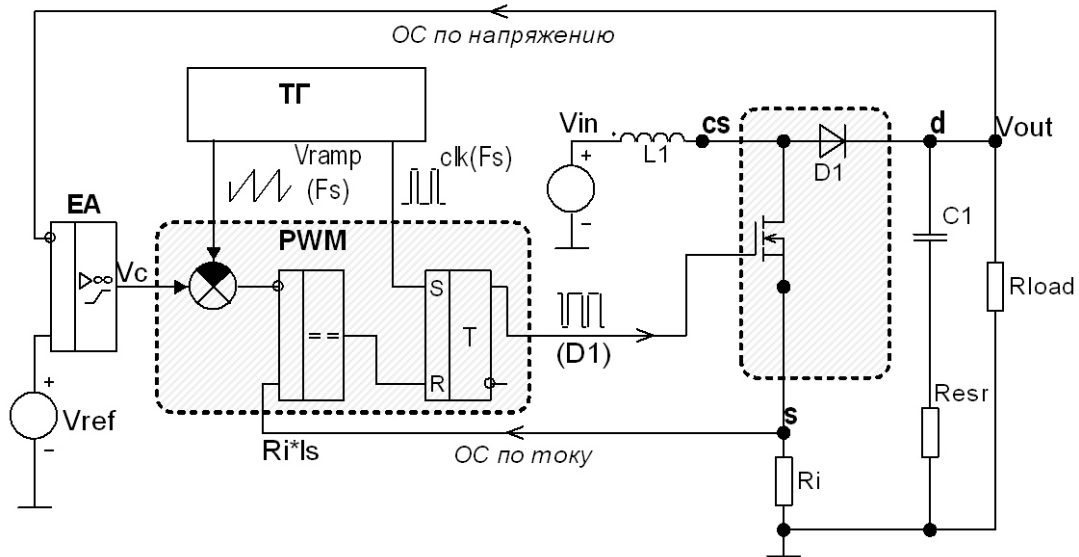


Рисунок 1 – Структура импульсного стабилизатора напряжения с режимом управления Current Mode

В рассматриваемом режиме сигнал управления  $V_C$ , сигнал компенсирующей пилой и сигнал обратной связи по току с датчика тока  $R_i \cdot I_S$  преобразуются широтно-импульсным модулятором PWM в управляющие ШИМ-импульсы с коэффициентом заполнения  $d_1$ . При этом составная часть преобразователя напряжения с произвольной топологией (ШИМ-структура S-D, узлы S, D, CS на рис. 1) остается неизменной и естественно, для неё может быть использована составная часть модели для режима *Voltage Mode*, построенная в [1, 2]. Задача преобразования непрерывной модели переключаемой ШИМ-структуры S-D в модель для режима *Current Mode* сводится таким образом к дополнению модели блоком вычисления коэффициента заполнения  $d_1$ , зависящего от входных сигналов ШИМ в этом режиме (блок PWM на рис. 1). Помимо этого, данный режим вводит внутреннюю отрицательную обратную связь по току дросселя (току, вытекающему из узла CS), поэтому в ветви D-CS новой непрерывной модели появится нелинейный зависимый источник тока, вместо нелинейного зависимого источника напряжения.

Построение непрерывной модели ШИМ-структуры в режиме СМ будем вести, используя геометрические соображения (рис. 2). Для общности будем рассматривать режим разрывных токов дросселя, чтобы получить непрерывную модель, автоматически переключающуюся между режимами при выполнении соответствующих условий, как это делалось при построении модели для режима VM [1].

Наклоны тока дросселя при замкнутом ключе  $S_1$  (интервал  $d_1T_s$ ) и при разомкнутом ключе  $S_2$  (интервал  $d_2T_s$ ) определяются соответствующими усредненными напряжениями, поделенными на индуктивность дросселя  $L$ :

$$S_1 = \frac{V_{S,CS}}{L}; \quad S_2 = \frac{V_{CS,D}}{L}.$$

Как сказано выше, инвариантные свойства, полученные для ШИМ-переключателя в режиме VM [1, 2], по-прежнему применимы и для режима СМ:

$$I_s = \frac{d_1}{d_1 + d_2} \cdot I_{CS}; \quad V_{CS,D} = \frac{d_1}{d_1 + d_2} \cdot V_{S,D}. \quad (1)$$

Это означает, что соответствующие зависимые источники тока и напряжения в соответствующих ветвях останутся неизменными.

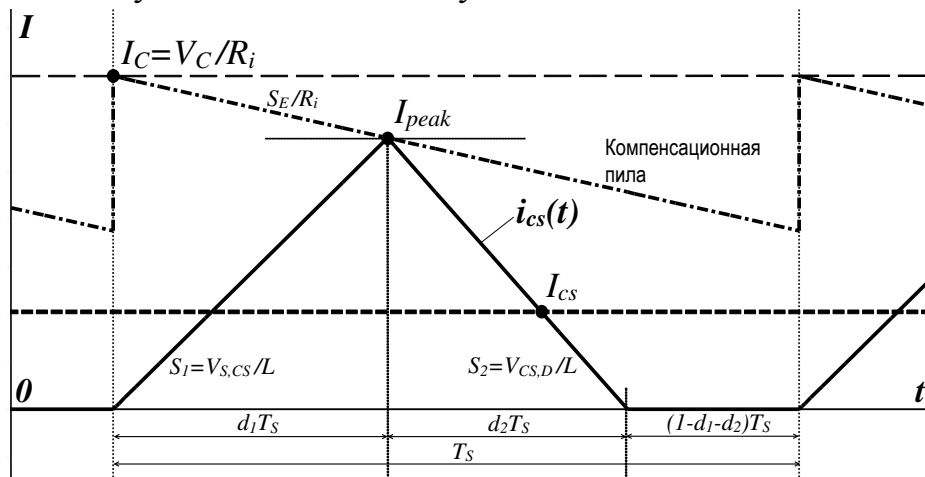


Рисунок 2 – Временная диаграмма токов преобразователя в режиме DCM:  $I_C$  – управляющий ток;  $i_{cs}(t)$  – мгновенный ток дросселя (узла CS);  $I_{CS}$  – средний за период коммутации ток дросселя

Максимальный ток дросселя  $I_{peak}$  согласно рис. 2 будет определяться соотношением:

$$I_{peak} = \frac{V_C - d_1 T_s S_E}{R_i},$$

где  $S_E$  – наклон компенсирующей пилы  $V_{RAMP}$ ,  $R_i$  – коэффициент передачи датчика тока (в рассматриваемом варианте – сопротивление резистивного датчика тока).

Средний ток дросселя  $I_{CS}$  может быть определен двумя способами:

$$I_{CS} = I_{peak} - (I_{peak} - I_{CS}) = \frac{V_C - d_1 T_s S_E}{R_i} - (I_{peak} - I_{CS}); \quad (2)$$

$$I_{CS} = I_{peak} \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (3)$$

Подставляя (3) в правую часть соотношения (2), и, учитывая, что  $T_S=1/F_S$ , а  $I_{peak}=d_2 T_S S_2$  получаем итоговое соотношение для тока дросселя:

$$I_{CS} = \frac{V_C}{R_i} - \left( \frac{d_1 S_E}{R_i F_S} + \frac{d_2 V_{CS,D}}{L F_S} \left( 1 - \frac{d_1 + d_2}{2} \right) \right). \quad (4)$$

Соотношение (4) представляет собой искомый ток нелинейного зависимого источника в ветви D-CS.

Коэффициент заполнения  $d_1$  может быть получен из (1):

$$d_1 = \frac{d_2 V_{CS,D}}{V_{S,D} - V_{CS,D}}. \quad (5)$$

Относительная длительность проводящего состояния неуправляемого ключа – обратного диода определяется так же, как и для режима VM [2]:

$$d_2 = \min \left\{ \left( \frac{2 \cdot I_{CS} \cdot L \cdot F_S}{V_{S,CS} \cdot d_1} - d_1 \right), (1 - d_1) \right\}. \quad (6)$$

Уравнения модели для СМ (4) и (5) упрощаются до уравнений режима непрерывного тока дросселя ССМ, когда  $d_2$  становится равным  $(1-d_1)$ . Коэффициенты уравнений модели (4) – (5) сводятся к  $d_1$ , когда  $d_2$  достигает своего верхнего предела, равного  $(1-d_1)$ : т.е. преобразователь переходит в режим ССМ. Поэтому благодаря этой естественной организации уравнений модель автоматически переключается между режимами ССМ и DСМ. В модели DСМ вычисляется относительная длительность  $d_2$  по уравнению (6). Когда  $d_2$ , найденное по нему достигает  $(1-d_1)$ , модель переключается в режим ССМ. Следовательно, (6) определяет, в каком режиме находится модель.

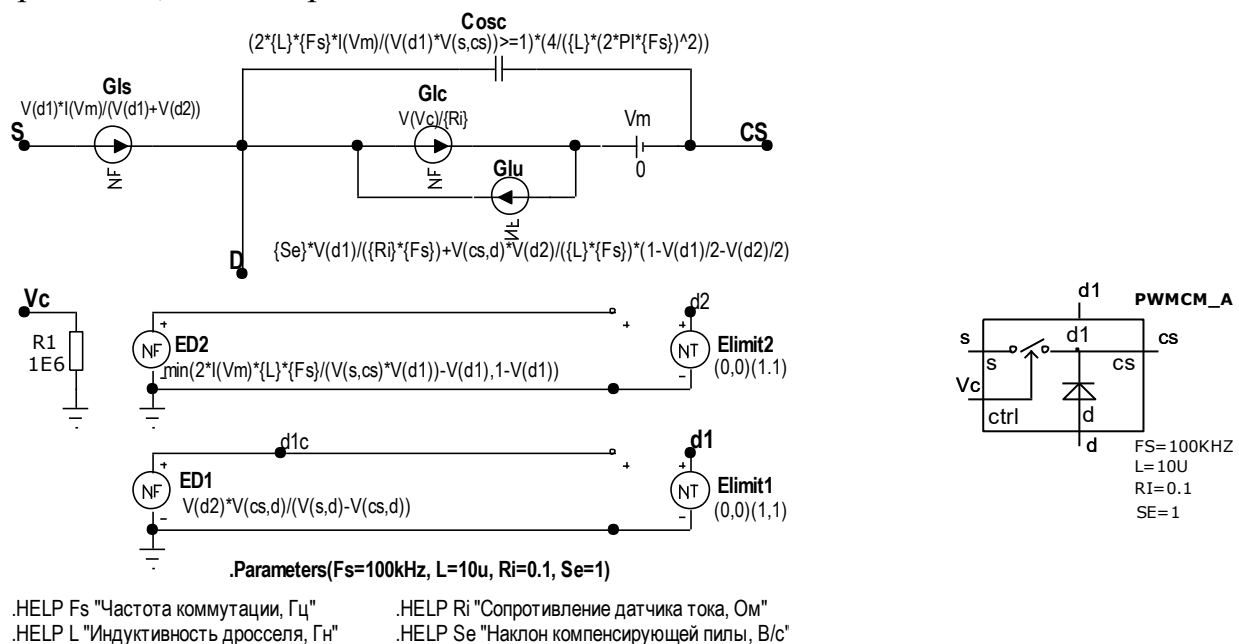


Рисунок 3 – Усредненная непрерывная модель ШИМ-структуры из двух ключей для Current Mode: а – внутренняя структура макромоделли; б – УГО макроса в программе Micro-Cap

Схема макроса непрерывной модели ШИМ-структуры в режиме СМ для программы Micro-Cap (рис. 3), построенная в соответствии с (4)–(5) дополняется ограничителями для относительных длительностей  $d_1$  и  $d_2$ , которые по естественным причинам не могут стать меньше нуля и больше единицы. Также следует отметить, что относительные длительности кодируются напряжениями в соответствующих узлах (d1, d2).

Также в модели между узлами D и CS включается конденсатор  $C_{osc}$  с условно определяемой емкостью: 0 в режиме DCM и  $4/(L(2\pi F_s)^2)$  в режиме CCM. Обоснование постановки данного конденсатора требует рассмотрения линеаризованной малосигнальной версии модели ШИМ-структуры и является темой отдельного исследования. Этот элемент позволяет учесть в непрерывной модели возникновение субгармонических колебаний на частоте  $F_s/2$ .

На основе полученной непрерывной модели S-D ШИМ-структуры можно построить непрерывные модели базовых регуляторов или конвертеров со сложной топологией подобно тому, как это делалось в [1]. Также на непрерывных моделях конвертеров может быть проверена адекватность построенной модели путем сравнения моделирования во временной области ключевой полной модели конвертера и его непрерывной модели. Такая верификация модели может осуществляться при выходе конвертера на режим при постоянном значении сигнала управления – амплитудного значения тока дросселя (рис. 4). На рис. 4 представлены такие результаты для двух моделей: полной имитационной (серые линии) и непрерывной (черные линии) инвертирующего регулятора в режиме СМ.

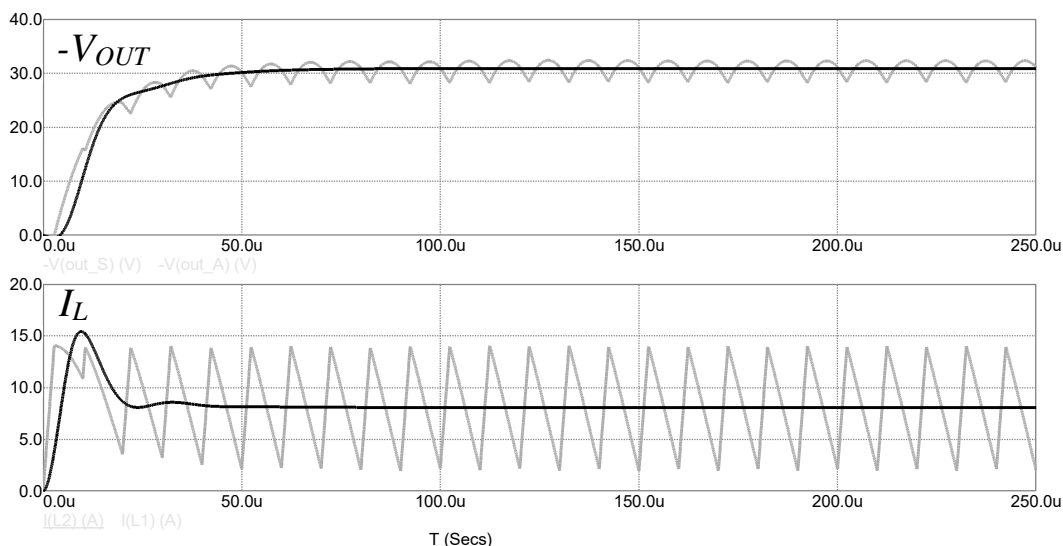


Рисунок 4 – Результаты проверки адекватности непрерывной модели инвертирующего регулятора в режиме СМ

В режиме частотного анализа с помощью построенной непрерывной модели легко могут быть получены характеристики управление ( $V_c$ ) – выход ( $V_{out}$ ), необходимые для анализа устойчивости замкнутых систем стабилизации напряжения. Рис. 5 демонстрирует АЧХ и ФЧХ инвертирующего регулятора постоянного напряжения в режиме СМ. Видно, что исчез двойной полюс [5], в результате чего наклон на критичной части АЧХ стал  $-20$  dB/dec. На этом

участке фазовый сдвиг теперь находится в окрестности  $-90^\circ$ . В режиме VM [5] в результате наличия двойного полюса на резонансной частоте силового фильтра фазовый сдвиг быстро достигает значения  $-180^\circ$ , что заставляет использовать сложную цепь коррекции с подъемом фазы. Рис. 5 демонстрирует преимущества подчиненного регулирования (использование внутренней обратной связи по току), которое разъединяет конденсатор и дроссель по динамике и переводит второй полюс в высокочастотную область, за частоту среза разомкнутого контура [4].

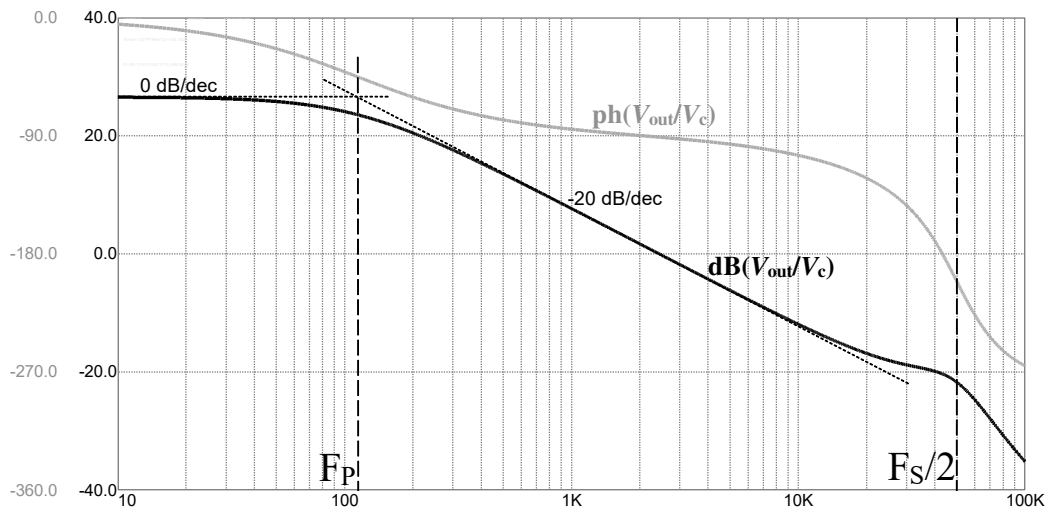


Рисунок 5 – Частотные характеристики инвертирующего регулятора в режиме Current Mode

Таким образом создана непрерывная модель ключевой ШИМ-структуры в режиме Current Mode, позволяющая построить непрерывные модели преобразователей напряжения различной топологии, адекватно отражающие поведение постоянных составляющих переменных состояния DC-DC конвертера.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00343 А «Непрерывные математические модели импульсных преобразователей напряжения со сложной топологией».*

#### Литература

6. 1. А.С. Амелин, студ.; рук. М.А. Амелина Построение непрерывных моделей преобразователей напряжения с произвольной топологией // ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА (микроэлектроника и оптоэлектроника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями). Сб. трудов XVIII-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 3 т. Т. 2. – 2021. – 382 с. С. 6–10.
7. 2. Амелин С.А., Амелина М.А., Дроздецкий С.В., Якименко И.В. Непрерывные модели импульсных источников вторичного электропитания // Математические методы в технологиях и технике. 2021. № 4. С. 100-106.
8. 3. Christophe P. Basso Switch-mode power supplies. SPICE Simulations and Practical Designs. Second Edition. (www.digitalengineeringlibrary.com). Copyright © 2014, 2008 by McGraw-Hill Education. – 955 p.
9. 4. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2015. — 528 с. С. 337-340.
10. 5. М.А. Амелина, С.А. Амелин Построение непрерывных моделей импульсных преобразователей постоянного напряжения // Практическая силовая электроника. 2019. №3 (75). С. 20–28.

## НЕПРЕРЫВНЫЕ МОДЕЛИ СОСТАВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Рассмотрено построение непрерывных моделей преобразователей постоянного напряжения со сложной топологией на основе непрерывной модели переключаемой ШИМ-структуры. Демонстрируются эквивалентные преобразования схем DC-DC конвертеров для возможности использования модели переключаемой ШИМ-структуры при построении их непрерывных моделей. Доказывается адекватность полученных непрерывных моделей составных конвертеров путем моделирования во временной области полной имитационной модели и усредненной непрерывной.

**Ключевые слова:** импульсный преобразователь напряжения, DC-DC converter, Voltage Mode, Current mode, усредненная непрерывная модель, ШИМ-структура диод-ключ, конвертер Поликарпова-Кука, конвертер SEPIC, конвертер ZETA.

В [1, 2] построена непрерывная модель переключаемой ШИМ-структуры управляемый ключ-диод. Эта модель позволяет построить непрерывные модели конвертеров со сложной топологией. В данной статье рассматривается построение непрерывных моделей составных конвертеров: Поликарпова-Кука, SEPIC, ZETA [3].

Преобразователь Поликарпова-Кука представляет наиболее простой случай построения непрерывной модели (рис. 1, а). В стандартном варианте его схемы четко просматривается общий узел управляемого ключа-диода (CS), узел диода (D) и узел управляемого ключа (S). Поэтому непрерывная модель данного преобразователя может быть легко получена заменой ключевых элементов непрерывной моделью переключаемой ШИМ-структуры PWMVM\_A или PWMCM\_A в зависимости от используемого режима управления (рис. 1, б).

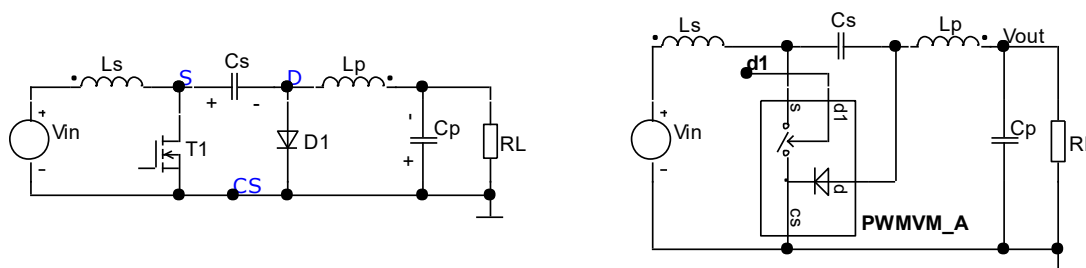


Рисунок 1 – Конвертер Кука (а) и его непрерывная модель (б)

Адекватность такой построенной непрерывной модели конвертера Кука была продемонстрирована ранее в [1], поэтому отдельно на этом останавливаться не будем.

В преобразователе SEPIC [3] в схеме исходного варианта (рис. 2, а) общая точка ключей явно не видна, поэтому необходимо выполнить эквивалентное преобразование схемы – перенести диод  $D_1$  из верхней ветви в нижнюю (рис. 2, б). Естественно, алгоритм работы преобразователя при этом не изменится. После преобразования основные узлы ключевой ШИМ-структуры (CS, S, D) определяются (рис. 2, б) и для получения непрерывной модели преобразователя она может быть заменена своей непрерывной моделью (рис. 2, в).

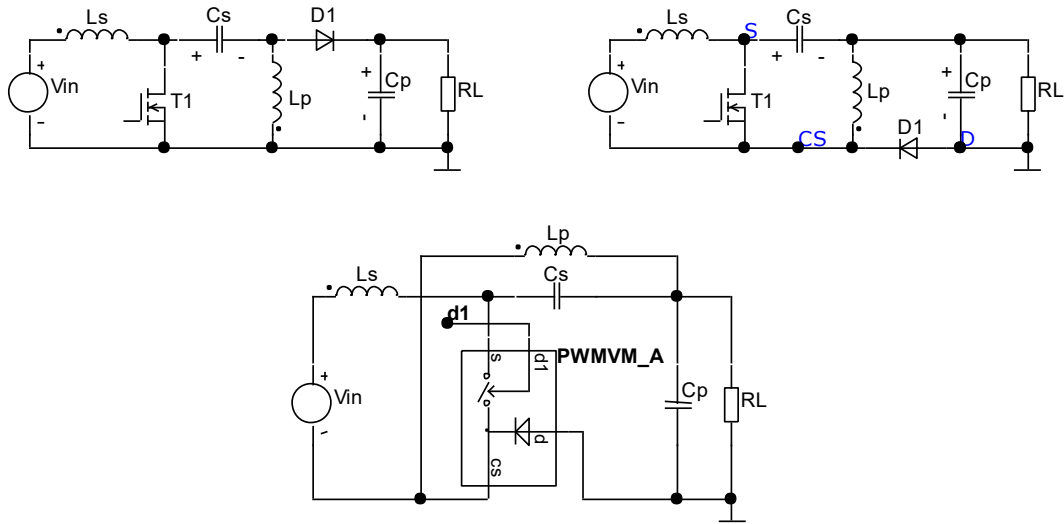


Рисунок 2 – Исходная (а), преобразованная (б) схемы преобразователя SEPIC и его непрерывная модель (в)

Непрерывная модель конвертера SEPIC (рис. 2, в) может быть проверена моделированием во временной области при выходе на режим при постоянном значении сигнала управления. При этом надо следить за переменными состояния – токами катушек и напряжениями конденсаторов.

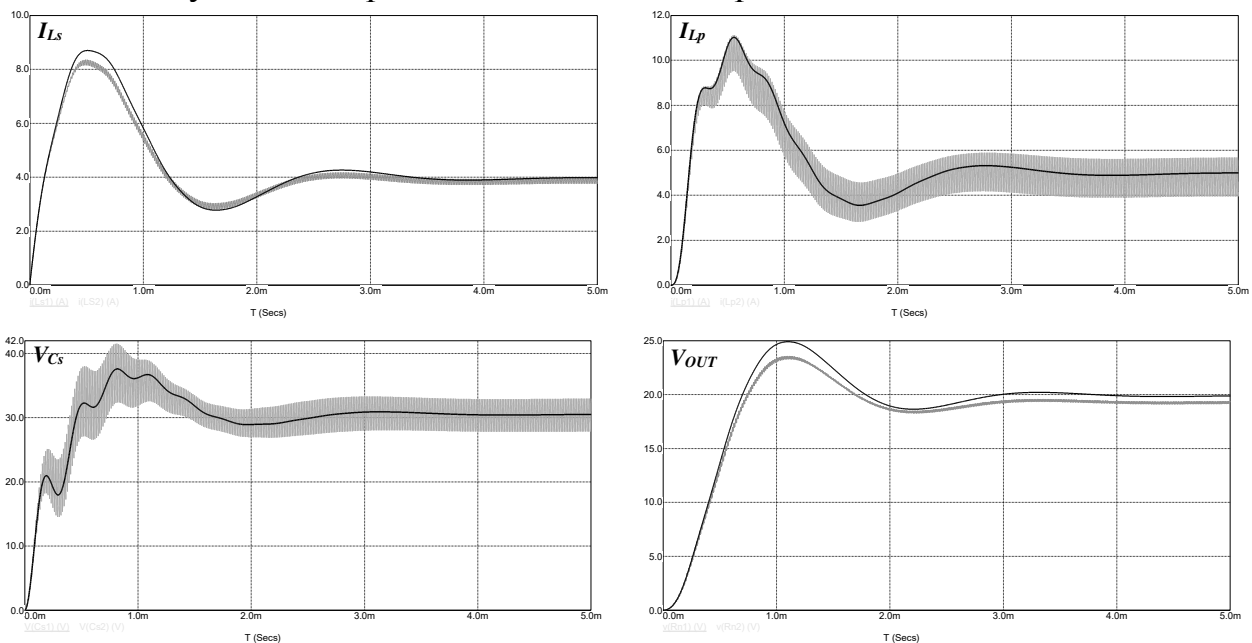


Рисунок 3 – Выход на режим при постоянном коэффициенте заполнения  $d1=0,444$  имитационной модели SEPIC-конвертера (серая линия) и его непрерывной модели (черная линия)

Рис. 3, на котором представлены результаты совместного моделирования двух моделей (полной имитационной, т.е. ключевой) и непрерывной демонстрируют полную адекватность модели в плане предсказания поведения постоянных составляющих переменных состояния. Кривые моделирования непрерывной модели располагаются практически посередине пульсаций имитационной. Несколько более низкий ход кривых переменных состояния с малыми пульсациями имитационной модели ( $I_{Ls}$ ,  $V_{OUT}$ ) объясняется падением напряжения на прямосмещенном диоде D1 (рис. 2, а) при протекании большого тока.



Переходим к рассмотрению конвертера ZETA [3] (рис. 4). Преобразование исходной схемы конвертера представлено на рис. 4, б. После этого легко может быть синтезирована его непрерывная усредненная модель на основе непрерывной модели переключаемой ШИМ-структуры (рис. 4, в).

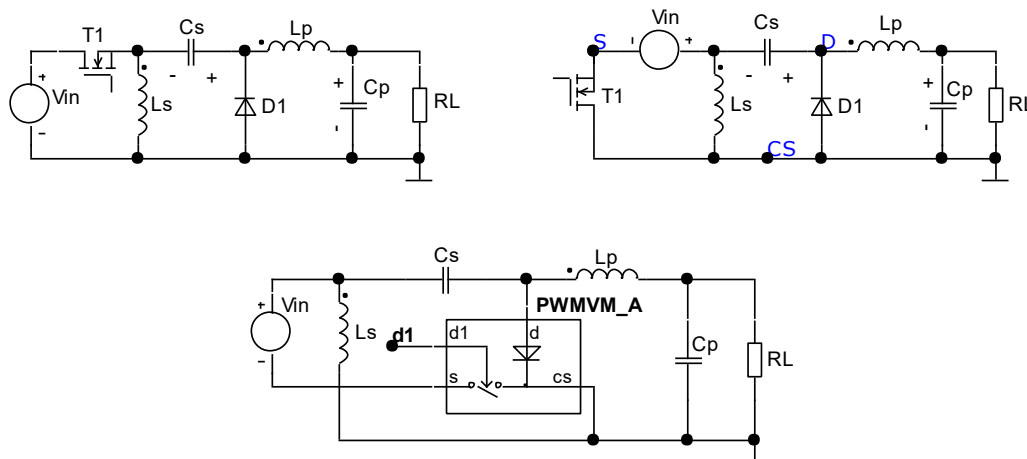


Рисунок 4 – Исходная (а), преобразованная (б) схемы преобразователя ZETA и его непрерывная модель (в)

Моделирование имитационной и непрерывной моделей конвертера при выходе на режим при постоянном значении коэффициента заполнения  $d_1$  (рис. 5) подтверждает адекватность построенной непрерывной модели. Несколько более высокий ход постоянной составляющей переменных состояния имитационной модели ZETA объясняется топологическим преобразованием при использовании непрерывной модели ШИМ-структуры для получения непрерывной модели ZETA преобразователя.

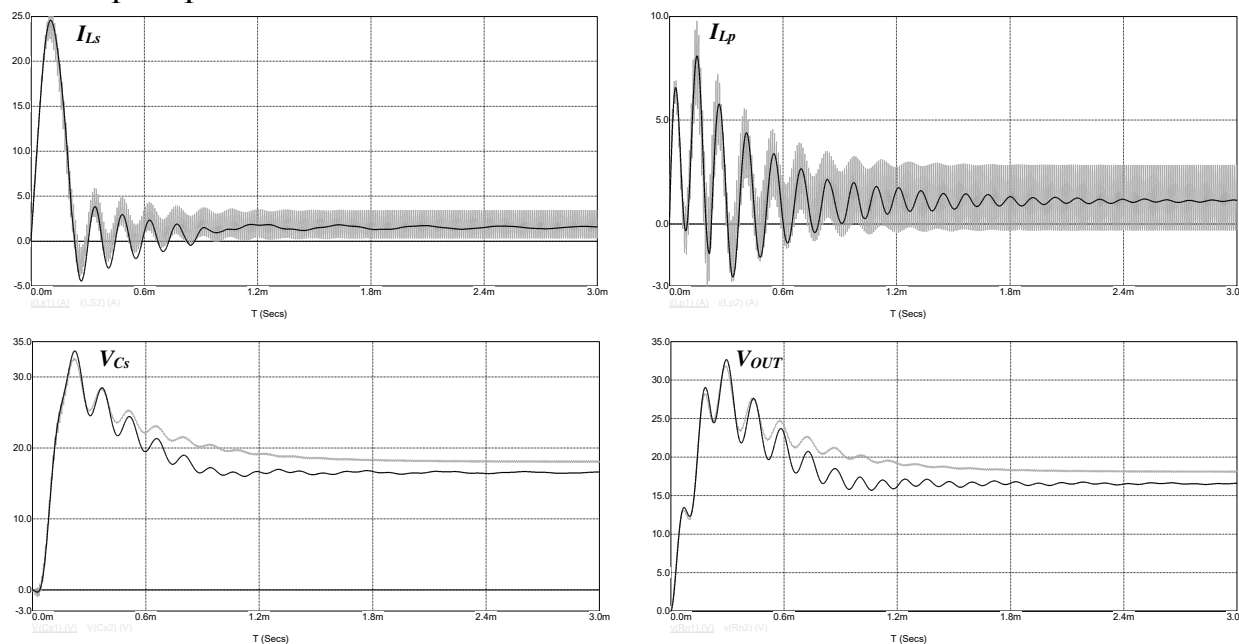


Рисунок 5 – Выход на режим при постоянном коэффициенте заполнения  $d_1=0,58$  имитационной модели ZETA-конвертера (серая линия) и его непрерывной модели (черная линия)

Использование модели ШИМ-структуры в режиме *Current Mode* (PWMCM\_A) позволяет аналогичным образом получить и проверить непре-

рывные модели данных конвертеров в режиме управления по амплитудному току силового ключа.

Благодаря построенным моделям могут быть получены малосигнальные частотные характеристики в окрестности заданного стационарного режима для любого режима управления, что важно для анализа устойчивости и достижения заданных динамических показателей импульсных источников питания, использующих конвертеры со сложной топологией.

Итак, в статье на примере известных составных конвертеров [3] (СUK, SEPIC, ZETA) продемонстрирован алгоритм построения непрерывных моделей преобразователей напряжения с произвольной (в том числе еще не известной) топологией.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00343 А «Непрерывные математические модели импульсных преобразователей напряжения со сложной топологией».*

#### Литература

1. А.С. Амелин, студ.; рук. М.А. Амелина Построение непрерывных моделей преобразователей напряжения с произвольной топологией // ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА (микроэлектроника и оптотехника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями). Сб. трудов XVIII-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 3 т. Т. 2. – 2021. – 382 с. С. 6–10.
2. Амелин С.А., Амелина М.А., Дроздецкий С.В., Якименко И.В. Непрерывные модели импульсных источников вторичного электропитания // Математические методы в технологиях и технике. 2021. № 4. С. 100-106.
3. В.И. Мелешин Транзисторная преобразовательная техника. – Москва: Техносфера, 2005. 632 с. С. 250–255.

*А.Д. Андреев студ.: к.т.н.доц. С.А. Амелин, преп.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РОБОТ-ОХРАННИК**

Робот-охранник представляет собой устройство включающее в себя Wifi-машинку управляемую со смартфона через IP-камеру, установленную на корпусе устройства. В качестве основы был выбран микроконтроллер *Arduino nano*. Приведена функциональная схема устройства.

В современном мире человеку требуется много удобств. Одним из средств их обеспечения является робот-охранник. Данное устройство представляет собой мини систему, позволяющую следить за обстановкой в доме. Робот способен передвигаться везде, где есть WiFi. Робот-охранник готов к использованию абсолютно по разным назначениям. Начиная от элементарного контроля обстановки в жилом помещении, заканчивая тем, что он может использоваться как радио-няня.

Разработанное устройство состоит из следующих компонентов:

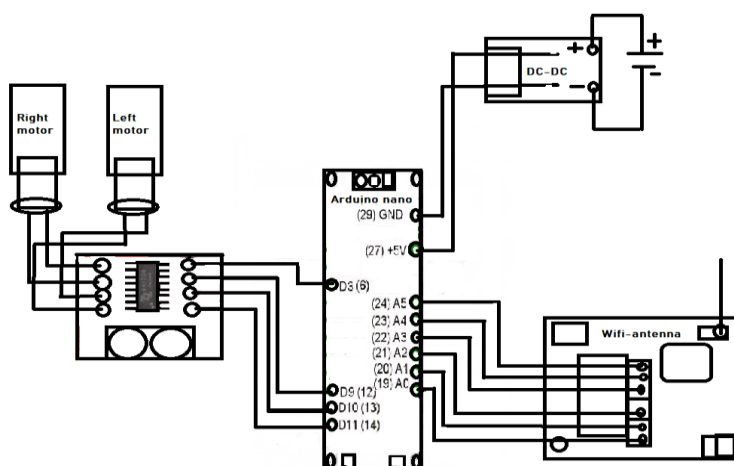
- Платформа Arduino;
- Wifi-антенна;
- IP-камера;
- Компоненты корпуса и моторчики

- Источник питания
- Драйвер моторов.

Действие прибора основано на приёме сигналов с мобильного устройства с установленным WiFi соединением. Управление осуществляется при помощи мобильного приложения. Возможность управления с любого мобильного устройства делает разработку универсальной и доступной к использованию.

Приложение показывает нам изображение с IP-камеры, которая расположена на нашей машинке. Управление устройством осуществляется с помощью касаний по экрану мобильного устройства на котором располагается наше изображение.

Для исполнения команд была выбрана платформа Arduino. На сегодняшний день она является одной из самых распространённых систем в области построения простых электронных устройств. (рис. 2). Основными преимуществами данной платы являются малые массогабаритные размеры и дешевизна. В качестве устройства питания выступает мобильный аккумулятор, обеспечивающий напряжение номиналом 5 В.



**Рисунок 2 — Функциональная схема устройства**

Благодаря драйверам двигателя (рис.3, а) управление скоростью осуществляется плавно, появляется возможность вращения двигателями вала как вперед, так и назад. С помощью IP-камеры Sannce 720P(рис.4), мы получаем изображение. Она обладает следующими характеристиками :

- Разрешение HD;
- Угол обзора объектива 60 градусов;
- Встроенная инфракрасная подсветка;
- Дальность подсветки до 10м;
- Вмонтированный WiFi модуль;
- Поддержка протокола P2P.

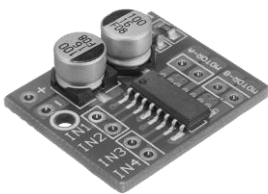


Рисунок 3 — Драйвер двигателя;

Движение устройства и осуществляется при помощи двигателей постоянного тока. Мощность каждого двигателя составляет 15 Вт. В качестве драйвера моторов был использован модуль привода постоянного тока, Реверсивный ШИМ-модуль скорости, двойной Н-мост, шаговый двигатель Mini Victory L298NH. Мостовой двигатель с двойным приводом, может управлять двумя двигателями постоянного тока. Возникающие из-за работы двигателей шумы в сети питания нивелируются при помощи конденсаторов.



Рисунок 4 – IP-камера 720P

Был разработан макет устройства(рис.5) и проверена его работоспособность.

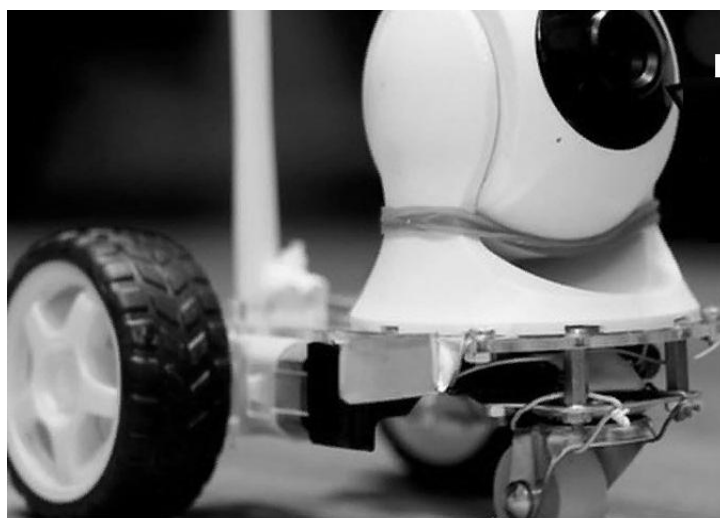


Рисунок 5 – Общий вид устройства

Таким образом у нас получилось устройство, отвечающая всем заданным требованиям. Достоинствами разработанного робота-охранника является дешевизна и простота добавления новых функций. В перспективе, планируется усовершенствовать платформу устройства, уменьшить камеру, увеличить про-

ходимость и ускорить отклик на машинке. Таким образом она может стать практически значимым проектом, который можно использовать для автономного исследования труднодоступных мест.

#### Литература

1. *IARDUINO.RU* Всё для радиолюбителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://iarduino.ru/> свободный (дата обращения 19.09.2019);
2. *Thinkable community* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://community.thinkable.com/> свободный (дата обращения 19.09.2019);

*А.Д. Андреев, студ., к.т.н. доц. С. А. Амелин, преп.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **СОВРЕМЕННАЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ IP-КАМЕРА**

Жизнь современного человека сегодня невозможно представить без камер наблюдения и средств видеофиксации. Первоочередной функцией видеокамер является просмотр и видеозапись всех событий, попадающих в ее поле зрения.

Камеры встречаются в различных сферах деятельности человека. Наружная видеосъемка используется с целью предотвращения правонарушений и фиксации происходящего. Видеокамеры нужны как для профессиональной съемки так и в домашних условиях. В повседневной жизни, мы постоянно используем видеокамеры. Они находятся буквально повсюду. Одной из разновидностей камер видеонаблюдения является IP-камера, транслирующая происходящее с использованием сетевого протокола, обеспечивающего маршрутизацию пакетов.

IP-камера — это цифровая видеокамера, главной особенностью которой является передача видеопотока в цифровом формате по сети Ethernet, использующей протокол IP. Каждая IP-камера в сети, имеет свой IP-адрес. Она состоит из объектива, матрицы, центрального процессора, процессора обработки, процессора сжатия, сетевого интерфейса. Принцип работы IP-камеры заключается в том что, матрица, получая изображение с объектива преобразует цвет в электрический сигнал, который поступает на процессор для обработки яркости и цветности. Далее видеопоток движется на компрессор, который сжимает его и передает данные в сеть через Ethernet-контроллер. Каждая IP-камера обладает собственным IP-адресом, присваиваемым с подключением, он используется для синхронизации камеры с сервером: с помощью специальной программы регистратор использует IP-адрес камеры и подключается по нему. Для того, чтобы получить доступ к камере с мобильного устройства нужен ее IP-адрес, без него невозможно соединиться и настроить оборудование на совместную работу. IP-камера способна реагировать на движения, и моментально оповещать пользователя об этом. Также она способна делать фотографии, записывать небольшие видео или вести постоянную съемку. Все IP-камеры делятся на две большие группы: уличные и внутреннего исполнения. Уличные работают под снегом, дождем и ветром; внутренние работают в помещении.

Существуют IP-камеры, поддерживающие технологию PoE. Она дает возможность нам поддерживать питание удаленного устройства и обмениваться

данными через Ethernet. Другой разновидностью являются IP-камеры гибриды, которые могут использовать как технологию PoE, так и с помощью установленной антенны подключаться к сети Wi-Fi. Это довольно удобно, потому что можно пользоваться камерой там, где нет Ethernet и подключить ее к Wi-Fi; или подключить и настроить IP-камеру с помощью Ethernet. Также существуют IP-камеры только с Wi-Fi подключением. ПО сделано таким образом, чтобы при помощи смартфона или какого-либо устройства можно было подключить к Wi-Fi там, где будет вестись наблюдение. Различают стационарные и поворотные IP-камеры. Безусловно поворотные пользуются большим спросом, так как они имеют больший угол обзора. Информацию камера записывает в облако, на регистратор или на встроенную SDC. Еще одним важным элементом IP-камеры является микрофон, в некоторых камерах есть динамики, с помощью которых можно записывать и передавать видео со звуком. Дополнительными функциями можно считать технологию компенсации уровня освещенности и удаленное управление камерой. В последнее время в связи с развитием цифровых технологий появляются новые модели IP-камер. Это камеры на аккумуляторах. Они очень маленького размера, компактные, с ночной подсветкой, встроенной SDC и микрофоном. Такие камеры могут работать в автономном режиме до полугода. Я пользуюсь IP-камерой SANNCE 720P. С помощью этой камеры я могу наблюдать за всем происходящим в жилом помещении и на улице. Использовать данную камеру можно абсолютно везде, где есть электричество и Wi-Fi. Информацию с IP-камеры я получаю на любом расстоянии от ее места расположения. Система видеонаблюдения данной камеры очень проста и удобна для пользователя, она имеет следующие технические характеристики:

- Высокое разрешение;
- Вмонтированная инфракрасная подсветка;
- До 10 метров обзора в ночное время;
- Вмонтированный Wi-Fi модуль;
- Отсек под SDC;
- Вмонтированный микрофон;
- Вмонтированный динамик;
- Поддержка протокола P2P;
- «Голова» камеры имеет угол поворота по горизонтали 350 градусов, а по вертикали 90 градусов.

IP-камера является очень удобным и востребованным устройством, напоминающим мини-компьютер с объективом для передачи данных. Среди своих аналогов данная IP-камера имеет ряд преимуществ:

- Низкая стоимость;
- Компактность;
- Бесшумность;
- Собрана из экологически чистых материалов;
- Вмонтированный высокочувствительный микрофон;
- Выбор качества передаваемого изображения;

- Эксплуатация на улице и в жилом помещении.



Рисунок 1 – Sannce 720P

На мой взгляд, в современном мире, никак не обойтись без видеонаблюдения с IP-камер. Оно стало неотъемлемой частью жизни, поскольку используем видеонаблюдение каждый день. Абсолютно везде. С появлением современных гаджетов таких как IP-камера, нам стало проще фиксировать или предостерегать правонарушения, многофункциональность камеры, позволяет использовать ее как камеру видеонаблюдения на входе в жилое помещение, с ее помощью мы всегда будем знать обстановку снаружи. IP-камеры не требуют прокладки кабелей, дополнительного оборудования, камера транслирует изображение на любое устройство подключенное к ней. Использование IP-камеры безусловно делает нашу жизнь, удобней, безопасней и лучше. Иногда в нашей жизни просто необходимо мгновенно получать, информацию в виде изображения на экране, чтобы можно было решить, как действовать в той или иной экстремальной ситуации.

Сегодня жизнь диктует постоянное использование средств видеонаблюдения. Очень удобной и доступной является IP-камера. Она используется на производствах, в транспорте, жилых помещениях и на многих других объектах. С появлением современных гаджетов таких как IP-камера, нам стало проще фиксировать или предостерегать правонарушения. Многофункциональность камеры, позволяет использовать ее как радио-няню, или как камеру видеонаблюдения снаружи и внутри помещений, с ее помощью мы всегда можем контролировать ситуацию. IP-камеры не требуют прокладки кабелей, дополнительного оборудования, она транслирует изображение на любое устройство подключенное к ней. Использование IP-камеры безусловно делает нашу жизнь, безопаснее, информативнее и удобней. Благодаря наличию IP-камеры ситуация всегда находится под контролем, тем самым давая возможность мгновенно и своевременно реагировать на происходящее.

Литература

1. IP-камера [Электронный ресурс] URL: [http:// pslink.ru/](http://pslink.ru/), свободный (дата обращения 23.09.21)
2. Среда использования IP-камер [Электронный ресурс] URL: <https://sks-electro.ru/>, (дата обращения 23.09.21)

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОБОГРЕВА ЦЕХОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ**

Обогрев комплекса промышленных зданий и сооружений – довольно непростая задача, и для ее решения используются различные системы обогрева (отопления), целесообразность и эффективность применения которых определяется различиями факторами, в том числе – принципом получения тепловой энергии.

Широкое распространение получили системы обогрева комплекса промышленных зданий, в основе которых лежит принцип использования электрических нагревателей, питаемых переменным трехфазным током.

Максимальная продуктивность работы таких систем достигается при постоянной величине электрической мощности, в связи, с чем регулировки мощности в системе не предусмотрено: они работают по принципу постоянного нагрева теплоносителя (например, воды или пара), который по замкнутой герметичной системе разносится по всем помещениям, где через теплообменники (радиаторы) отдает свою энергию, тем самым обеспечивая в них нагрев воздуха.

Регулировка температуры в помещениях обеспечивается за счет изменения величина потока теплоносителя: минимальная температура достигается при максимальном значении потока, соответственно, максимальная температура достигается при минимальном значении потока.

Структурная схема системы управления технологическим процессом обогрева цеховых помещений показана на рисунке 1.

Величина потока регулируется частотой вращения вала электродвигателя, управляемого частотным преобразователем.

Когда система запускается, микроконтроллер подает логические единицы на твердотельное реле, реле в свою очередь подает питание на трехфазный нагреватель.

Одновременно микроконтроллер включает в работу частотный преобразователь, указывает необходимое значение числа оборотов, скорость, расход воды.

С насоса поступает обратная связь, которая идет через датчик расходомер на эффекте Холла.

Для выставления значения температуры используется потенциометр.

В системе планируется применение двухканального регулятора с универсальным входом и интерфейсом RS-485 TPM202, внешний вид которого показан на рисунке 2.

С его помощью можно измерять, регистрировать и регулировать температуру теплоносителя.



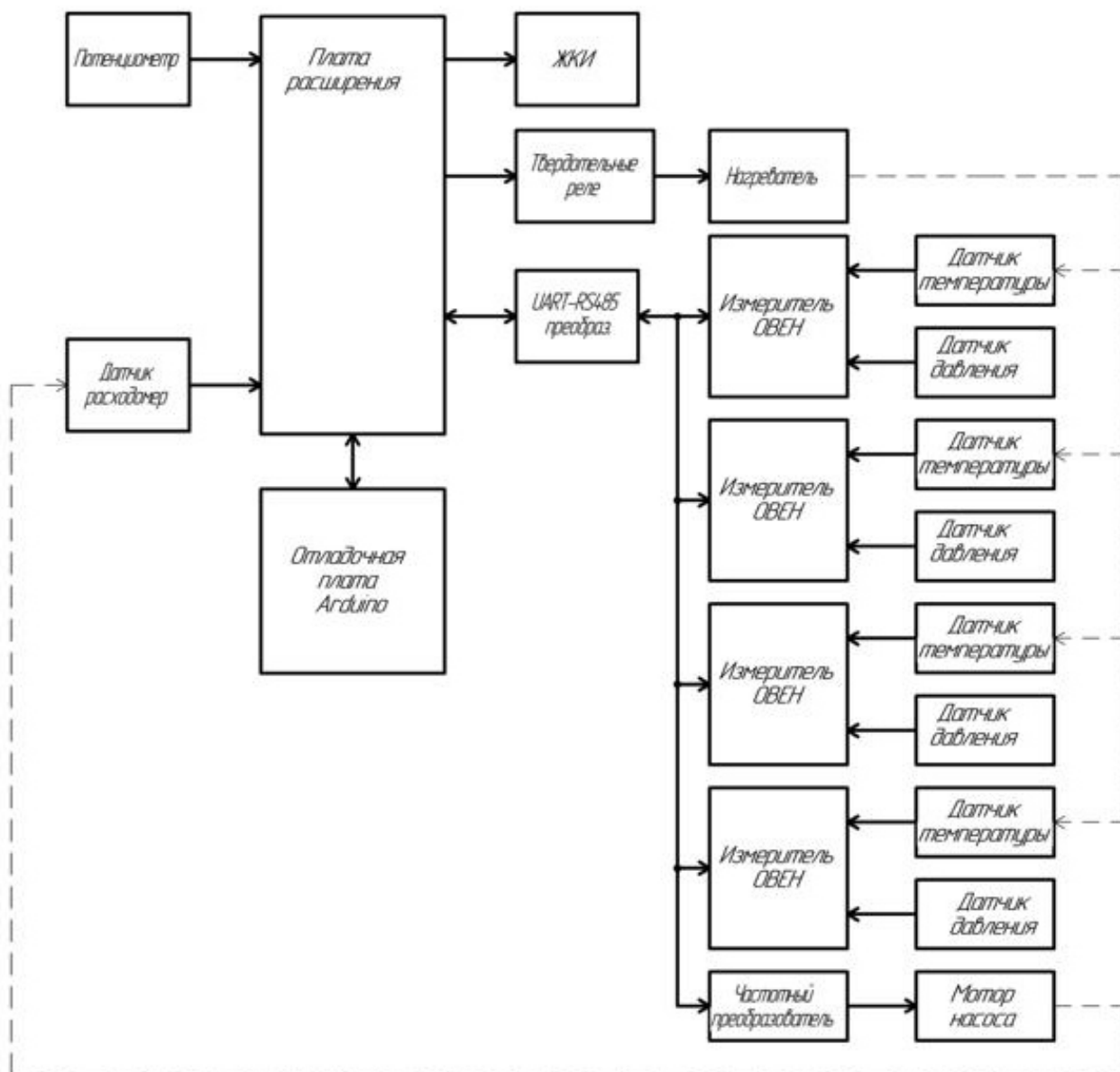


Рисунок 1 – Структурная схема системы управления технологическим процессом обогрева цеховых помещений



Рисунок 2 – Внешний вид двухканального регулятора с универсальным входом и интерфейсом RS-485 TPM202

Двухканальный регулятор с универсальным входом и интерфейсом RS-485 ТРМ202 обладает следующими функциональными возможностями:

- имеет два универсальных входа для подключения широкого спектра датчиков температуры, давления, влажности. Можно подключать два датчика разного типа,

- имеет два независимых канала регулирования измеряемых величин по двухпозиционному закону или аналоговому П-закону,

- обеспечивает регулирование и одновременную регистрацию измеряемой величины при установке ЦАП  $4 \div 20 \text{ мА}$  в качестве второго выходного устройства,

- обеспечивает одноканальное трехпозиционное регулирование (с двумя разными установками),

- обеспечивает вычисление и регулирование разности измеряемых величин,

- обеспечивает вычисление и индикацию квадратного корня из измеряемой величины (например, для регулирования мгновенного расхода),

- обеспечивает возможность конфигурирования на ПК или с лицевой панели прибора,

- обеспечивает быстрый доступ к изменению установок с лицевой панели прибора.

В четырех технологических точках системы измеряется температура и давление. При зафиксированном перегреве на одной из технологических точек – отключается трехфазный индуктор, а также подача воды. Если зафиксировано превышение заданного давления, идет кратковременное отключение. После стабилизации давления, система автоматически продолжит работу в штатном режиме. Таким образом, будет поддерживаться постоянное давление.

Частотный преобразователь и измерители-регуляторы «общаются» с микроконтроллером посредством линии RS485. Между ними находится преобразователь, который преобразует логику UART в эту дифференциальную пару. При всей передаче используется протокол *FreeModBus*.

#### Литература

1. Отопление и вентиляция производственных помещений / А. М. Гримитлин, Т. А. Дацюк, Г. Л. Крупкин, А. С. Стронгин, Е. О. Шилькрот.: 2007 г. — 424 стр.
2. Варфоломеев Ю.М., Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети. Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2008 -480 с.
3. Сибикин Ю.Д. Отопление, вентиляция и Кондиционирование воздуха: учебное пособие для студентов. – 4-е изд., стер.- М.: Издательский центр «Академия», 2007. -304 с.

*С.П. Астахов, к. т. н., доц.; Н.Н. Строев, к. т. н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СХЕМАХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКОВ ГАЗОВ И ЖИДКОСТИ**

Во многих случаях непосредственное измерение физических величин затруднено либо просто невозможно из-за отсутствия или ограниченности соответствующих датчиков и средств обработки. В таких случаях может

оказаться полезным тот факт, что изменение физической величины сопровождается изменением энергетических состояний, выражающееся в выделении или поглощении энергии, что может быть определено относительно простыми способами путем измерения температуры, улавливания излучений. Кроме того, привлекает возможность снижения стоимости датчика и типизация технических решений при его реализации. Сложность применения подобных методов заключается в том, что на энергетическое состояние обычно влияют много факторов, выделить из многообразия действие одного из них, бывает затруднительно.

В простом случае энергетическое состояние объекта можно контролировать путем измерения температуры и ее изменений. Точность, с которой при этом нужно проводить измерение определяется тем энергетическим воздействием, которое производит изменение определяемой физической величины. Например, при попадании некоего оптического излучения на поверхность объекта он нагревается, величину нагрева можно измерить и путем несложных расчетов выяснить величину переданной энергии и затем – количество фотонов, поглощённых веществом. Важное значение будет иметь инерционность процесса и влияние мешающих факторов – наряду с нагревом будет происходить охлаждение за счет излучения и отвода тепла в окружающую среду. Поскольку все это требуется учитывать и компенсировать при технической реализации датчика, процесс его проектирования является достаточно сложной задачей [1].

Подытоживая сказанное, сформулируем общие принципы процесса проектирования датчиков физических величин с использованием тепловой фиксации энергетического состояния объекта:

1. Метод и точность измерений температуры должны соответствовать величине изменения энергии, отнесенной к воздействию измеряемой физической величины.

2. Мешающие факторы должны быть изолированы либо скомпенсированы техническими средствами на момент проведения измерений.

3. Реализация датчика должна учитывать инерционность процессов преобразования энергии.

В качестве примера можно привести датчик массового расхода воздуха, использующийся в комплектации автомобиля с ДВС и имеющий предельно широкое распространение. Основными элементами датчика являются нагреваемые до высокой температуры элементы (металлическая проволока или пленка), которые устанавливаются в проточную рабочую камеру определенной конфигурации и объема, через которую проходит воздух. Они же являются термочувствительными элементами и входят в схему контроля температуры. В процессе взаимодействия потока с нагретым объектом, происходит его охлаждение, величина изменения температуры зависит от массы из исходной температуры прошедшего через рабочую камеру воздуха. При изменении температуры нагретого элемента датчика, можно определить величину массы прошедшего воздуха, используя уравнение Кинга:

$$I_2 \cdot R = (K_1 + K_2 \cdot \sqrt{Q}) \cdot (T_1 - T_2),$$

где  $I$  – ток, проходящий через терморезистор и нагревающий его до температуры  $T_1$ . При этом  $T_2$  — температура окружающей среды, а  $K_1$  и  $K_2$  – эмпирические коэффициенты, определенные для данного датчика.

Мешающими факторами в данном случае являются процессы передачи энергии от проволочного элемента на элементы крепления и тепловая радиация. Термочувствительный элемент должен быть легким и тонким, чтобы снизить инерционность процесса преобразования при протекании воздушного потока. Для определения температуры и фиксации исходного энергетического состояния наиболее удобно использовать такой же проволочный элемент, который не будет подвергаться действию проходящего воздушного потока. Этот канал измерений обычно называется опорным, он служит для учета исходных условий энергетического состояния основного канала при проведении измерений и последующих расчетов. Схемная реализация и конструктивное исполнение датчика тесно связаны между собой.

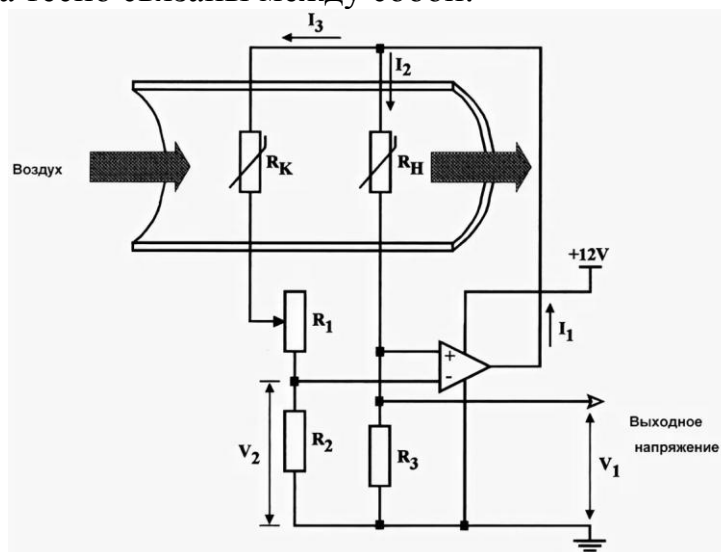


Рисунок 1- Пример реализации датчика с балансной компенсацией температуры проходящего потока воздуха.  $R_K$ ,  $R_H$  -терморезисторы опорного канала и измерительного каналов,  $R_1$ - построечный резистор,  $R_2$ ,  $R_3$  – нижние резисторы моста

Учет и коррекция мешающих факторов обеспечиваются в основном конструктивными методами, а схемные решения «привязаны» к выбранной конструкции и обеспечивают необходимые измерительные характеристики. Для рассматриваемого датчика используются варианты либо с непосредственным измерением токов в терморезисторах, либо с автобалансировкой моста. В рассматриваемом датчике (рисунок 1) характеристики существенно улучшаются за счет отработки обратной связью колебаний температуры общих для измерительного и опорного каналов.

В данном случае конструкция рабочей камеры обеспечивает условия нагрева и охлаждения, их пространственную изоляцию, резистор  $R_1$  позволяет подстроить схему с учетом погрешностей изготовления датчика. Погрешности,

вносимые схемой, относительно велики, могут увеличиваться в ходе эксплуатации датчика. Конструктивная изоляция каналов так же не достаточна, что влияет на рабочий диапазон температуры потока воздуха. Т.е. конструкция датчика четко определяется в процессе проектирования и не позволяет использовать датчик вне рабочего диапазона физической величины путем простой настройки. Современные датчики имеют более сложную конструкцию, с использованием тонкопленочных терморезисторов с малой инерционностью

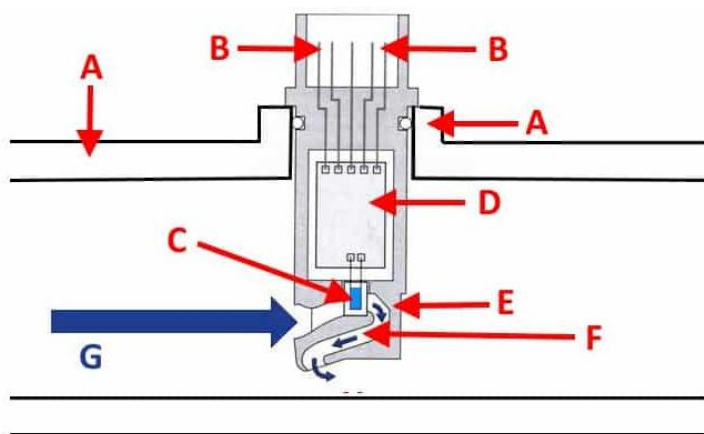


Рисунок 2- Устройство датчика с тонкопленочными измерительными элементами А – корпус датчика с элементом измерительного модуля (Е), В – разъем подключения к информационной сети, С – интегральный измерительный элемент (кремневый кристалл с несколькими слоями напыления, помещаемый в защитный кожух), D – электронный контроллер предварительной обработка сигналов, Е – корпус измерительного модуля, F – канал потока, обеспечивающий измерение температур входного и отраженного потоков, G – входной поток.

Принципиальных изменений в принципе работы датчика нет, но благодаря модульной конструкции и применению интегрального измерительного элемента, улучшена технологичность изготовления и стабильность характеристик. Хотя сами пленочные элементы имеют, как правило, худшую погрешность по сравнению с микропроволочными (3-4%), благодаря указанным достоинствам они почти полностью вытеснили устаревшие «проволочные» модели. Улучшение характеристик для конкретного применения (вычисление массы воздуха) достигается цифровой обработкой данных микроконтроллером.

Приведенные примеры датчиков являются распространенными и серийно выпускаемыми приборами. Менее распространены подобные датчики для контроля потоков жидкостей и газов для технологического промышленного оборудования. Поисковые исследования показали, что принцип их действия примерно одинаков, много внимания уделяется конструкции, обеспечивающей работу опорного и измерительного каналов для ослабления действия мешающих факторов. Применительно к жидкостям, иногда используют принцип отслеживания «теплового следа» получаемого при контроле распространения нагретой жидкости в направлении течения потока. Однако во всех источниках отмечается невысокая точность измерений и строгие правила применения

соответствующих датчиков.

Схемные решения являются типовыми и, к сожалению, не обеспечивают высокой точности измерений [2]. Теплообменные датчики в связи с этим обстоятельством и узкой специализированностью не имеют в настоящее время большого распространения. Однако перспектива развития данного вида техники представляется возможной, поскольку имеются пути повышения точности и расширения диапазонов применения путем разработки новых схемотехнических решений, обеспечивающих компенсацию источников погрешностей на этапе обработки данных и изменению самой методики измерений. Принципиальным достоинством принципов теплообмена является возможность унификации измерительного модуля для многих применений и изготовления в виде интегральных микросхем для серийного производства.

Нами были проведены исследования по определению направлений преодоления недостатков теплообменных методов косвенных измерений при определении параметров потока жидкости. Отметим основные направления проведенной работы.

Повышение точности измерения температуры. Сложность заключается в том, что данный вопрос тесно связан с другими направлениями – обеспечением снижения инерционности и изолированием опорного канала. Экспериментальные исследования показали, что достичь оптимальных параметров при малых температурах нагрева сложно, требуемая точность измерения электрических сопротивлений должна быть очень высока. Если нагрев датчика производится косвенно (дополнительным нагревателем), значительно увеличивается инерционность процесса и увеличиваются погрешности от влияющих факторов. Проведенные исследования позволили сделать вывод о нелинейности процессов теплового обмена в потоке жидкости соответствующих характеристик изменений сопротивления датчика, что можно полезно использовать при схемной реализации датчика.

Изоляция опорного канала относительно измерительного. Применение только конструктивных решений для этих целей имеют существенные ограничения. Исходные условия расположения тепловых элементов каналов должны быть близки, а поток проходить только через измерительный канал. В процессе поиска найдены патенты специальных конструкций рабочих камер для обеспечения приемлемой степени изоляции. Схемотехнических решений для улучшения характеристик не обнаружено, хотя очевидны перспективы учета временного развития тепловых процессов для более точной обработки данных измерений.

Снижение инерционности процессов. Инерционность напрямую зависит от массы и размеров опорного и измерительного элементов, их термоизоляции. Произведен выбор миниатюрных резистивных платиновых элементов (терморезисторов), удовлетворяющих требованиям метода, проведены исследования по определению временных параметров процессов нагрева и охлаждения в потоке воды и на открытом воздухе.

Учет и компенсация мешающих факторов. Предложены конструктивные

решения, снижающие вероятность отдачи тепла корпусу датчика, предложено использовать и определять пороговый, предельно малый нагрев измерительного элемента, а погрешности компенсировать путем применения схемотехнических решений. При проведении косвенных измерений важно правильно выбрать метод и технические средства для расчета или преобразования данных, полученных путем оценки температурных (энергетических) изменений, в данные физической величины. Проведенные экспериментальные исследования, направленные на разработку метода измерения скорости потока жидкости, показали, что фиксирование энергетических изменений напрямую с точным измерением температуры требует применения измерительных приборов с высоким классом точности, что не согласуется с задачами разработки недорогих и функциональных датчиков. Для традиционной схемы нужно определить падение напряжения на измерительном и опорном резисторах и падение напряжений на измерителях тока. Поскольку величины токов в измерительном и опорном каналах должно существенно различаться, идентичность метрологических характеристик для них получить затруднительно, сложность аппаратуры возрастает, что сводит на нет преимущества данного метода. Поиск путей устранения выявленных недостатков, разработка и совершенствование методик проведения измерений и схемной реализации узлов с компенсацией источников погрешностей является актуальной задачей. В данное время нами проводится углубленное исследование теплообменных процессов при взаимодействии миниатюрных терморезисторов с прямым токовым нагревом в потоках жидкости сложной конфигурации и разработка схемотехнических решений для реализации методики динамической организации теплообменного процесса при работе теплообменного датчика и компенсации действия погрешностей.

#### *Литература*

1. Виглеб Г. Датчики: Пер. с нем. — М.: Мир, 1989. — 196 с, ил.
2. Энциклопедия электронных компонентов. Том 3. Датчики местоположения, присутствия, ориентации, вибрации, жидкости, газа, света, тепла, звука, электричества: Пер. с англ. Ч. Платт, ф. Янссон. — СПб.: БХВ-Петербург, 2017. — 288 с.: ил.

*С.П. Астахов, к. т. н., доц.; Н.Н. Строев, к. т. н., доц.; А.А. Поликарпов; В.В. Григорьев  
(филиал ФГБОУВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске; АО «НИИ СТТ», г. Смоленск)*

### **ОСОБЕННОСТИ ОСНОВНЫХ КОМПОНОВАННЫХ СХЕМ ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПОДВЕСОВ ДЛЯ БВС**

В последнее время беспилотные воздушные суда (БВС) применяются в интересах решения различных прикладных задач в том числе, путем ведения с аэрофотосъемки и видеонаблюдения участков земной поверхности с помощью размещенной на их борту полезной нагрузки (ПН), чаще всего оптико-электронной аппаратуры видимого диапазона (фото- и телекамер) и (или) длинноволнового инфракрасного диапазона (тепловизоров) [1, 2]. При этом качество информации, получаемой с помощью БВС, во многом зависит не только от характеристик применяемой оптико-электронной аппаратуры, но и от условий ее функционирования, прежде всего от качества стабилизации в

пространстве ее поля зрения (положения оптической оси).

В зависимости от особенностей аэродинамической компоновочной схемы БВС, его массогабаритных характеристик, типа двигательной установки на его борту, а также предъявляемых требований к качеству получаемой информации, требуемые (приемлемые или достаточные) уровни стабилизации поля зрения (положения оптической оси) оптико-электронной аппаратуры обеспечиваются за счет различных технических решений, среди которых наибольшее распространение получило применение гиросtabilизированных подвесов.

Качество стабилизации, обеспечиваемое гиросtabilизированными подвесами, определяется количеством осей в их составе, вследствие этого принято разделять их на одноуровневые и многоуровневые (рисунок 1).

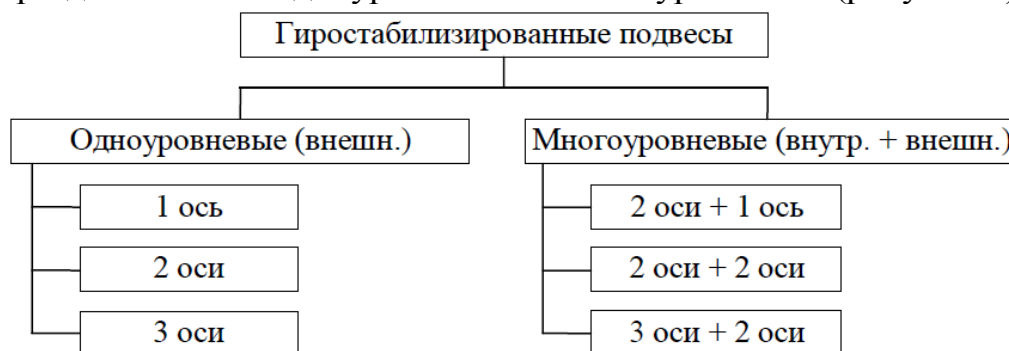


Рисунок 1 – Классификация гиросtabilизированных подвесов

На рисунке 2 показаны основные компоновочные схемы гиросtabilизированных подвесов для БВС производства АО «НИИ СТТ» [3] (оттенками синего цвета показаны оси, относящиеся к первому уровню стабилизации; оттенками зелёного цвета показаны оси, относящиеся ко второму уровню стабилизации).

Одноуровневые гиросtabilизированные подвесы для БВС характеризуются:

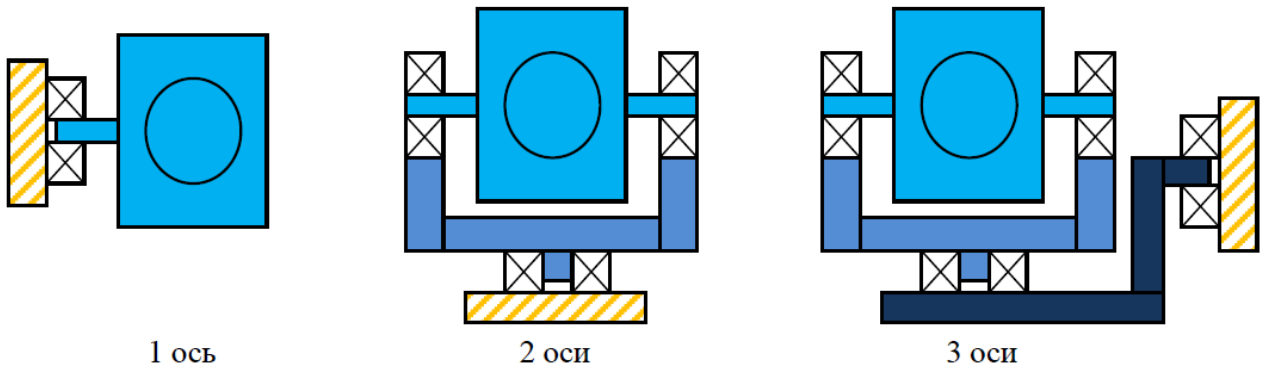
- малой массой,
- относительно большим пространством для размещения аппаратуры,
- значительной чувствительностью к внешним возмущениям,
- средним качеством стабилизации.

Многоуровневые гиросtabilизированные подвесы для БВС характеризуются:

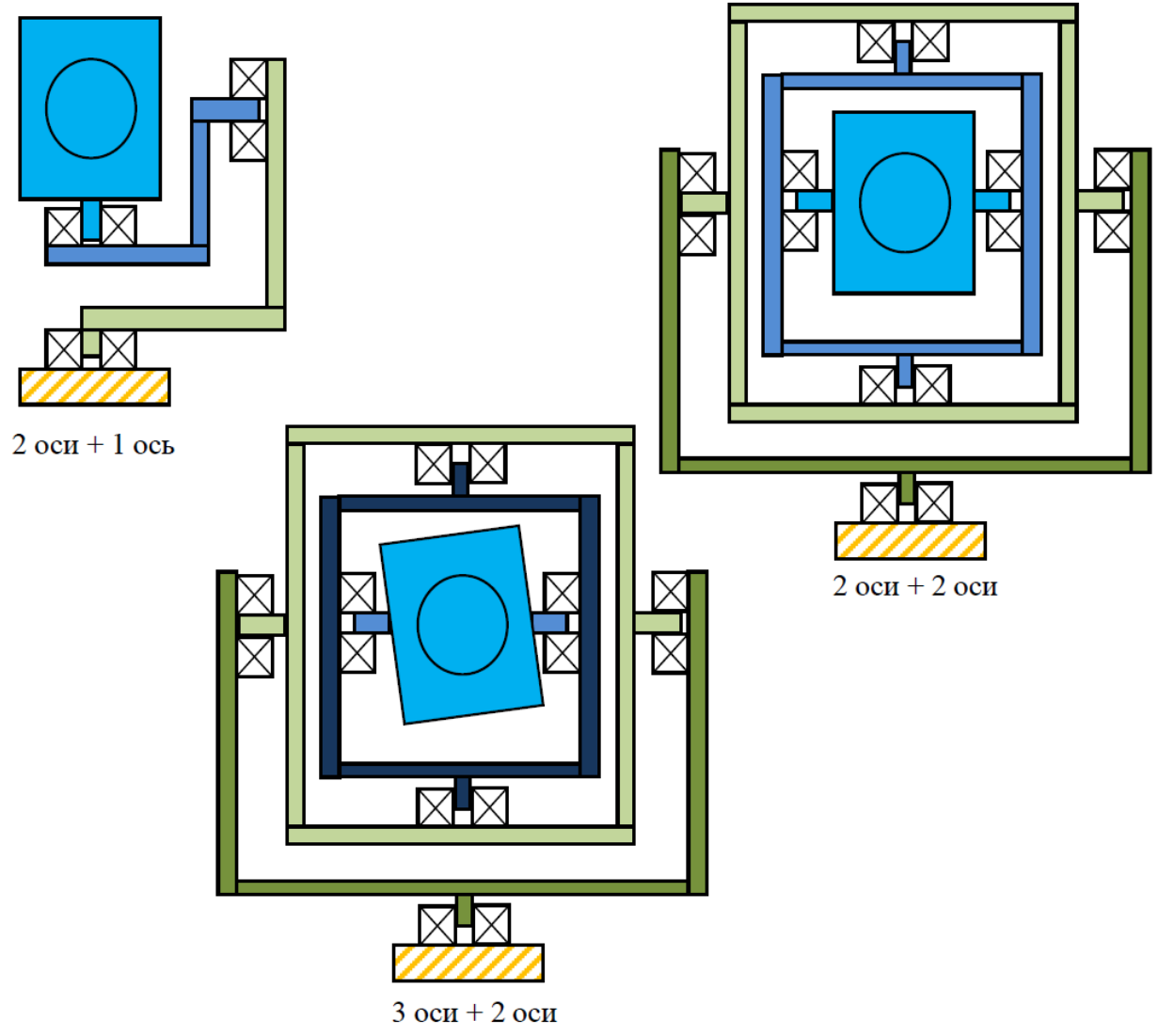
- большой массой,
- относительно малым пространством для размещения аппаратуры,
- слабой чувствительностью к внешним возмущениям,
- хорошим качеством стабилизации.

Каждая из осей подвеса может иметь одну или две опоры (рисунок 3).



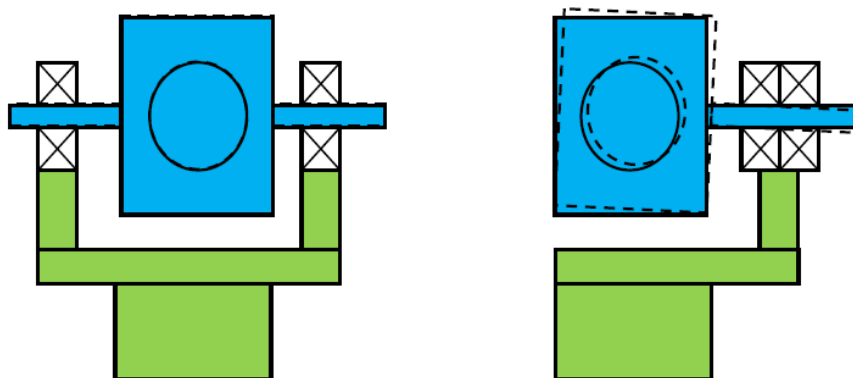


Одноуровневые гиостабилизированные подвесы



Двухуровневые гиостабилизированные подвесы

Рисунок 2 – Компоновочные схемы гиостабилизированных подвесов для БВС производства АО «НИИ СТТ»



Двухопорный вариант реализации оси подвеса

Одноопорный вариант реализации оси подвеса

Рисунок 3 – Варианты реализации оси подвеса

Лучшим по надёжности и точности считается двухопорный вариант, при котором точность положения поля зрения (оптической оси) оптико-электронной аппаратуры не превышает радиального и осевого смещения внутренних обойм подшипников. Одноопорный вариант легче и компактней, но при том же смещении появляется значительный поворот поля зрения (положения оптической оси) оптико-электронной аппаратуры, кроме того, одноопорный вариант сложнее сбалансировать.

#### Литература

1 Патент № 2626575 Российская Федерация, МПК G01C 11/02 (2006.01). Способ аэрофотосъемки наземных объектов в условиях недостаточной освещенности с помощью беспилотных воздушных судов : № 2016149030 : заявл. 13.12.2016: опубл. 13.02.2018 / Астахов С. П., Пеньков А. А., Пугач Е. Е., Строев Н. Н., Сулимский Е. С., Федоров С. Г. ; заявитель «АО «НИИ СТТ» – 13 с. : ил. – Текст : непосредственный.

2 Астахов С. П., Строев Н. Н., Пеньков А. А. Способ аэрофотосъемки земной поверхности с помощью беспилотных воздушных судов в условиях недостаточной освещенности. Сб. трудов IX Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2019». Смоленск: Издательство «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, 2019. Т.1, С. 393-394.

3 Комплекс БАК «Флибустьер». // АО «НИИ СТТ». URL: <https://www.niistt.ru/products/uav/flibustier.aspx> (дата обращения: 25.09.2021).

*С.П. Астахов, к. т. н., доц.; И.В. Якименко, д. т. н., доц.; Т.С. Астахова, студ.  
(филиал ФГБОУВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ СРЕДСТВ ИНДИКАЦИИ ПЕШЕХОДНОГО ПЕРЕХОДА НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ О ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ**

Обеспечение безопасности пешеходов, находящихся на проезжей части в пределах нерегулируемого наземного пешеходного перехода, расположенного на неэлектрифицированном участке автомагистрали или шоссе с относительно интенсивным движением вне населенного пункта, является важной задачей, актуальность которой существенно возрастает в условиях плохой видимости или недостаточной освещенности. Для решения этой задачи все чаще стали применяться различные автономные системы индикации и освещения, работающие от возобновляемого источника энергии, как правило, солнечной панели, представителем которых является, например функционирующий по опреде-

ленному алгоритму набор светотехнических устройств [1], функциональная схема которого показана на рисунке 1.

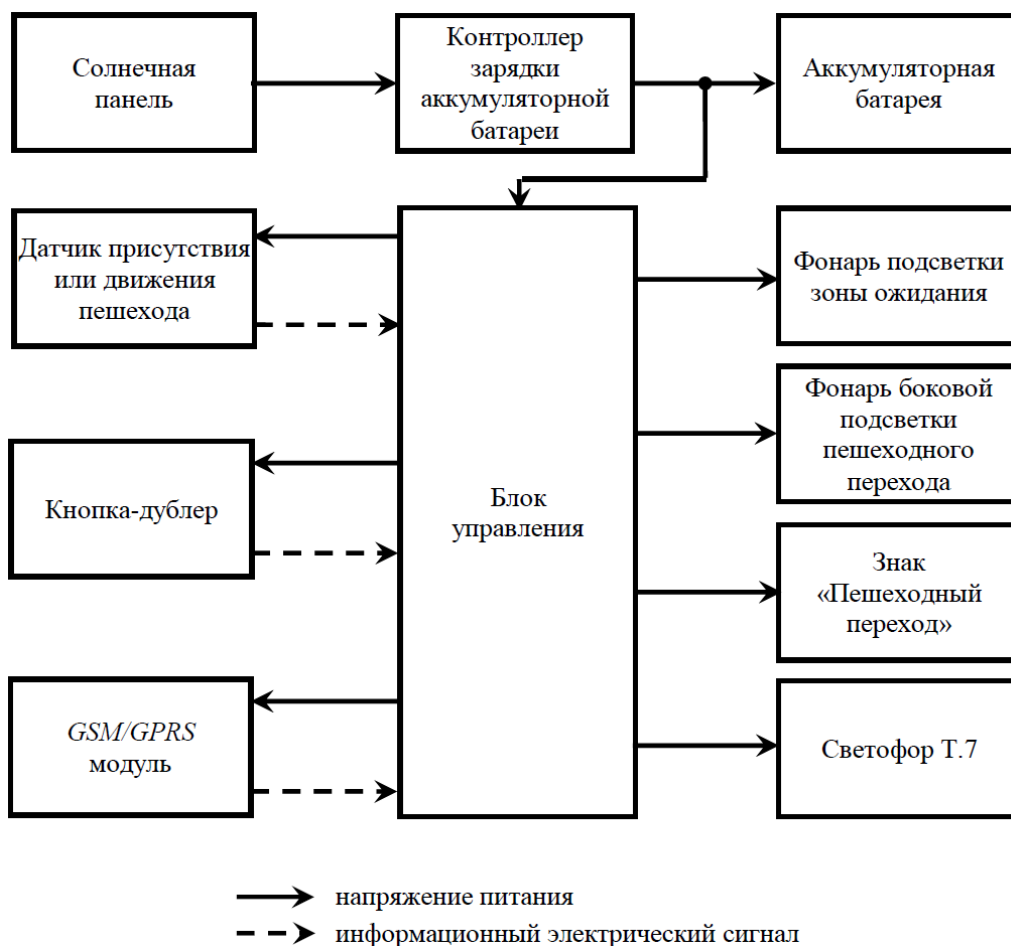


Рисунок 1 – Функциональная схема набора светотехнических устройств пешеходного перехода

Анализ реализованного в нем алгоритма работы [1] показывает, что:

- отсутствие у него режима постоянной или заблаговременной оптической индикации пешеходного перехода может негативно сказаться на безопасности дорожного движения в условиях недостаточной видимости, сопряженных с условиями, приводящими к деградации функциональности шумовых полос (например, в условиях наличия укатанного снежного покрова),

- относительно большое количество потребителей электроэнергии в его составе может негативно сказаться на качестве (продолжительности) функционирования в условиях продолжительной недостаточности солнечной инсоляции.

Повышение безопасности дорожного движения и обеспечение уменьшения потребления электрической энергии набором светотехнических устройств [1] возможны за счет реализации ситуационного режима оптической индикации пешеходного перехода по информации о наличии транспортных средств на контролируемых участках проезжей части [2] в соответствии с функциональной схемой, показанной на рисунке 2. При этом подача питания на светофор Т.7 и

светодиодный знак «Пешеходный переход» осуществляется по одной из двух параллельных цепей питания [3]:

1) одновременно с подачей питания на фонари подсветки зоны ожидания и боковой подсветки пешеходного перехода – в соответствии с реализованным в автономном комплексе обустройства пешеходного перехода алгоритмом подачи питания на основании информации о наличии приближающегося к пешеходному переходу пешехода только в условиях недостаточной освещенности и наличии пешехода в контролируемой датчиком движения (присутствия) зоне или по сигналу от кнопки-дублера;

2) на основании информации о наличии приближающегося к пешеходному переходу транспортному средству – по локальному изменению яркости в пределах участка проезжей части, обусловленному появлением в его пределах транспортного средства и излучением его дневных ходовых огней или фар, получаемым с помощью обнаружителя транспортных средств, состоящего из узкопольной оптической системы и последовательно соединенных [3]:

- фоточувствительного прибора,
- пикового детектора с закрытым входом,
- формирователя импульса,

формирующего информационный импульс, воздействующий на контроллер управления питанием светофора Т.7 и знака «Пешеходный переход».

Функционирование набора светотехнических устройств пешеходного перехода с обнаружителем транспортных средств осуществляется в следующем порядке:

- в светлое время суток солнечная панель вырабатывает электрическую энергию, которая через контроллер зарядки аккумуляторной батареи, обеспечивающий контроль величины зарядного тока, поступает на буферный источник электрической энергии (аккумуляторную батарею);

- на блок управления поступают информационные сигналы, в соответствии с которыми он обеспечивает подачу электрической энергии от аккумуляторной батареи на потребители энергии;

- через узкопольную оптическую систему оптическое излучение падает на фоточувствительный прибор обнаружителя транспортных средств, которым оно преобразуется в электрический сигнал, из которого пиковый детектор выделяет сигнал, пропорциональный переменной составляющей, а формирователь импульса формирует из него управляющий импульс;

- на контроллер управления питанием поступают информационные сигналы от обнаружителя транспортных средств, в соответствии с которыми он обеспечивает подачу электрической энергии от блока управления на светофор Т.7 и светодиодный знак «Пешеходный переход».

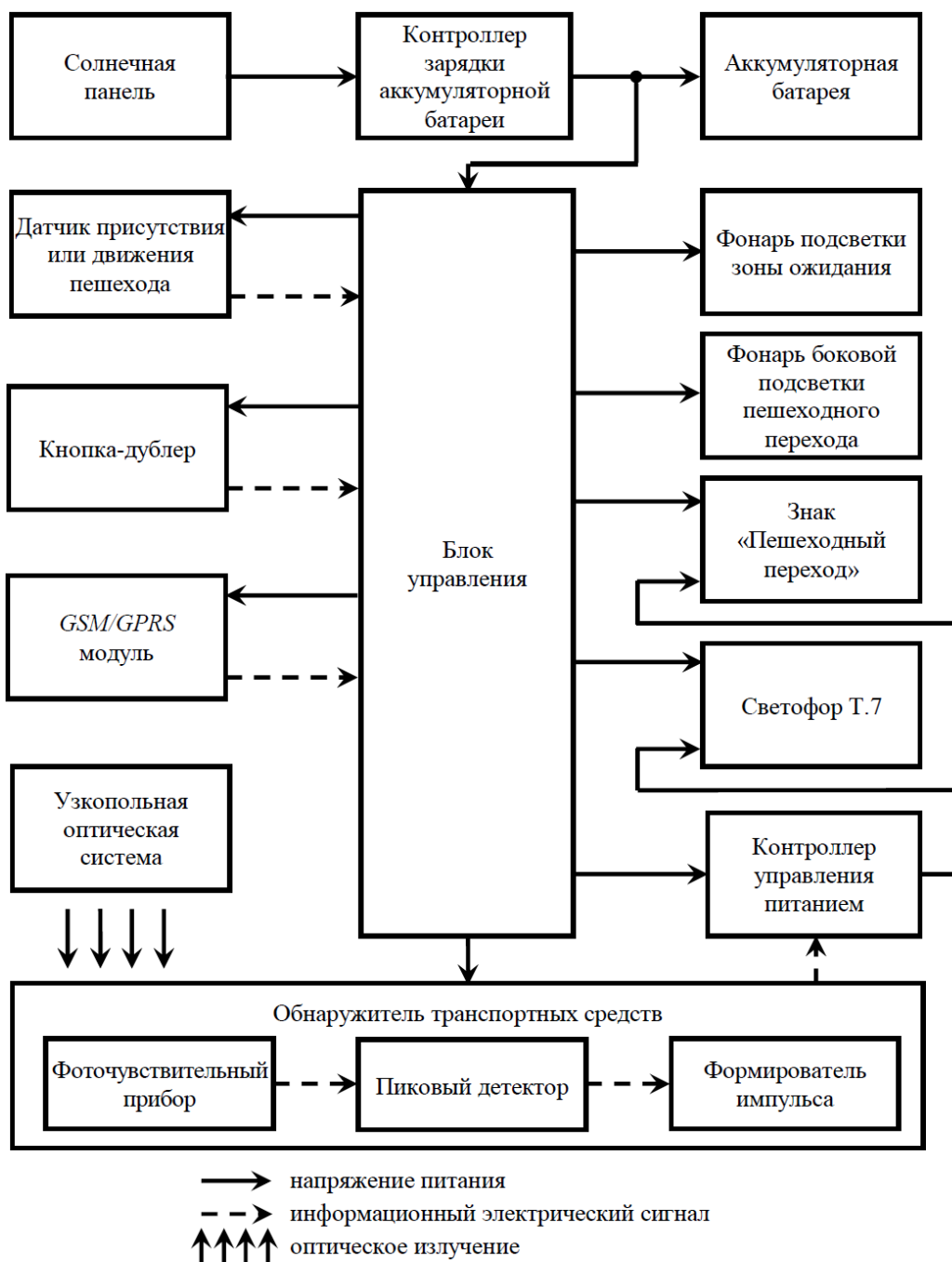


Рисунок 2 – Функциональная схема набора светотехнических устройств пешеходного перехода с обнаружителем транспортных средств

В процессе оборудования пешеходного перехода, узкопольная оптическая система обнаружителя транспортных средств ориентируется таким образом, чтобы в ее поле зрения попадал только находящийся на удалении 150 м участок проезжей части с движением в сторону пешеходного перехода: вследствие этого, любое локальное изменение яркости в пределах этого участка, обусловленное появлением на нем транспортного средства и излучением дневных ходовых огней или фар, будет обеспечивать формирование информационного импульса.

При приближении пешехода к пешеходному переходу функционирование набора светотехнических устройств с обнаружителем транспортных средств

пешеходного перехода осуществляется следующим образом: по сигналу с датчика присутствия или движения пешехода или с кнопки-дублиера датчика присутствия или движения пешехода включаются светофор Т.7 и светодиодный знак «Пешеходный переход» и дополнительно в темное время суток включаются боковая подсветка пешеходного перехода и светодиодный фонарь подсветки зоны ожидания.

При появлении транспортного средства на участке проезжей части, на которой направлена узкопольная оптическая система, в обнаружителе транспортных средств формируется информационный импульс, в соответствии с которым контроллером управления питанием обеспечивается подача электрической энергии от блока управления на светофор Т.7 и светодиодный знак «Пешеходный переход» в течение временного интервала, обеспечивающего индикацию пешеходного перехода до момента его проезда транспортным средством.

Предложенная реализация на пешеходном переходе режима работы набора светотехнических устройств с обнаружителем транспортных средств, позволит существенно снизить расход электроэнергии аккумуляторной батареи и тем самым обеспечит его функционирование на участках автомагистралей и шоссе, характеризующихся относительно невысокой среднесуточной интенсивностью движения транспортных средств или малой интенсивностью движения транспортных средств в ночное время.

#### Литература

1 Патент № 2541591 Российская Федерация, МПК G08G 1/005 (2006.01), E01F 9/016 (2006.01), E01F 9/047 (2006.01), F21S 8/00 (2006.01). Автономный комплекс обустройства пешеходного перехода с телеметрией на основе GSM/GPRS модуля : № 2013144477 : заявл. 03.10.2013 : опубл. 20.02.2015 / Вовчина П. И., Марусин В. С., Маслаков О. В., Пушкарчук Д. А. ; заявитель «НПО «ЯВИР». – 9 с. : ил. – Текст : непосредственный..

2 Астахова Т. С., Якименко И. В. Способ реализации энергосберегающего режима работы комплекта освещения пешеходного перехода.. Сб. трудов XVIII-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Смоленск: Издательство «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, 2021. Т.2, С. 18-21.

3 Патент № 2753831 Российская Федерация, МПК F21S 9/03 (2006.01), G08G 1/005 (2006.01). Автономный комплекс обустройства пешеходного перехода : № 2020144105 : заявл. 30.12.2020: опубл. 23.08.2021 / Астахова Т. С., Астахов С. П., Мясина О. С., Михалев В. В., Якименко И. В. ; заявитель «НИУ «МЭИ» – 9 с. : ил. – Текст : непосредственный.

*И.Н. Белов, начальник оптического цеха  
ПАО «Ростовский оптико-механический завод»;  
Я.В. Корогодова, студ; Е.С. Хрякова, студ  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ**

Производство любой оптической детали начинается с разработки технологического процесса. Технологический процесс – это часть производственного процесса, связанная с последовательным изменением физического состояния заготовки для превращения в оптическую деталь.

Основными документами, отражающими технологический процесс, представляются технологические, маршрутные и операционные карты. В маршрутной карте отображен список всех действий технологического процесса в порядке их выполнения. Операционную карту выполняют отдельно на каждую

технологическую операцию. Ключевым в этой карте является эскиз обработки детали. Изделие вычерчивают в том виде, в каком оно выходит после окончания данной операции. На эскизе должны быть проставлены все выдерживаемые размеры, классы точности, допуски, посадки, шероховатость обработки и другие нужные характеристики.

Рассмотрим операции изготовления оптических деталей, на примере плоско-выпуклой линзы, эскиз которой представлен на рисунке 1.

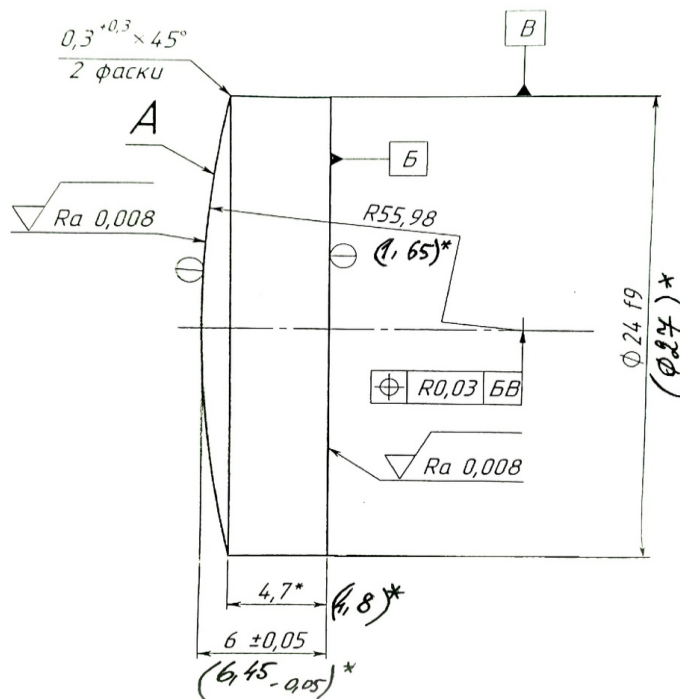


Рисунок 1 – Эскиз плоско-выпуклой линзы

Изготовление оптической детали начинается с получения стеклозаготовки. По заказу предприятия, стекловаренный завод производит заготовку, которая может быть, как близкой по размеру к готовой детали (рациональной), так и целостным куском стекла (нерациональной).

Заготовки, на участке распиловки, при помощи распиловочного станка, делятся на небольшие куски, для рационального применения материала. Эти станки предназначены для резки блоков оптических материалов отрезными алмазными кругами. Крепление кругов осуществляется на особой оправке, на которой возможна синхронная параллельная установка нескольких отрезных алмазных кругов. Для распиловки крупных заготовок оптического стекла используются универсальные металлорежущие фрезерные или расточные станки.

После распиловки, важно отшлифовать все стороны заготовки для того, чтобы избавиться от заготовительных дефектов (сколы, трещины, выколки, шамотный слой). Отшлифовывание оптических материалов может быть осуществлено при помощи алмазного инструмента или свободного абразива. Шлифование алмазным инструментом представляет собой процесс хрупкого разрушения стекла, которое выходит в результате царапающего действия закрепленных зерен. Когда режущая кромка зерна входит в контакт со стеклом, в

его поверхностном слое под действием сил, появляются напряжения, по мере нарастания силы резания напряжения увеличиваются, добиваются предела прочности стекла, превосходят его и происходит хрупкое разрушение стекла. При дальнейшем процессе зерно опять входит в контакт со стеклом и разрушения повторяется.

Обработка выполняется с применением шлифовальных микропорошков, которые переходят от более крупной к более мелкой зернистости и снимают слой шероховатости с детали, делая ее ровной и однородно-матовой, образуется шероховатая шлифованная поверхность.

Начальные заготовки изделия не отвечают размеру, требуемому от готовой линзы. Гарантирует его операция круглого шлифования. Отделку заготовок по диаметру осуществляют на круглошлифовальных станках алмазными кругами, их обрабатывают группой, собирая в столбик. При диаметре или длине диагонали заготовок меньше 20 мм их склеивают меж собой. Для исключения выколов на ребрах крайних заготовок к ним приклеивают пластинки. Заготовки диаметром больше 20 мм не склеивают, а собирают в столбик чередуя с бумажными прокладками. Столбики определяют в центрах станка через металлические шайбы с прокладкой из войлока или картона. Столбик воспроизводит начальную форму заготовок с приближением к геометрически верному цилиндру.

За круглением элементы следуют на сферофрезерный участок, где на специальных станках на плоские грани заготовки наносится радиус кривизны, обработка предварительная, оттого изделие на выходе получается матовым (соблюдена геометрия, но не обладает оптическими характеристиками). Фрезерование сферы происходит через принудительное формообразование, в основе которого лежит геометрия пространственного пересечения двух тел – тонкостенного цилиндра 1, представляющего инструмент, и изделия 2 (рис. 2).

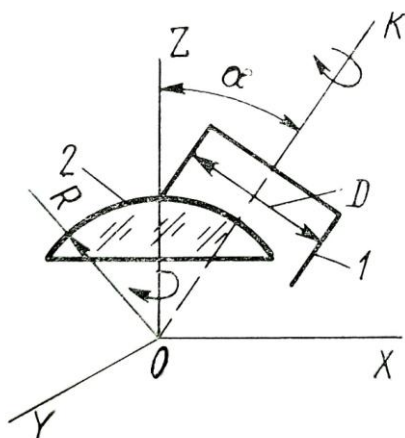


Рисунок 2 – Схема принудительного формообразования

Оба тела твердо соединены с осями вращения ( $OK$  и  $OZ$  соответственно), которые находятся в одной плоскости и пересекаются в точке  $O$  под определенным углом  $\alpha$ . При вращении данных тел и перемещении одного из них вдоль оси  $OZ$  кромка прибора вырезает в корпусе изделия поверхность, все точки



к которой лежат на окружности, образованной вращением инструмента относительно оси  $OK$ , и равноудалены от точки  $O$ . В зависимости от положения кромки инструмента относительно оси вращения изделия может быть получен сферический пояс или сферический сегмент.

Снятие фасок на краях линз, т.е. притупление места пересечения сферических (или плоских) поверхностей с цилиндрической поверхностью линзы, используют для предохранения краев изделия от выколов и для ограничения светового диаметра линзы, т.е. для того, дабы на рабочую поверхность попал именно тот пучок света, диаметр которого обусловлен расчетом, а так же для закрепления элемента должным методом в оправе. В чертеже указываются ширина фаски, дозволяемое отклонение и угол наклона по отношению к цилиндрической поверхности линзы. Мастер берет деталь, кою нужно обработать, заранее подобрав подходящую чашку. Подключается станок, закрепленная чашка двигается вращательно. Берется линза и прижимающими движениями вводится в крутящуюся чашку, таким образом выходит фаска нужного размера.

По завершению всех данных операций грядущие детали очищают и промывают, передают в отдел технического контроля на участке заготовки, где измеряют геометрические размеры (диаметр, толщина, углы и т.п.) и осуществляют решение о дальнейшей годности детали.

Пригодные элементы передаются на шлифовку и полировку на участок сферической оптики, где они приобретают заложенные разработчиками оптические характеристики. Для изготовления линзы необходим комплект инструмента: наклейное приспособление для закрепления детали на станке, инструмент-шлифовальник, инструмент-полировальник. Изделия, при помощи наклейной смолы фиксируются на наклейнике, устанавливаются на станок, берется шлифовальник, запускается отделка детали: нижнее звено вращается, верхнее звено возвратно-поступательными движениями притирается к нижнему, меж ними периодически подливается шлифовальный микродорошок, который от перехода к переходу сокращает матовость на сферической поверхности. После шлифовки на смену шлифовальнику ставят полировальник – инструмент, на который нанесена полировальная смола с полировальным порошком, совершающий сходные шлифовальнику движения, окончательно убирая матовость со сферической поверхности, делая ее глянцевой и идеально ровной.

После обрабатывания первой стороны изделие лакируют для защиты от механических повреждений, ссаживают с наклейного приспособления и закрепляют для обработки второй стороны. Вторую сторону обрабатывают аналогично.

Так как в предыдущем пункте каждая сторона линзы обрабатывается по-отдельности, может возникнуть децентрировка из-за чего изображение или световой пучок, проходящий сквозь деталь, идет не прямолинейно, что непозволительно. Для того, дабы избавиться от этого дефекта изделие центрируют на станках: элемент зажимается по радиусам кривизны при помощи специальных патронов, в которых она выравнивается самостоятельно из-за

своей геометрии, затем она обрабатывается по диаметральному размеру и на выходе геометрическая и оптическая оси детали совмещаются.

После операции центрирования у изделия притупляются заостренные кромки, наносятся защитные фаски, деталь промывается и передается в отдел технического контроля на участке сферооптики, где подтверждается качество ее изготовления, производится решение о ее пригодности.

Для улучшения характеристик детали или придания ей особых свойств, на нее может наноситься покрытие (защитное, просветляющее, зеркальное и т.п.). Тонкослойные покрытия дают возможность менять оптические, механические, химические, электрические и иные характеристики оптических деталей. Покрытие наносится двумя способами: химический (суть метода заключается в том, что на изделие капают особый раствор, который образует на поверхности пленку) и физический (в специальных вакуумных установках поверхность детали бомбардируется молекулами испаряемого вещества, которое, осаждаясь, создает тонкий поверхностный слой), после чего детали сушатся и передаются для дальнейшей обработки.

По завершению всех проведенных действий готовые линзы передаются на окончательный технический контроль, измеряются все характеристики, пишется решение о их годности, после чего они передаются на участок упаковывания, где их заворачивают в вату, бумагу, маркируют и подготавливают к сдаче на участок сборки.

Данный технологический процесс является эффективным, отвечает всем современным стандартам и может быть использован для создания высокотехнологического изделия (плоско-выпуклой линзы) высокого качества.

Рассмотренный технологический процесс активно используется на Ростовском оптико-механическом заводе для серийного производства.

#### Литература:

1. Технология производства оптических деталей : учебно-методическое пособие по курсовому проектированию / В. И. Шамкалович [и др.]. – Минск: БНТУ, 2017. – 97 с.
2. Быков Б.З., Перов В.А., Оформление рабочих чертежей оптических деталей и выбор допусков на оптические детали, М:МГТУ им. Баумана, 2007 г.

*М.В. Беляков, д-р. техн. наук, доц.; И.Ю. Ефременков, студ., А.Н. Боровикова, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ СКИСАНИЯ МОЛОКА**

Применение спектроскопии в медицине, химии, агробиоинженерии в 21 веке не является новшеством. Обнаружение сложных химических соединений, выявление поврежденных тканей организмов, контроль качества продукции, прогнозирование всхожести растений [1], все это возможно благодаря современным спектрофотометрам и спектрофлуориметрам. Во многих ведущих странах мира методы спектроскопии используются и в сельском хозяйстве (СХ), а именно в молочной индустрии для быстрого получения показателей жирности,

содержания белка, солей и т.д., поэтому точность определения этих показателей является одной из ключевых задач СХ.

В данной работе использовали молоко агрофирмы «Катынь» с жирностью 3,2%. Для измерений торец волоконнооптического кабеля спектрофлуориметра опустили в кювету с молоком на 3 – 4 мм (рисунок 1), после чего помещали их в светонепроницаемый черный корпус.



Рисунок 1 – Волоконнооптический кабель спектрофлуориметра, помещенный в молоко

Для получения спектральных характеристик возбуждения, указывали диапазон измерений от 220 – 500 нм, требуемое число вспышек, а также в параметрах строба указывали задержку равной 0,75 мкс и длительность равной 20 мкс для получения максимальной интегральной поглощательной способности. Интегральные параметры спектров возбуждения и люминесценции молока представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Интегральные параметры спектров возбуждения молока

| № измерения | Н, о.е. (для спектрального диапазона, нм) |           |           |
|-------------|---|-----------|-----------|
|             | 220 – 340                                 | 356 – 420 | 420 – 500 |
| 1           | 2188                                      | 85        | 195       |
| 2           | 2125                                      | 87        | 201       |
| 3           | 2123                                      | 87        | 196       |
| 4           | 1913                                      | 95        | 215       |
| 5           | 2105                                      | 96        | 218       |
| 6           | 2116                                      | 91        | 204       |
| 7           | 2132                                      | 96        | 215       |
| 8           | 2109                                      | 92        | 211       |
| 9           | 2088                                      | 86        | 194       |
| 10          | 2049                                      | 93        | 211       |

## Интегральные параметры спектров люминесценции молока

| № измерения | $\Phi_{232}$ о.е. | $\Phi_{322}$ о.е. | $\Phi_{385}$ о.е. | $\Phi_{442}$ о.е. |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1           | 470               | 669               | 423               | 1644              |
| 2           | 449               | 670               | 423               | 1655              |
| 3           | 427               | 673               | 409               | 1655              |
| 4           | 400               | 679               | 401               | 1598              |
| 5           | 458               | 674               | 415               | 1632              |
| 6           | 430               | 658               | 419               | 1625              |
| 7           | 426               | 663               | 414               | 1630              |
| 8           | 405               | 664               | 419               | 1638              |
| 9           | 383               | 661               | 418               | 1626              |
| 10          | 367               | 661               | 408               | 1642              |

Для расчета погрешностей измерений (таблица 1 и таблица 2) были использованы известные формулы обработки результатов измерений:

$$x_{\text{cp}} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}, \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_{\text{cp}})^2}{n \cdot (n - 1)}}, \quad (2)$$

$$S = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

$$\Delta X = t_{\alpha, n} \cdot S, \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta X}{x_{\text{cp}}} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 3 и таблице 4, при вычислении погрешности была выбрана доверительная вероятность  $\alpha = 0,9$ , коэффициент Стьюдента при данной доверительной вероятности и количестве измерений, которое равно 10, составляет  $t_{\alpha, n} = 1,8$ .

Таблица 3

## Обработка результатов измерений спектров возбуждения молока

| Величины              | H, о.е. (для спектрального диапазона, нм) |           |           |
|-----------------------|---|-----------|-----------|
|                       | 220 – 340                                 | 356 – 420 | 420 – 500 |
| $x_{\text{cp}},$ о.е. | 2095                                      | 91        | 206       |
| $\sigma$              | 73  | 4         | 9         |
| $S$                   | 23  | 1         | 3         |
| $\Delta X$            | 41  | 2         | 5         |
| $\varepsilon, \%$     | 2   | 3         | 3         |

Из таблицы 3, следует, что для диапазонов 220 – 340 нм, 356 – 420 нм, 420 – 500 нм, среднее значение  $N$  составляет 2095 о.е., 91 о.е., 206 о.е. соответственно. При этом стандартное отклонение среднего ( $\sigma$ ), для выбранных диапазонов, составляет 73, 4, 9, дисперсия ( $S$ ) составляет 23, 1, 3. Погрешность  $\varepsilon$  для трех диапазонов не превышает 5%, что говорит о достаточно высокой точности измерений.

Таблица 4

Обработка результатов измерений спектров люминесценции молока

| Величины          | $\Phi_{232}$ о.е. | $\Phi_{322}$ о.е. | $\Phi_{385}$ о.е. | $\Phi_{442}$ о.е. |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $x_{cp}$          | 422               | 667               | 415               | 1635              |
| $\sigma$          | 33                | 7                 | 7                 | 17                |
| $S$               | 10                | 2                 | 2                 | 5                 |
| $\Delta X$        | 19                | 4                 | 4                 | 10                |
| $\varepsilon, \%$ | 4                 | 1                 | 1                 | 1                 |

Среднее значение интегральных параметров спектров люминесценции составляет:  $\Phi_{232} = 422$  о.е,  $\Phi_{322} = 667$  о.е,  $\Phi_{385} = 415$  о.е,  $\Phi_{442} = 1635$  о.е. Стандартное отклонение среднего составляет 33, 7, 7, 17 соответственно, при этом величина дисперсии составляет 10, 2, 2, 5. Погрешность  $\varepsilon$ , как и для спектров возбуждения не превышает 5%, что также говорит о высокой точности измерений.

Таким образом, фотолюминесцентные методы имеют высокую точность, при относительно небольшом времени измерений. В дальнейшем, благодаря этим расчетам, возможно создание высокоточного и экспрессного метода определения степени скисания молока, аналогично методам [1] и [2-4].

Литература

1. Беляков, М. В. Определение всхожести семян растений люминесцентным методом [Текст] / М. В. Беляков // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии, 2017, №3(52), С. 35-40.
2. Беляков М. В. Фотолюминесцентный контроль спелости семян зерновых в процессе созревания [Текст] / М.В. Беляков // Инженерные технологии и системы. – 2019. – № 2. – С. 306-319.
3. Беляков М.В., Ефременков И.Ю., Корогодова Я.В., Генералова М.П. Исследование спектральных характеристик возбуждения люминесценции семян кукурузы при созревании // Энергетика, информатика, инновации – 2019: Сб. трудов IX -ой Межд. науч.-техн. конф. В 2 т. Т. 1. – Смоленск: «Универсум», 2019 – с. 398-401.
4. Ефременков И.Ю. Исследование спектральных характеристик возбуждения и люминесценции семян фасоли при созревании // Информационные технологии, энергетика и экономика – 2020: Сб. трудов XVII - ой Межд. науч.- техн. конф. В 3 т. Т. 2. – Смоленск: «Универсум», 2020 – с.62 – 65.

*М.В. Беляков, д-р. техн. наук, доц.; И.Ю. Ефременков, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

**СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ СВЕТИЛЬНИКА  
«ОГОНЬ ЛИНЗОВЫЙ»**

Светотехнические изделия повсеместно используются не только в гражданской промышленности, но и в военной. Их производство и модернизация является одной из важнейших задач светотехники, поскольку современные тенденции рынка светотехники требуют от источников излучения:

высокой надежности, низкого энергопотребления, простоту конструкции, а также бюджетную стоимость.

Одним из примеров данной продукции является изделие «Огонь линзовый» (ОЛ). Изделие ОЛ имеет малую интенсивность и активно применяется на вертодромах и вертолетных площадках в качестве огней приближения к авиаполосе, ее ограничения, посадочного искусственного горизонта, огней взлетно – посадочной полосы других функциональных групп в сетях параллельного питания переменным током и напряжением  $U_{пит.} = 380 В$  или  $U_{пит.} = 220 В$ , частотой  $f = 50 Гц$ . Чертеж ОЛ представлен на рисунке 1.

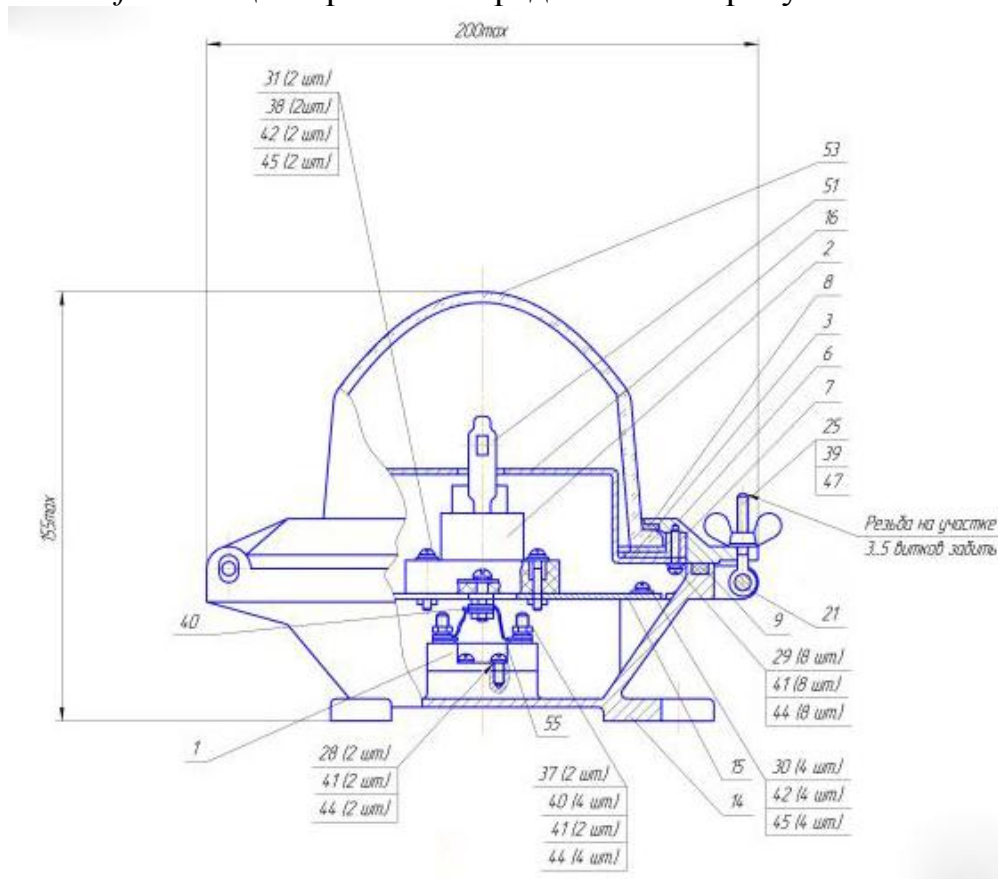


Рисунок 1 – Чертеж светильника «Огонь линзовый»

Конструктивно изделие «Огонь линзовый» выполнен в виде корпуса, внутри которого установлен трансформатор, светооптического блока, включающего в себя: фланец, стеклоколпак, панель, лампу, фиксируемую пружинным зажимом. В зависимости от исполнения изделия «Огонь линзовый», на панели могут быть установлены: один или два кронштейна с линзой Френеля, при этом стеклоколпак может быть гладким одно – или двуцветным: кронштейн с отражателем и светофильтром в сочетании с гладким одноцветным колпаком: один стеклоколпак, выполненный в виде круглосимметричной линзы.

Корпус оборудован двумя гермовводами в виде обрезиненных вилки и розетки, для закрепления которых используют фланцы и винты с шайбами. При необходимости для защиты гермовводов используются заглушки.

Трансформатор крепится к днищу корпуса с помощью винтов, гаек и шайб. Сверху трансформатор закрыт экраном, имеющим резиновую втулку с отверстиями, через которые проходят выводы вторичной обмотки трансформатора, каждый из которых оснащен колодкой с гнездом под пластинчатый контакт лампы (панели). Фланец закреплен на оси кронштейна корпуса и прижимается к последнему с помощью трех откидных болтов. Уплотнение фланца с корпусом и стеклоколпаком обеспечивается резиновыми кольцами, а взаимная ориентация фланца, панели и кольца – штифтом. Для защиты стеклоколпака от механических повреждений на фланце может быть установлена решетка.

Результаты измерений некоторых параметров изделия «Огонь линзовый» приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты измерений некоторых параметров изделия «Огонь линзовый»

| Параметр | $P$ , Вт | $I_0$ , кд | $\alpha_{гор.}, ^\circ$ | $\alpha_{верт.}, ^\circ$ | $\theta_{возв.}, ^\circ$ | $U_{пит.}, В$ | $m$ , кг | $h$ , мм | $a$ , мм |
|----------|----------|------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------|----------|----------|----------|
| Величина | 50       | 720        | 16                      | 16                       | $4 \pm 1$                | 220           | 3,8      | 250      | 275      |

Где  $P$ , Вт – номинальная мощность изделия,  $I_0$ , кд – сила света в направлении оси светового пучка,  $\alpha_{гор.}, ^\circ$  – угол рассеяния в горизонтальной плоскости,  $\alpha_{верт.}, ^\circ$  – угол рассеяния в вертикальной плоскости,  $\theta_{возв.}, ^\circ$  – угол возвышения,  $U_{пит.}, В$  – напряжение питания,  $m$ , кг – масса изделия,  $h$ , мм – высота изделия,  $a$ , мм – ширина изделия.

Измерения проводились на лабораторном стенде, который изображен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Лабораторный стенд для измерения светотехнических параметров исследуемых ламп

Таким образом ОЛ соответствует всем требованиям современной оплотехники, так как обладает простотой сборки, высокой надежностью и сравнительной компактностью, а также изделие «Огонь линзовый» соответствует

общим требованиям безопасности светотехнических изделий в соответствии с ГОСТ 12.2.007.0 – 75 [1] и ГОСТ 12.2.007.13 – 75 [2].

#### Литература

5. ГОСТ 12.2.007.0 – 75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности [Текст]. – Введ. 1979-01-10. – М.: Стандартинформ, 2008. – 4 с.
6. ГОСТ 12.2.007.13 – 75 Система стандартов безопасности труда. Лампы электрические. Требования безопасности [Текст]. – Введ. 2001-01-07. – М.: Стандартинформ, 2000. – 4 с.

*М.В. Беляков, д-р. техн. наук, доц.; И.Ю. Ефременков, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### ПРОВЕДЕНИЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ «МАЯКА ВЕРТОДРОМНОГО»

Маяки, как светосигнальное оборудование, использовались еще с древних времен. В условиях плохой видимости: во время тумана, шторма или ночью, они являлись незаменимыми помощниками для небольших одномачтовых лодок, а также огромных фрегатов и бригов. С появлением новой отрасли – авиастроения возрасла потребность в абсолютно иных приборах оптической навигации. Перед инженерами стояла задача существенно уменьшить габариты маяков, их энергопотребление, при этом повысить яркость и силу света. Одним из примеров такого маяка является «Маяк вертодромный» (МВ).

«Маяк вертодромный» предназначен для зрительного обнаружения авиаплощадок не только в условиях хорошей видимости, но и в условиях сильного тумана, снега, дождя и т.д. МВ изготовлен согласно требованиям ИКАО [1].

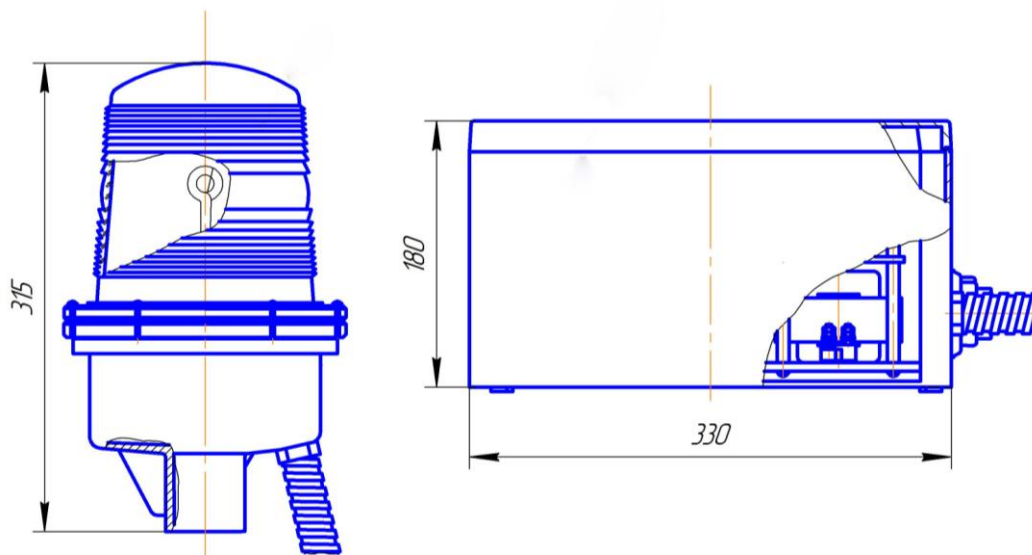


Рисунок 1 – Чертеж «Маяка вертодромного»

МВ излучает несколько вспышек белого цвета (3 - 4), длительностью от 0,5 до 2 мс, в течении 0,8 с. Каждый цикл вспышек отделен от следующего интервалом  $1,2 \pm 0,12$  с, количество циклов в минуту 30, маяк сохраняет работоспособность при пониженном напряжении питания до 240 В. Режим



работы маяка – продолжительный и составляет 24 часа. Сборочный чертеж МВ представлен на рисунке 1.

МВ состоит из блока светооптического (БС) и блока питания (БП), соединенных между собой кабелем длиной не более 2,5 м. БС состоит из литого корпуса, которому фланцем через резиновую прокладку крепится линза. Внутри корпуса на панели расположен патрон, в который установлена лампа, фиксируемая гайкой. БС своим хвостовиком устанавливается на переходник и фиксируется двумя винтами. Защитное зануление БС выполнено внутри МВ, на хвостовике присутствует болт внешнего заземления.

БП состоит из литого корпуса прямоугольной формы, в котором смонтированы элементы электропитания.

Защитное зануление корпуса БП осуществляется через болт, который находится внутри корпуса. На корпусе БП смонтирован гермоввод с гайками для крепления, через которые блок подключается к БС и приборная вилка, которая подключается к сети питающим кабелем армированным розеткой. Корпус БП закрывается крышкой. Кабель подключения к сети должен быть трехжильным с сечением не менее 2,5 мм<sup>2</sup>.

Измеренные параметры «Маяка вертодромного» представлены в таблице 1.

Таблица 1

Измеренные параметры «Маяка вертодромного»

| Параметр               | Величина |
|------------------------|----------|
| $U_{\text{пит.}}$ , В  | 380      |
| $f$ , Гц               | 50       |
| $P$ , Вт               | 650      |
| $\alpha$ , °           | 360      |
| Степень защиты         | IP55     |
| $t_{\text{возд.}}$ , ° | ± 50     |

Где  $U_{\text{пит.}}$ , В – напряжение,  $f$ , Гц – частота,  $P$ , Вт – используемая мощность,  $\alpha$ , ° – угол горизонтальной плоскости излучения,  $t_{\text{возд.}}$ , ° – температура внешней среды.

При этом допустимые условия эксплуатации изделия: влажность воздуха 100% при 35 °С, скорость ветра не более 50 м/с, вибрация в диапазоне частот от 1 до 80 Гц с ускорением 4 g.

Измеренные значения силы света «Маяка вертодромного» одной вспышки в вертикальной плоскости представлены в таблице 2.

Таблица 2

Измеренные значения силы света «Маяка вертодромного» одной вспышки в вертикальной плоскости

|              |      |      |      |      |     |     |
|--------------|------|------|------|------|-----|-----|
| $\alpha$ , ° | 0    | 1,5  | 2,5  | 4    | 7   | 10  |
| $I_v$ , кд   | 1750 | 2570 | 2570 | 1750 | 700 | 300 |

Из таблицы 2 следует, что максимальное значение силы света достигается при вертикальных углах  $\alpha = 1,5^\circ$  и  $2,5^\circ$ , при увеличении угла наблюдения - сила света уменьшается в 2 – 10 раз.

Таким образом МВ, благодаря своим светотехническим параметрам, является актуальным решением визуальной навигации, в связи с высокими значениями  $I_v$ , выдерживаемой влажностью воздуха и скоростью ветра, обладает малыми габаритами, а также соответствует ТБ светотехнических устройств по ГОСТ 12.2.007.0 – 75 [2] и ГОСТ 12.2.007.13 – 75 [3].

#### Литература

7. Требования ИКАО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aviakos.ucoz.ru/dok/pdf/vozd-navi.pdf> (Дата обращения: 18.09.2021).
8. ГОСТ 12.2.007.0 – 75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности [Текст]. – Введ. 1979-01-10. – М.: Стандартинформ, 2008. – 4 с.
9. ГОСТ 12.2.007.13 – 75 Система стандартов безопасности труда. Лампы электрические. Требования безопасности [Текст]. – Введ. 2001-01-07. – М.: Стандартинформ, 2000. – 4 с.

*М.В. Беляков, д-р. техн. наук, доц.; Н.А. Янкин, студ., Д.С. Пятченков, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА КАРТО- ФЕЛЯ**

Качество является одним из важных факторов в маркетинге сельскохозяйственной продукции. Сортировочные машины имеют большое значение в системах контроля качества. Большинство современных сортировочных машин работают на основе систем машинного зрения для обнаружения дефектов и дефектов изделий, где для каждого отдельного объекта берется одно или несколько изображений, и результаты обработки будут определять качество объекта. Одним из основных недостатков картофеля является физиологическое озеленение кожуры, которое оказывает негативное влияние на здоровье человека.

Белок клубней картофеля может быть ценной альтернативой в питании человека и животных благодаря его адекватной питательной ценности и конкурентоспособной урожайности белка с гектара.

Обработка картофеля осуществляется на все более крупных и автоматизированных предприятиях, и промышленность требует более автоматизированного оборудования для оценки качества и сортировки по концентрации крахмала, растворимых сахаров, белка, аминокислот и т. д. в клубнях картофеля.

Для сухой картофельной муки была разработана калибровка спектроскопии отражения в ближнем инфракрасном диапазоне для содержания сырого протеина. Кроме того, была разработана калибровка спектроскопии отражения в ближнем инфракрасном диапазоне для содержания сухого вещества свежего картофеля. Недавно разработанная калибровка спектроскопии отражения в ближнем инфракрасном диапазоне для содержания сырого протеина на образцах свежего картофеля полезна для отбора сортов картофеля со сравнительно высоким или низким содержанием белка в клубнях и демонстрирует, что быстрая,

простая и экономичная подготовка образцов приводит к сравнительно адекватным калибровкам спектроскопии отражения в ближнем инфракрасном диапазоне, как описано в литературе, с использованием более обширных методов подготовки.

Методика спектроскопии отражения в ближней инфракрасной области (*NIR*) была протестирована для прогнозирования качества обработки картофеля путем сканирования (850–2500 нм) измельченного сырого картофеля в течение девяти вегетационных сезонов и четырех-пяти мест. Было проведено сравнение двух стратегий моделирования: ежегодно повторяемого (инкрементального) и ретроспективного расчета в конце проекта с включением или удалением спектральных выбросов. Прямое прогнозирование качества обработки привело к значениям  $r^2$  0,52 для обезвоженного картофеля.

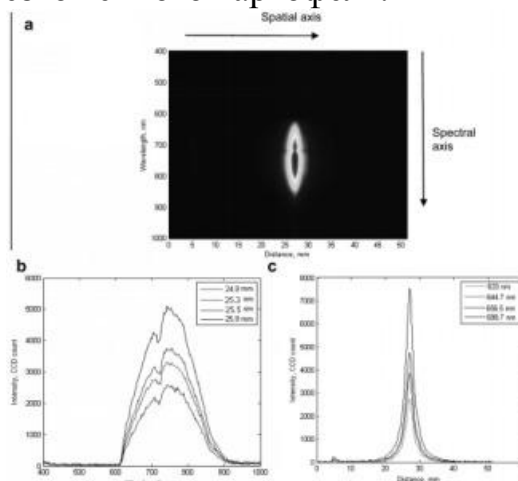


Рис. 1 - (а) Гиперспектральное рассеивающее изображение с различными цветами, представляющими интенсивность света ломтика картофеля, (б) спектральные профили из разных пространственных местоположений, представленные разными цветами, (с) спектральные профили с разными длинами волн, представленные разными цветами.

Для создания набора клубней с различными концентрациями картофеля четырех сортов ранили или обрабатывали красным, синим, красным / синим, УФ-а, УФ-б или УФ-светом. Анализ гиперспектральной визуализации (*HSI*) был выполнен с помощью установки на основе отражения, реализованной в промышленной машине для сортировки картофеля. После гиперспектрального анализа был взят образец кожуры и определены концентрации. Результаты показали, что система *HSI* предсказала концентрации с относительно высокой степенью точности. Прогнозирование концентраций выполнялось в гораздо меньшей степени, и общее прогнозируемое значение  $R^2$  оказалось гораздо ниже. Умеренный почвенный покров лишь в незначительной степени повлиял на способность прогнозов.

Простой машинный алгоритм видения был разработан для того, чтобы быстро и точно обнаружить физиологическое озеленение кожуры клубней картофеля. Экспериментальная установка сбора изображений состояла из блока захвата изображений, оснащенного системой освещения, цветной ПЗС-камерой и картой захвата. Набор данных состоял из 25 изображений картофеля с фи-

зиологическими пятнами озеленения кожи. Для изменения неравномерного распределения интенсивности фонового света была проведена предварительная обработка изображения. Поскольку картофель имеет яркую кожуру, ПЗС-матрица была насыщена небольшой частью каждое изображение. Эти части были удалены из изображений с помощью отношения, найденного между пространствами *RGB* и *HSI*. Разница между красными и зелеными компонентами пространства *RGB* для зеленых частей картофеля была ниже, чем для других частей. Наконец, было установлено, что соотношение  $1,02 R - G$  подходит для обнаружения зеленых частей клубней картофеля.

Два метода были основаны на гиперспектральной визуализации, два - на диэлектрическом / биоимпедансе и один - на низкочастотном ядерном магнитном резонансе. Набор из 60 картофелин 10 различных сортов был одновременно взят для анализа содержания и просканирован пятью различными методами сканирования. Полученный многомерный набор данных был использован для оценки прогнозирующей способности отдельных методов сканирования по параметрам, связанным с крахмалом, отобранные простые сахара, отобранные аминокислоты, проводимость спрессованного клеточного сока и размеры клеток. Результаты показали, что большинство типов спектрального анализа обладают относительно высоким потенциалом для прогнозирования параметров, связанных с крахмалом, и средним потенциалом для прогнозирования концентрации восстанавливающих сахаров фруктозы и глюкозы. Большинство методов продемонстрировали средний потенциал для предсказания нескольких аминокислот, включая аспарагин, что показало особенно многообещающие предсказания при гиперспектральном анализе интактного картофеля. Представленное предварительное исследование позволило нам сделать правильный выбор для дальнейшего развития и оптимизации методов и инструментов для промышленного внедрения. Результаты показали, что большинство типов спектрального анализа обладают относительно высоким потенциалом для прогнозирования параметров, связанных с крахмалом, и средним потенциалом для прогнозирования концентрации восстанавливающих сахаров фруктозы и глюкозы. Большинство методов продемонстрировали средний потенциал для предсказания нескольких аминокислот, включая аспарагин, что показало особенно многообещающие предсказания при гиперспектральном анализе интактного картофеля. Представленное предварительное исследование позволило нам сделать правильный выбор для дальнейшего развития и оптимизации методов и инструментов для промышленного внедрения.

Технология гиперспектральной визуализации используется для изучения методов диагностики и мониторинга болезней картофеля с целью повышения эффективности и точности диагностики и мониторинга заболеваний, а также для сбора, обработки и анализа информации о болезнях картофеля. В качестве объекта исследования использовался фитофтороз картофеля, с использованием системы получения гиперспектральных изображений для сбора данных гиперспектральных изображений растений картофеля за разные дни. После инокуляции болезни в данных гиперспектрального изображения в диапазоне 366-976

ним использовался метод выделения признаков для выбора изображения, соответствующего характеристической длине волны и оптимальному изображению главных компонентов. Гиперспектральные изображения растений картофеля использовались для получения спектральной отражательной способности на разных стадиях заболевания, а затем была изучена тенденция заболеваемости прививкой поздней чумы для осуществления мониторинга болезни. Результаты исследования показывают, что с помощью технологии гиперспектральной визуализации можно быстро и точно диагностировать болезни картофеля.

Полевая спектроскопия является частью методов дистанционного зондирования и очень важна для исследований в сельском хозяйстве. В этом исследовании использовался полевой спектро-радиометр ГЭР-1500 для получения необходимых спектральных данных ярового картофеля для оценки спектральных индексов вегетации.

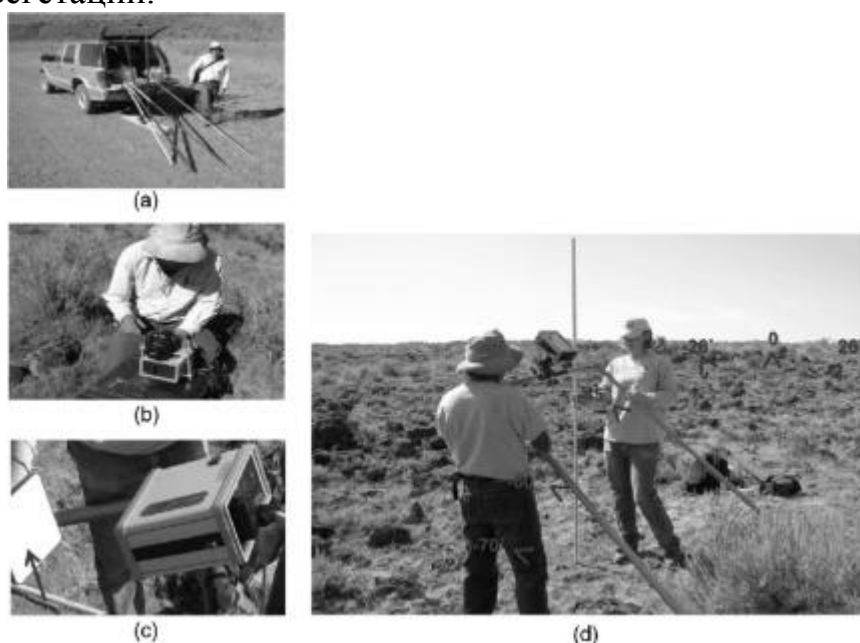


Рис. 2 - полевой спектро-радиометр ГЭР-1500. (а) транспортировка оборудования, (б) установка GER и цифровой камеры на штативе, (с) белая контрольная панель, (д) полевые измерения на кустарниках.

Каждый из перечисленных способов имеет свои преимущества, но наименее затратной по использованию, при этом не теряющей в полезности является методика спектроскопии отражения в ближней инфракрасной области, прогноз при помощи которой показал достаточно хорошие результаты и по моему мнению принесёт достаточно большую пользу в долгосрочной перспективе при должном распространении.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bernhard, T., Truberg, B., Friedt, W. *et al.* Development of Near-Infrared Reflection Spectroscopy Calibrations for Crude Protein and Dry Matter Content in Fresh and Dried Potato Tuber Samples. *Potato Res.* **59**, 149–165 (2016).
2. Prediction of Potato Processing Quality by near Infrared Reflectance Spectroscopy of Ground Raw Tubers Norbert U. Haase // *Journal of Near Infrared Spectroscopy* (2011) Volume: 19 issue: 1, page(s): 37-45.

3. Kjær, A., Nielsen, G., Stærke, S. *et al.* Detection of Glycoalkaloids and Chlorophyll in Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) by Hyperspectral Imaging. *Am. J. Potato Res.* 94, 573–582 (2017).

4. Xinting Li, Jie Feng, and Xinye Wang "Hyperspectral imaging techniques for diagnosis and monitoring of potato diseases", *Proc. SPIE 10826, Infrared, Millimeter-Wave, and Terahertz Technologies V*, 108261T (9 November 2018).

*А.В. Борисенкова, студ.; Д.С. Рассказа, ст.пр.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **РАЗРАБОТКА ВОЛШЕБНОЙ ПАЛОЧКИ С ГОЛОСОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Каждый человек когда-либо хотел вернуться в детство, ведь именно ребёнок верит в волшебство, в чудеса, искренне ждёт деда Мороза, приносящего подарки под ёлку в Новогоднюю ночь, а потом перед сном загадывает желание, которое обязательно должно исполниться. В то время волшебство не являлось чем-то странным или абсурдным, как во взрослой жизни. К сожалению, это осталось в прошлом, ведь детство не вернуть, как бы грустно это ни звучало.

Каждый, кто хоть раз читал или смотрел «Гарри Поттера», наверняка хотел бы оказаться в волшебном мире, хоть на минутку ощутить себя волшебником, творить разные чудеса. Именно для этих целей и задумывается данное устройство. Во-первых, это интересно даже для взрослого человека. Во-вторых, это определённый, нужный для инженера опыт на практике. В-третьих, это будет очень ярко, красиво и зрелищно.

В наше время на полках магазинов с игрушками можно часто встретить огромное разнообразие светящихся волшебных палочек. Но они имеют практически одинаковое строение, кажутся обыденными и скучными: нажимаешь на кнопочку — она начинает светиться разными цветами, нажимаешь ещё раз — выключается (рис.1). Ребёнка такая игрушка приводит в восторг, однако взрослых она уже, к сожалению, не впечатляет.



Рисунок 1 — Пример обыкновенной детской волшебной палочки

Было принято решение усовершенствовать и модернизировать данную задумку и превратить её в современное техническое устройство, «заставить» палочку не просто светиться разными цветами, а менять цвет, включаться и выключаться по голосовой команде. Идеей послужила знаменитая серия романов известной британской писательницы Дж.К.Роулинг «Гарри Поттер». Похожие

палочки можно купить в интернете, но они работают по тому же принципу, что и вышеизложенные, однако нет таких, которые бы «слушались» человека по голосу, а не по нажатию кнопки на корпусе. Данная задумка в дальнейшем будет реализована и понесёт в себе развлекательный характер, а также получение определённых практических навыков в программировании и паянии.

Палочка будет выглядеть, как и в фильмах, но иметь полый корпус, чтобы спрятать туда все составляющие данного изделия (рис.2).



Рисунок 2 — Разнообразие волшебных палочек в фильме

Согласно разработанной функциональной схеме (рис. 3), устройство состоит из микроконтроллера Arduino Nano, светодиода RGB, аккумулятора 3,7 В, повышающего преобразователя постоянного напряжения в постоянное напряжение (поскольку микроконтроллер «питается» от напряжения 5 В), Bluetooth-модуля HC-06 и смартфона (рис.3).

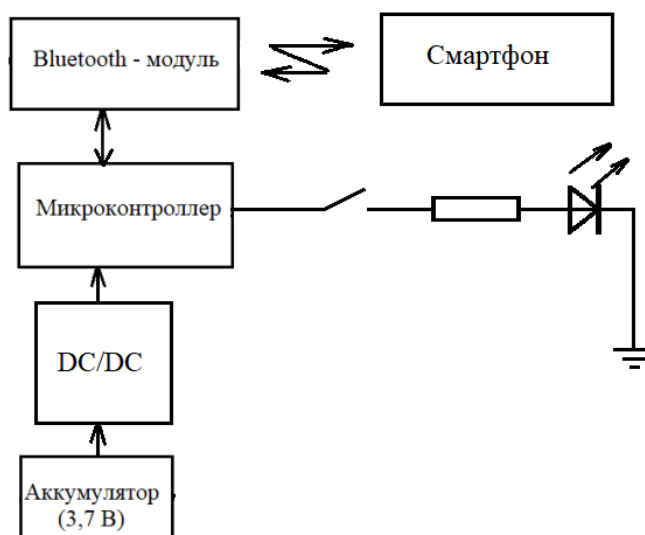


Рисунок 3 — Функциональная схема устройства

Встроенный в смартфон микрофон будет улавливать нужную команду, потом отправлять её в микроконтроллер, а тот, в свою очередь, будет «командовать» светодиодом, который будет находиться на кончике палочки и имитировать заклинание. Чтобы не допустить выхода светодиода из строя, нужен резистор, который допустит до него напряжение 2,1 В вместо 3,7 В [2]. Поскольку тока от микроконтроллера светодиоду будет недостаточно, необходим ключ, которым будет управлять микроконтроллер, и только тогда сигнал будет доходить до светодиода [1].

В качестве команд будут использоваться самые известные заклинания из «Гарри Поттера». Палочка будет «знать» одиннадцать режимов работ:

1) при команде «Люмос» она будет включаться и загораться белым цветом. Гореть будет до тех пор, пока не произнесётся новая команда.

2) при команде «Инкарцерио» изделие будет загораться розовым цветом на одну секунду, потом погаснет.

3) при команде «Бомбарда» палочка будет светиться оранжевым цветом на одну секунду, потом будет гаснуть.

4) при команде «Риктусемпра» — горит жёлтым цветом полсекунды, затем гаснет.

5) при команде «Эварте Статум» — горит фиолетовым цветом полторы секунды, после этого гаснет.

6) при заклинании «Остолбеней» палочка загорается синим цветом на одну секунду, затем медленно затухает.

7) при заклинании «Протего» изделие загорается голубым цветом на полсекунды, потом медленно гаснет.

8) при заклинании «Экспеллиармус» — резко загорается красным цветом на четыре секунды, потом резко гаснет.

9) при заклинании «Авада Кедавра» — резко загорается зелёным цветом на три с половиной секунды, затем резко гаснет.

10) при команде «Обливейт» — медленно загорается салатным цветом на две секунды, а затем медленно гаснет.

11) при команде «Нокс» палочка выключается.

На данный момент устройство находится на стадии разработки, но уже очень скоро будет реализовано. Во всяком случае, устройство должно привести в восторг не только ребёнка, но и взрослого человека.

#### Литература

- 1) Кутепов В.П., Фальк В.Н. Функциональные системы // Кибернетика. 2014. № 1. С. 17-22
- 2) Кутепов В.П., Фальк В.Н. Асинхронные модели вычислений значений функций в языке функциональных схем // Программирование. 1978. № 3. С. 3—15.
- 3) Кутепов В.П., Фальк В.Н. Формы, языки программирования, критерии и параметры сложности параллелизма // Программные продукты и системы. 2010. № 5. С. 16—25.



## РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО ТАЙМЕРА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ЗВУКОВОГО ОПОВЕЩЕНИЯ

Рассмотрен вопрос повышения эффективности отслеживания уровня заряда аккумуляторов. Таймер предназначен для предотвращения критического разряда аккумуляторных батарей прибора. На базе микроконтроллера *STM32* был предложен макет таймера. Также были приведены функциональная схема и алгоритм работы устройства.

*LiPo* аккумуляторы крайне чувствительны к критической разрядке, при падении уровня заряда ниже допустимого, аккумулятор вздувается. В связи с этим является актуальной разработка таймера, предупреждающего пользователя о критической разрядке, который будет отличаться надежностью работы, малыми габаритами, а также простотой в использовании.

В состав устройства входят: микроконтроллер *STM32F103C8T6*, светодиодный *LED* дисплей на базе драйвера *TM1637* (рис. 1а), *MicroSD* карта, подключенная к микроконтроллеру по интерфейсу *SDIO*, динамик и усилитель, в качестве которого используется микросхема *LM386*, и плата с микросхемой ЦАП *MCP4725* (рис. 1б).

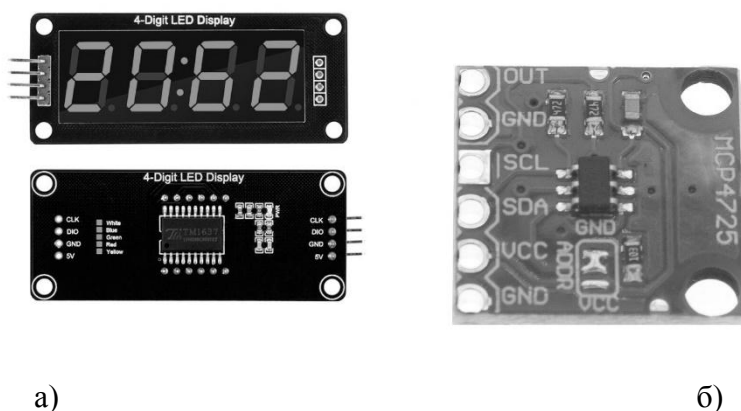


Рисунок 1 — LED дисплей на базе драйвера *TM1637* (а); плата с микросхемой ЦАП *MCP4725* (б).

Для работы устройства необходимо подключить *MicroSD* карту к ПК для загрузки *WAV* файла, который будет воспроизводиться в качестве звукового сигнала таймера, после чего подключить микроконтроллер *STM32* к ПК по интерфейсу *UART* для установки начального времени и задания характеристик измеряемого аккумулятора, таких как ёмкость и рабочее напряжение. В качестве автономного источника питания устройства используется аккумулятор, так же возможно питание от ПК при подключении по *USB*.

Для отсчета времени используется аппаратные часы реального времени микроконтроллера *STM32F103C8T6*, тактирующиеся от внутреннего низкоскоростного кварцевого резонатора с частотой равной 40 кГц, которая, с помощью делителя, преобразуется в частоту равную 1 Гц, таким образом

каждый тактовый импульс резонатора соответствует одной секунде. Таким образом, текущее время отправляется микроконтроллером на микросхему драйвера LED дисплея TM1637, который уже выводит информацию на дисплей, так же, при нажатии кнопки

Необходимость использования MicroSD карты для хранения звукового файла обусловлена тем, что микроконтроллеры STM32 хоть и имеют много большую в сравнении с микроконтроллерами Atmega из той же ценовой категории величину FLASH памяти, её всё равно оказывается недостаточно для хранения аудиофайлов формата WAV.

При достижении часами конкретного времени, ранее рассчитанного при подключении микроконтроллера к ПК, происходит прерывание, в обработчике которого начинается побайтовая передача WAV файла с карты памяти на внешний ЦАП, который выводит преобразованную информацию на микросхему усилителя LM386, подключенную к динамику и происходит воспроизведение звукового сигнала.

Подключение микроконтроллера к ПК происходит с использованием USB-to-TTL модуля P12303. Данный модуль связывается с контроллером по интерфейсу UART и преобразует полученные данные для передачи их по USB. Для работы модуля необходимо установить соответствующее программное обеспечение, позволяющее работать с виртуальными СОМ-портами.

Напряжение с измеряемого аккумулятора проходит через делитель и попадает на вход АЦП микроконтроллера, благодаря чему высчитывается текущий уровень напряжения аккумулятора и, зная емкость и уровень рабочего напряжения, заданных при подключении к ПК, проводится вычисление времени до достижения критического уровня напряжения.

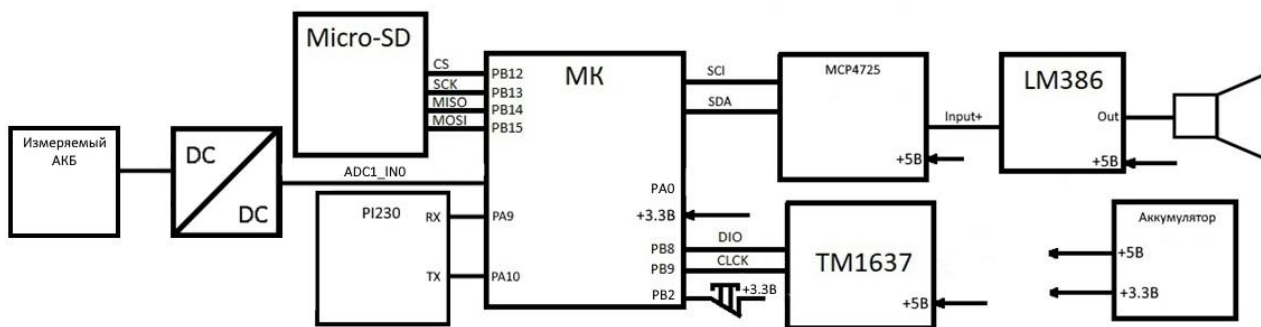


Рисунок 2 — Функциональная схема устройства

Работа устройства осуществлена в соответствии с разработанным алгоритмом (рис 3).

Сначала необходимо подключить модуль P12303 к ПК, после этого, с помощью программы CoolTerm, или любой другой программы для работы с СОМ-портами, установить связь микроконтроллера с ПК для установки начального времени отсчёта и задания характеристик измеряемого аккумулятора.

MicroSd карта подключается к ПК, после чего необходимо сохранить на неё заранее выбранный звуковой файл, который будет использоваться в качестве звукового сигнала для будильника.

Последним шагом является подключение MicroSD карты к специальному модулю, который позволит считывать данные с карты посредством интерфейса SPI и включение питания устройства от аккумулятора, после этого программа начнет выводить время, начиная отсчёт с предварительно заданного стартового времени и воспроизведет звуковой сигнал при срабатывании прерывания по достижению времени будильника.

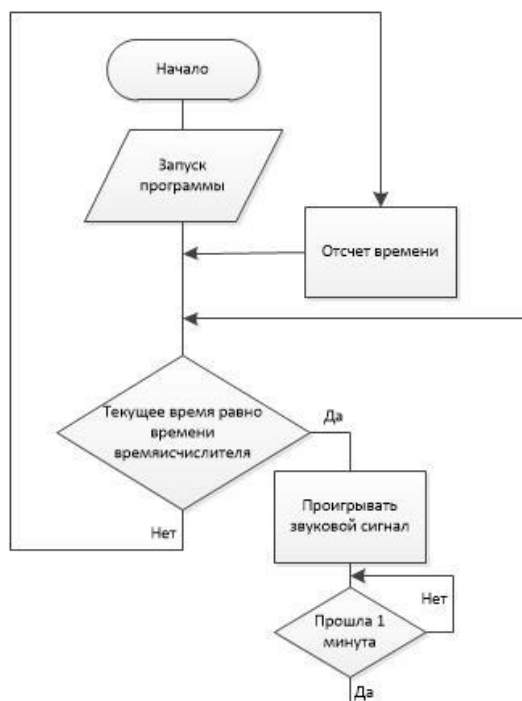


Рисунок 3 — Алгоритм работы устройства

Данный вариант устройства имеет ряд недостатков, среди них – микроконтроллер STM32F103C8T6 не имеет аппаратного ЦАП, в связи с чем приходится использовать внешний, что явно не так удобно, так же отсутствует аппаратная реализация интерфейса связи SDIO, в связи с чем приходится использовать готовый модуль SPI для работы с MicroSD картой. Наилучшим решением данных проблем является переход на микроконтроллер из серии STM32F103VE, у которого отсутствуют вышеописанные недостатки.

#### Литература

1. Статистика опозданий на работу по России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kp.ru/daily/26637/3656838/> (дата обращения 05.09.2021);
2. Торгаев С.Н., Тригуб М.В., Мусоров И.С., Чертихина Д.С. Практическое руководство по программированию STM-микроконтроллеров: учебное пособие – Томск: Издательство томского политехнического университета, 2015. 111 стр.

## РАЗРАБОТКА УМНОЙ АЦЕТОНОВОЙ БАНИ

С распространением технологий 3D печати, актуальным стал вопрос постобработки изделий с целью повышения их механических и эстетических качеств. Одним из самых распространённых материалов для 3D печати является ABS. Данный пластик возможно плавить, используя ацетон. Для корректного сплавления внешних слоев изделия, без риска его полного расплавления, необходимо обрабатывать изделие не непосредственно жидким ацетоном, а его насыщенными парами. В связи с тем, что пары ацетона токсичны и могут вызвать у человека отравление, обработку необходимо проводить в герметичной камере. Устройства подобного типа получили название ацетоновой бани.

Основными элементами устройства являются: плата Arduino Nano, датчика паров ацетона WSP2110, драйвера двигателей L298N (рис. 1а), двигателя постоянного тока, нагревательного элемента (рис. 1б).



Рисунок 1 — Датчик паров ацетона WSP2110 (а); Кипятильник (Нагревательный элемент) (б).

Устройство представляет из себя ванночку с нагревательным элементом, наполняемую ацетоном, размещенную в герметично закрываемом корпусе. Также в корпусе располагается датчик концентрации паров ацетона и вентилятор для равномерного распределения паров ацетона внутри корпуса. Управляющим элементом является плата Arduino nano с микроконтроллером Atmega 328p.

Нагревательный элемент состоит из кипятильника большой мощности, управляемого транзистором, с ваткой пропитываемой ацетоном. Такая система позволяет за короткий промежуток времени выпарить большое количество ацетона, который эффективно распределяется вентилятором. С помощью датчика паров контролируется необходимая концентрация ацетона.

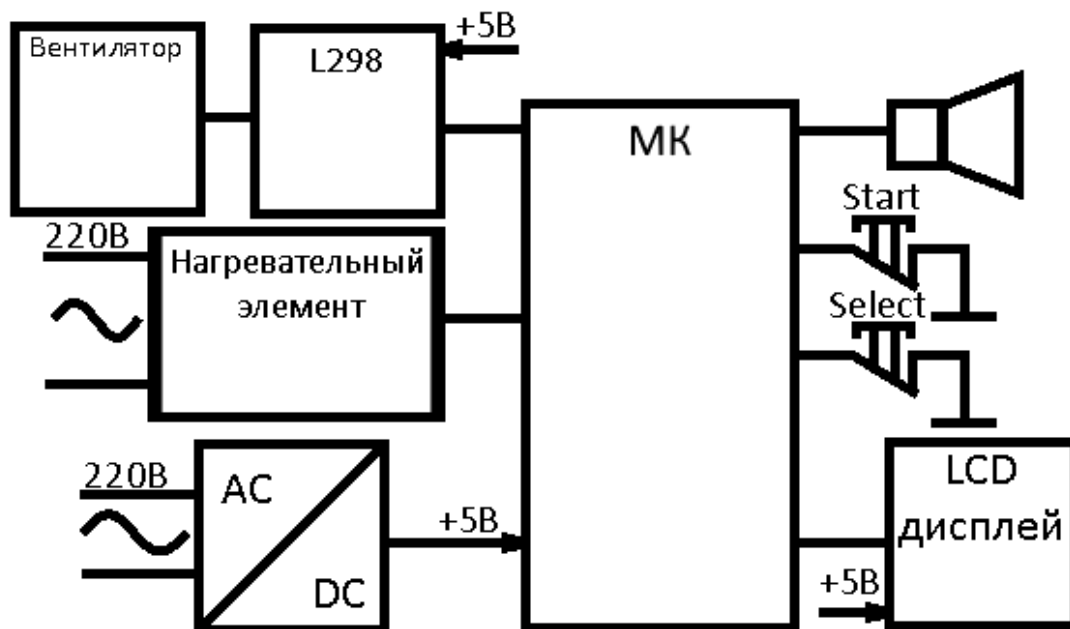


Рисунок 2 — Функциональная схема устройства

Работа устройства осуществлена в соответствии со разработанным алгоритмом (рис 3).

Сначала необходимо подключить блок питания к сети 220В. Заполнить ванночку ацетоном, поместить деталь в корпус.

При помощи кнопок управления необходимо ввести площадь поверхности детали. Удерживая кнопку “start”, пользователь переходит в режим ввода данных. Значения разрядов числа изменяются кнопкой “select”, последовательный выбор разрядов осуществляется нажатием кнопки “start”. Нажатие кнопки “start” после ввода значения младшего разряда приведет к подтверждению введенного значения площади поверхности детали.

Испарение ацетона осуществляется опущенным в ванночку с ацетоном кипятильником с помещенной в его спираль ватой. Датчик паров ацетона измеряет их концентрацию, для поддержания насыщенности пара, без образования на поверхности детали крупных капель ацетона. Достижение необходимой концентрации осуществляется включением и отключением кипятильника путём открытия и закрытия микроконтроллером транзистора. Вентилятор работает совместно с кипятильником и позволяет добиться равномерного распределения паров ацетона внутри корпуса.

По истечению 30 минут включается зуммер, сигнализирующий о готовности изделия. Необходимо достать деталь из бани, не закрывая корпус оставить помещение на проветривание. Изделие будет готово к использованию спустя час.

На данный момент идет подбор и заказ элементной базы, разработка герметичного корпуса устройства, проработка систем контроля концентрации паров ацетона.



Рисунок 3 — Алгоритм работы устройства

#### Литература

3. Ацетоновая баня для постобработки abs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lvprint.pp.ua/2019/02/05/acetonovaya-banya-dlya-postobrabotki-abs-3d-pechat/> (дата обращения 06.09.2021);
4. Плата Arduino Nano v 3.0: распиновка, схемы, драйвер [Электронный ресурс.] [URL: https://arduino-master.ru/platy-arduino/plata-arduino-nano/](https://arduino-master.ru/platy-arduino/plata-arduino-nano/) (Дата обращения 25.09.21).

*В.В. Волков, М.А. Филатов, студ.; Н.Н. Строев, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО “НИУ” МЭИ” в г. Смоленске)*

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ СОГЛАСОВАННОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ УСТРОЙСТВ СКАНИРУЮЩИХ СИСТЕМ

Принцип сканирования заключается в облучении сканируемого объекта сигналом и приемом прошедших через объект волн. В качестве излучателей в радиочастотных системах используют генераторы требуемого диапазона с антенными устройствами. В качестве приемников могут использоваться матричные приемники, построенные по принципу прямого преобразования энергии волн. Внешний вид приемного устройства представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 — Сканер, работающий в миллиметровом диапазоне частот

Для сканирования объектов необходимо создать электромеханическую систему позиционирования для синхронного перемещения приемной и излучающей аппаратуры вдоль сканируемого объекта. Есть несколько способов решения данной задачи.

Использование шарико-винтовой передачи (рис.2). Это линейный механический привод, который превращает вращательное усилие в линейное усилие с небольшими потерями из-за силы трения.



Рисунок 2 — Устройство шарико-винтовой передачи

Шарико-винтовая передача — это широко распространенное решение в области построения точных механических систем. Она отличается высокими точностью, КПД и ресурсом. Применение такого решения позволяет использовать двигатели меньшей мощности по сравнению с другими типами передач.

К минусам данного решения стоит отнести высокую чувствительность к загрязнению. Попадание инородного тела, независимо от его размера, может привести к заклиниванию передачи. Часто требуется дополнительная защита

элементов передачи различными гибкими конструкциями из гофро материалов. Эти недостатки могут сильно отразиться на качестве сканирования.

В случаях, когда вес нагрузки сравнительно мал, целесообразно использование ременной передачи. Вдоль оси перемещения нагрузки натягивается зубчатый ремень, фиксируемый зажимами. На вал двигателя устанавливается зубчатый шкив, приводящий ремень в движение. Для плотного обхвата шкива зубчатым ремнем используют натяжные ролики и прочие подобные приспособления.

Серьезным недостатком использования ремня является его свойство к растягиванию. Частично уменьшить растяжимость ремня помогает армирование его стальной или стекловолоконной нитью. С увеличением длины ремня растет и его способность растягиваться, а чем она выше, тем ниже точность перемещений нагрузки.

При перемещении нагрузки ремнем на высоких скоростях возможно возникновение явления резонанса. При перемещении нагрузки на низкой скорости этого явления можно избежать и таким образом радикально повысить точность перемещения из-за высокой плавности движения нагрузки.

В отличие от шарико-винтовой передачи, ременная не подвержена разрушающему воздействию от инородных тел, а также позволяет изменять степень натяжения ремня для более точной подгонки зазоров составных деталей.



Рисунок 3 — Устройство ременной передачи

Зубчатая рейка – вид механической передачи, преобразующий вращательное движение ведущей шестерни в поступательное. Используется на различных устройствах, где требуется высокая скорость перемещения. Устройство представлено на рисунке 4.

Зубчатая рейка, также, как и ременная передача, устойчива к воздействию инородных тел, но лишена недостатка растяжимости. Однако при установке толкающей шестерни непосредственно на вал двигателя передача лязгает и вибрирует, что в сочетании с резонансом двигателя может привести к серьезным искажениям результатов сканирования.

Чтобы этого избежать, между двигателем и рейкой можно установить ременной редуктор, выполняющий демпфирующую функцию, или использовать двигатель с планетарным редуктором. Тогда основную часть времени двигатель



будет работать на высоких скоростях вращения, где резонанс практически не проявляется.

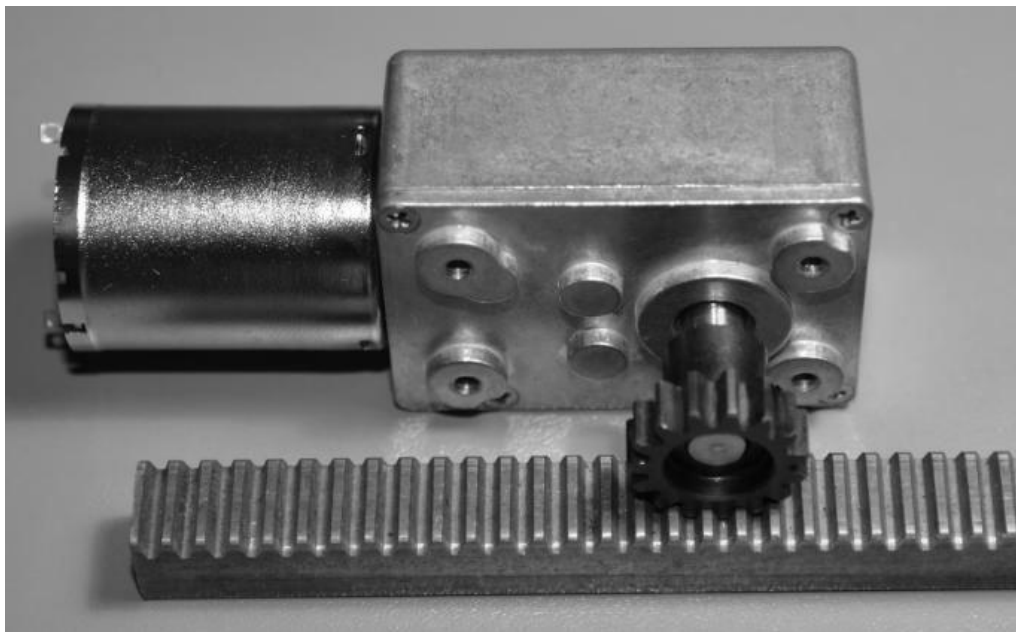


Рисунок 4 — Устройство зубчатой рейки

Оптимальным выбором для систем сканирования будет шарико-винтовая передача из-за высокой плавности и точности линейных перемещений, высокой нагрузочной способности, дающей возможность использовать сканирующее оборудование с высокими масса-габаритными характеристиками.

#### Литература

1. Продукция Terasense [Электронный ресурс.] URL: <https://terasense.com/products/sub-thz-imaging-cameras/> (Дата обращения 25.09.21)
2. Блинков Ю. В. Электромеханические системы // Учебное пособие Пензенского технологического института, 2001, С 204.

*В.В. Волков, М.А. Филатов, студ.; Н.Н. Строев, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПРИНЦИПЫ И АППАРАТУРА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Рассмотрен вопрос эффективности применения различных технических решений и конструктивных подходов при построении приемной аппаратуры с использованием радиотехнических систем ММ диапазона в сравнении с устройствами микроволнового излучения.

Основным отличием микроволн от низкочастотных радиоволн является то, что они их характер распространения отличается от поверхностных волн, которые повторяют контур Земли и не могут отражаться от ионосферы. Микроволны, принадлежащие нижнему концу диапазона, имеют возможность проходить сквозь стены зданий, сохраняя при этом достаточно большую мощность сигнала для приёма, но проблемой является то, что зачастую присутствует необходимость в обеспечении свободного пространства для ближней зоны приёма, в результате чего микроволновые каналы связи на

поверхности земли ограничиваются визуальным горизонтом, равном 48—64 км. Помимо этого, происходят поглощение микроволн влагой в атмосфере и увеличение затухания с увеличением частоты, что является серьезной проблемой при использовании микроволн из верхнего конца диапазона. На частотах свыше 40 ГГц начинается поглощение микроволн атмосферными газами, из-за чего передача на данных частотах ограничивается несколькими километрами, на определённых частотах появляются пики поглощения, вызванные спектральной структурой полосы. При работе с частотой выше 100 ГГц, атмосфера Земли поглощает столько электромагнитного излучения, что она фактически становится непрозрачной до тех пор, пока не станет снова прозрачной в диапазоне частот оптического и инфракрасного окон.

Микроволны лучше всего подходят для использования в связи типа точка-точка, это вызвано тем, что они, в отличие от радиоволн, легко фокусируются в более узкие лучи, что позволяет использовать их частоту повторно. Достоинством более высоких частот является широкая полоса пропускания и высокие скорости передачи данных, так же уменьшается размер антенны, по сравнению с антеннами низких частот, так как размер антенны обратно пропорционален передаваемой частоте. Основной объем информационных потоков мира передается при помощи микроволн путем сообщения между собой наземных станций и спутников связи. При помощи волн этого диапазона осуществляется телевизионная, телефонная, радио связь, а также микроволны используются в микроволновых печах и в радиолокационной технике.

При разработке устройств терагерцового диапазона приходится сталкиваться с рядом проблем необходимых к решению, таких как: преобразование крайне высоких частот, выбор подходящей под нужды решаемой задачи элементной базы, развить до необходимого уровня существующие, но неподходящие технические решения.

Существуют следующие виды приёмных устройств: гомодинные и супергетеродинные. Гомодинные приёмники, или радиоприёмники прямого преобразования, - радиоприёмники, в которых сигнал непосредственно преобразуется в сигнал звуковой частоты с помощью маломощного генератора, частота которого равна или кратна частоте принимаемого сигнала. К ним относят тепловые детекторы различных типов, такие как пироэлектрические элементы, ячейки Голя, болометры и т.д. Основным недостатком, ограничивающим применение данных приёмников в составе приёмных устройств, является их инерционность, так же для работы чувствительных устройств необходимо обеспечивать соответствующий температурный режим, нередко доходящий до криогенных температур.

Супергетеродинный приёмник основан на принципе преобразования принимаемого сигнала в сигнал фиксированной промежуточной частоты с последующим её усилением. Основным преимуществом супергетеродина перед гомодинным приёмником является то, что наиболее критичные для качества приёма части приёмного тракта не должны перестраиваться по частоте, что

позволяет изготовить их со значительно лучшими характеристиками. Получаемый сигнал более низкой частоты содержит в себе две информационные составляющие – амплитудную и фазовую, которые и выделяются при дальнейшей обработке. Представителями класса супергетерогинных приёмников являются, например, смеситель Шоттки и болометр на горячих электронах, однако сложность структуры и конструктивного исполнения данных приёмников приводят к их высокой стоимости.

Устройства терагерцового диапазона находят применение в таких областях как радиоастрономия, телекоммуникация и удаленное обеспечение безопасности. Терагерцовые волны идеально подходят для неразрушающего контроля и для рентгеновских сканеров персонального досмотра. Для неразрушающего контроля подходят такие материалы как дерево, пластик, сублиматы, бумага и многие другие. Помимо этого, терагерцовые волны обладают рядом полезных свойств: многие диэлектрические материалы являются прозрачными для них прозрачными, погрешность обнаружения является приемлемой для промышленного применения и составляет от 1 до 3 мм, так же немаловажным достоинством источников и приемников терагерцовых волн является их доступная цена, что повышает популярность устройств данного диапазона.

На основе новейших научных разработок компанией TeraSense был разработан ряд устройств [1]. В основе технологий TeraSense лежат результаты долгосрочных фундаментальных исследований, проведенных в области плазмоники, демонстрирующих всплеск исследований в течение последних нескольких десятилетий. Концепция плазмоники уже нашла множество применений для устройств, работающих в оптической части спектра. Однако недавний прогресс в области чистоты полупроводниковых наноструктур AlGaAs/GaAs (рис. 1) позволил адаптировать плазмонные концепции из оптической области спектра к микроволновым и терагерцовым (ТГц) диапазонам [2].

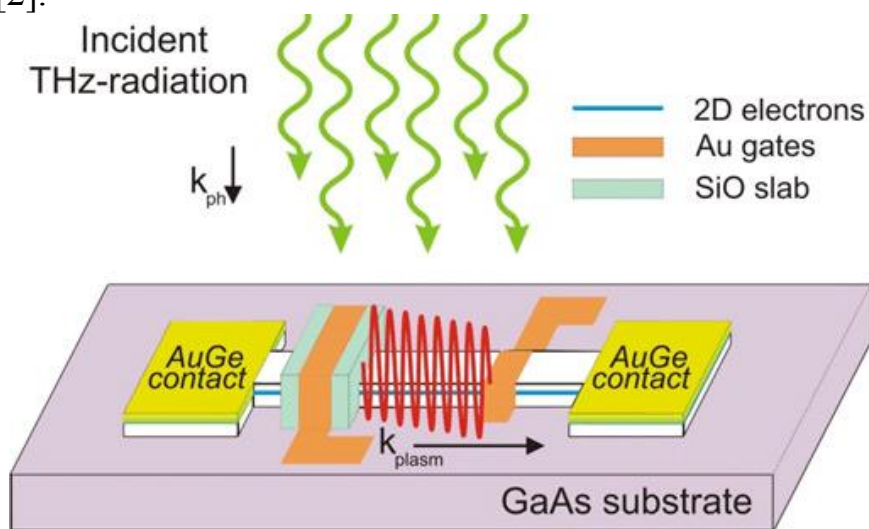


Рисунок 1 — полупроводниковая структура GaAs

Камеры TeraSense (рис. 2) изготовлены использованием полупроводниковой гетероструктуры GaAs в стандартном полупроводниковом цикле с использованием обычной оптической литографии. Датчик изображения изготовлен на одной пластине, что обеспечивает высокую однородность и воспроизводимость параметров плазмонного детектора (чувствительность к отклонению от пикселя к пикселю находится в пределах 20-процентного диапазона).



Рисунок 2 — Tera-256

#### Литература

5. Продукция Terasense [Электронный ресурс.] URL: <https://terasense.com/products/sub-thz-imaging-cameras/> (Дата обращения 26.09.22)
6. Строев Н.Н. Подходы к построению систем освещения средств технического зрения с использованием радиовидения миллиметрового диапазона. // Сборник трудов VI Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации — 2016». Смоленск: Издательство «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, 2016. Т.2, С. 196-201.

*С.Н. Глинков, маг.; М.А. Амелина, к. т. н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **СРАВНЕНИЕ ОЧЕРЕДЕЙ ПАМЯТИ FIFO С РАЗЛИЧНЫМИ ИНТЕРФЕЙСАМИ НА ПЛИС ФИРМЫ XILINX**

Очередь памяти *FIFO* (англ. *first-in, first-out*, первым зашёл, первым вышел) – память, организованная по принципу очереди, когда данные вычитываются в том порядке, в котором они были записаны. Данный принцип записи и чтения может использоваться для создания промежуточного буфера, повышающего надёжность работы и позволяющего накапливать данные.

В ходе проектирования на ПЛИС часто приходится создавать алгоритмы, обеспечивающие возможность накапливать записываемые данные, а затем вычитывать их. Поэтому программное обеспечение многих производителей

ПЛИС, используемое в ходе проектирования, позволяет синтезировать готовые модули *FIFO*, которые можно предварительно конфигурировать.

Ядро *LogiCORE IP FIFO Generator v9.3*, разработанное фирмой *Xilinx*, позволяет создавать оптимизированные очереди памяти *FIFO* при использовании минимального числа ресурсов [2]. При синтезе ядра имеются широкие возможности настройки, например, указание разрядности данных, размера и типа памяти, определение флагов состояния и многие другие.

Ядро *FIFO Generator* поддерживает два вида интерфейсов: собственный интерфейс *FIFO (Native interface FIFOs)* и интерфейс *AXI4*.

Собственный интерфейс *FIFO* включает оригинальные функции *FIFO*, включённые в предыдущие версии *FIFO Generator*. *FIFO* с собственным интерфейсом наиболее оптимизированы для создания буфера данных, преобразования разрядности данных, перевода данных с одной тактовой частоты на другую.

Собственный интерфейс *FIFO* включает в себя канал записи и канал чтения, которые могут иметь независимые сигналы тактирования, а также сигнал общего сброса (*RST*) (рис. 1). При независимых сигналах тактирования канал записи состоит из сигнала тактирования записи (*WR\_CLK*), входных записываемых данных (*DIN*), сигнала разрешения записи (*WR\_EN*), флага заполненности *FIFO* (*FULL*), а также ряда других необязательных сигналов и флагов. Канал чтения состоит из сигнала сброса чтения (*RD\_RST*), сигнала тактирования чтения (*RD\_CLK*), выходных вычитываемых данных (*DOU*), сигнала разрешения чтения (*RD\_EN*), флага опустошённости *FIFO* (*EMPTY*) и других опциональных сигналов и флагов.

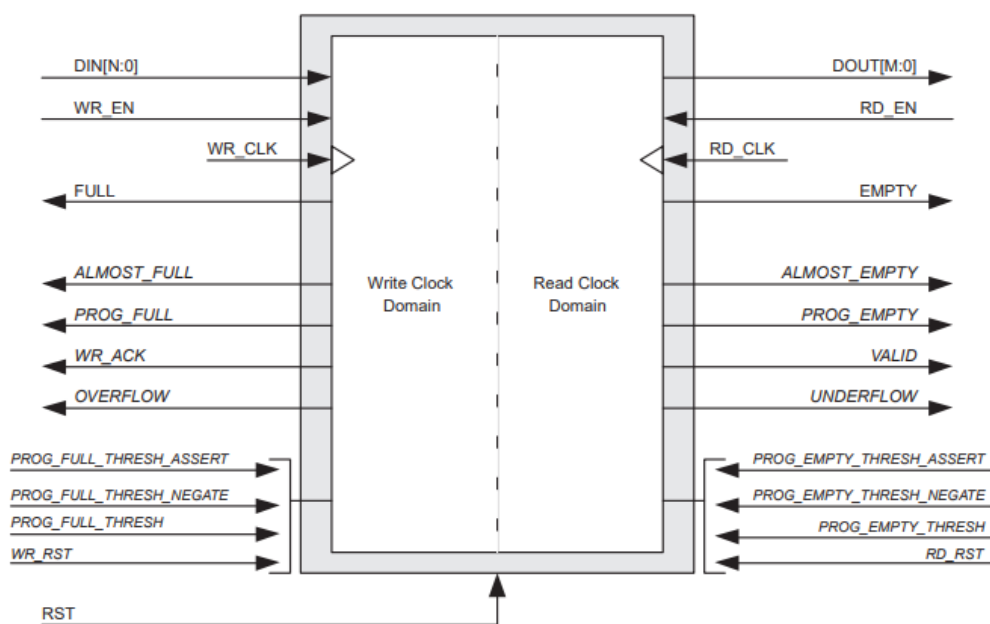


Рисунок 1 – Собственный интерфейс *FIFO* при независимых сигналах тактирования записи и чтения

Интерфейс *AXI4* создан на основе собственного интерфейса *FIFO*. Доступны три вида интерфейса *AXI4*: *AXI4-Stream*, *AXI4* и *AXI4-Lite* [1]. Данный

интерфейс может быть использован при необходимости подключения к шине AXI. Протокол AXI4 использует двухсторонний механизм подтверждения передачи данных на основе отношений ведущего (*Master*) и ведомого (*Slave*) (рис. 2). Сигнал *VALID* управляется ведущим и показывает, что у него имеются данные, подлежащие передаче (выводы *DIN* или *DOUT*). Сигнал *READY* управляется ведомым и показывает, что он готов принять данные.

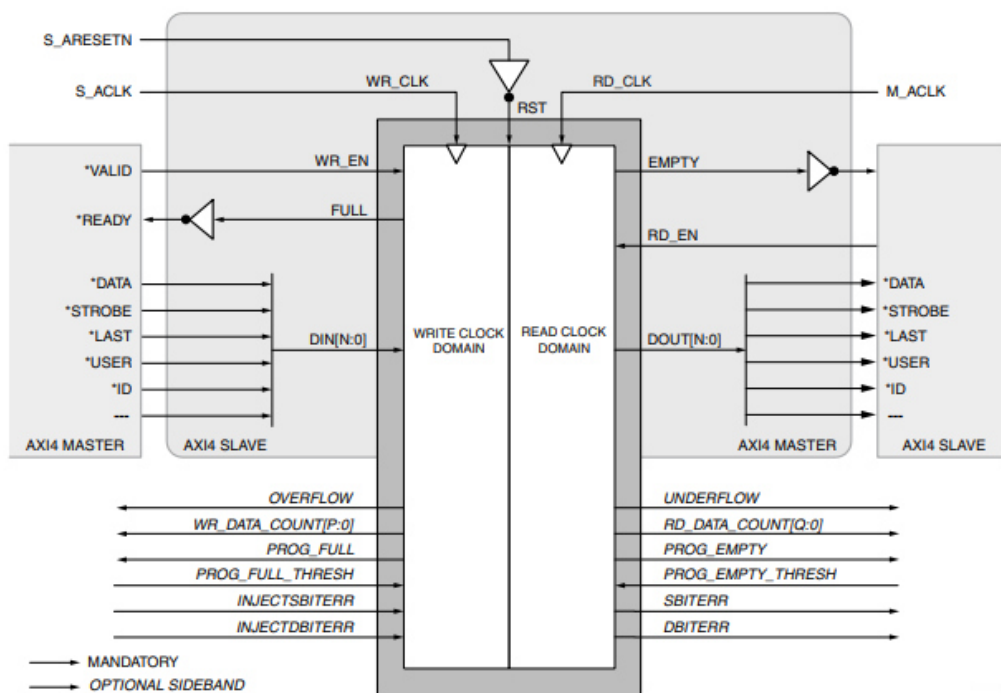


Рисунок 2 – Интерфейс AXI4 в FIFO

Сравнивая описанные выше интерфейсы, можно заметить, что интерфейс AXI4 является более сложным, так как он имеет большее число каналов и собственный протокол передачи данных, что, однако, повышает надёжность передачи.

Выделим основные отличия FIFO при конфигурации с собственным интерфейсом и с интерфейсом AXI4 (табл.1).

Таблица 1 – Сравнение FIFO с различными интерфейсами

| Конфигурируемый параметр FIFO                   | Возможные значения                   |                  |
|---|--------------------------------------|------------------|
|   | Собственный интерфейс                | Интерфейс AXI4   |
| Разрядность данных                              | от 1 до 1024 бит                     | от 1 до 4096 бит |
| Отношение разрядности входных и выходных данных | 1:8; 1:4; 1:2; 1:1;<br>2:1; 4:1; 8:1 | 1:1              |
| Тип сброса                                      | Синхронный или асинхронный           | Асинхронный      |

|              |  |   |
|--------------|--|---|
| Тип памяти   | Блочная память;<br>распределённая память;<br>на сдвиговых регистрах;<br>на встроенном FIFO                             | Блочная или распределённая<br>память  |
| Режим чтения | Стандартный<br>(вычитывание происходит<br>только при сигнале<br>разрешения чтения)<br>или с пропуском первого<br>слова | С пропуском первого слова<br>(англ. <i>first-word fall-through</i> ,<br><i>FWFT</i> )<br>(первое доступное слово данных<br>вычитывается без сигнала<br>разрешения чтения) |

Таким образом, интерфейс *AXI4* по сравнению с собственным интерфейсом *FIFO* является более сложным, но его использование позволяет повысить надёжность записи и чтения, а также подключать *FIFO* к шине *AXI*. Использование собственного интерфейса *FIFO* упрощает передачу данных, допускает различную разрядность входных и выходных данных, позволяет использовать синхронный сброс, а также различные режимы чтения данных. В конечном итоге, выбор интерфейса очереди памяти *FIFO* должен производиться на основе его планируемого алгоритма работы и необходимых параметров.

#### Литература

1. AXI Reference Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.xilinx.com/support/documentation/ip\\_documentation/ug761\\_axi\\_reference\\_guide.pdf](https://www.xilinx.com/support/documentation/ip_documentation/ug761_axi_reference_guide.pdf) (дата обращения 20.09.2021).
2. LogiCORE IP FIFO Generator v9.3 Product Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.xilinx.com/support/documentation/ip\\_documentation/fifo\\_generator/v9\\_3/pg057-fifo-generator.pdf](https://www.xilinx.com/support/documentation/ip_documentation/fifo_generator/v9_3/pg057-fifo-generator.pdf) (дата обращения 20.09.2021).

*С.Н. Глинков, маг.; М.А. Амелина, к. т. н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## СРАВНЕНИЕ АРХИТЕКТУР ПОСТРОЕНИЯ АЛГОРИТМА БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ НА ПЛИС ФИРМЫ XILINX

Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) используются для решения широкого спектра задач цифровой обработки сигналов. Довольно часто в этой сфере появляется необходимость провести быстрое преобразование Фурье (БПФ) над каким-либо сигналом [1]. Именно поэтому многие производители ПЛИС предлагают уже готовые настраиваемые модули, реализующие алгоритм БПФ.

Одним из таких модулей (*IP-ядер*) является ядро *LogiCORE IP Fast Fourier Transform v7.1*, предлагаемое фирмой *Xilinx* [2]. Данное ядро имеет обширные возможности настройки, что позволяет создать ядро с нужной конфигурацией.

Одним из основных выборов при создании ядра является выбор архитектуры построения алгоритма БПФ. Доступны четыре варианта архитектур, отличающиеся быстродействием и количеством используемых ресурсов ПЛИС.

Архитектура *The Pipelined, Streaming I/O* (конвейерный потоковый ввод-вывод) позволяет использовать несколько процессов вычисления

«бабочки», что обеспечивает непрерывную обработку данных. Данная архитектура является наиболее быстродействующей, но вместе с тем и самой ресурсоёмкой.

Архитектура *Radix-4, Burst I/O* (пакетный ввод-вывод с основанием четыре) использует один процесс вычисления «бабочки» по основанию четыре и не позволяет обеспечивать непрерывную обработку, так как загрузка данных и их обработка происходит отдельно, однако при этом требуется меньше ресурсов.

Архитектура *Radix-2, Burst I/O* (пакетный ввод-вывод с основанием два) использует один процесс вычисления «бабочки» по основанию два и позволяет использовать еще меньше ресурсов, однако при этом время преобразования увеличивается.

Архитектура *Radix-2 Lite, Burst I/O* («облегченный» пакетный ввод-вывод с основанием два) использует один общий сумматор/вычитатель при вычислении «бабочки». Данная архитектура является наименее ресурсоёмкой, однако имеет самое большое время преобразования.

Для качественного сравнения различных архитектур сведём в одну таблицу сведения об используемых ресурсах и быстродействии всех архитектур (табл. 1). Данные показатели приведены для ПЛИС серии *Viretx-6* кристалла *XC6VLX75T* при конфигурации одноканального ядра с 32-разрядными входными данными и 24-разрядными выходными.

Таблица 1 – Показатели производительности и использования ресурсов ядра БПФ

| Архитектура                         | Размерность БПФ | Количество ячеек <i>LUT</i> | Количество ячеек <i>XtremeDSP</i> | Максимальная частота, МГц | Длительность преобразования, тактов |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| <i>The Pipelined, Streaming I/O</i> | 256             | 3361                        | 46                                | 395                       | 885                                 |
| <i>Radix-4, Burst I/O</i>           |                 | 3098                        | 40                                | 395                       | 1411                                |
| <i>Radix-2, Burst I/O</i>           |                 | 1912                        | 12                                | 395                       | 2225                                |
| <i>Radix-2 Lite, Burst I/O</i>      |                 | 1781                        | 6                                 | 395                       | 3169                                |
| <i>The Pipelined, Streaming I/O</i> | 1024            | 4146                        | 66                                | 395                       | 3209                                |
| <i>Radix-4, Burst I/O</i>           |                 | 3227                        | 40                                | 395                       | 5529                                |
| <i>Radix-2, Burst I/O</i>           |                 | 1987                        | 12                                | 395                       | 9427                                |
| <i>Radix-2 Lite, Burst I/O</i>      |                 | 1843                        | 6                                 | 395                       | 14441                               |
| <i>The Pipelined, Streaming I/O</i> | 4096            | 4963                        | 86                                | 366                       | 12445                               |
| <i>Radix-4, Burst I/O</i>           |                 | 3312                        | 40                                | 395                       | 22703                               |
| <i>Radix-2, Burst I/O</i>           |                 | 2033                        | 12                                | 395                       | 41205                               |
| <i>Radix-2 Lite, Burst I/O</i>      |                 | 1893                        | 6                                 | 395                       | 65649                               |



На основании данных из таблицы построим график зависимости длительности преобразования от количества используемых ячеек *LUT* для различных архитектур и различной размерности БПФ (рис. 1).

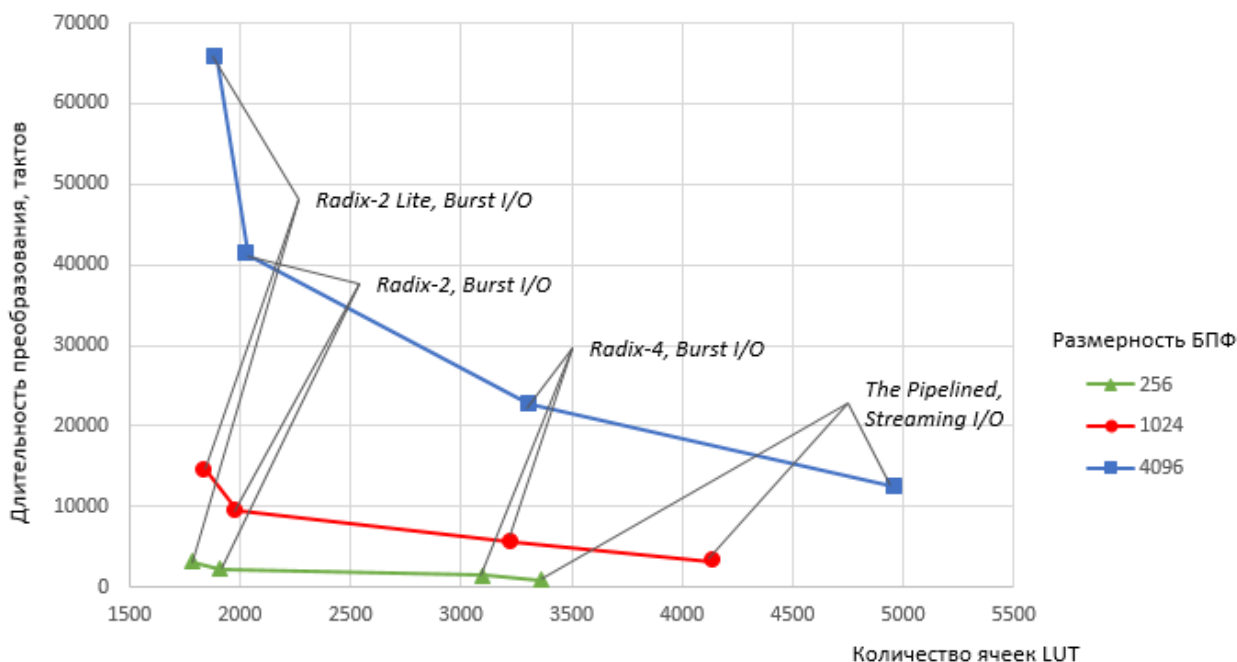


Рисунок 1 – График зависимости длительности преобразования от количества используемых ячеек *LUT*

Выбор быстродействующих архитектур является наиболее рациональным решением, особенно при большой размерности БПФ. Так, при переходе от архитектуры *Radix-2, Burst I/O* к архитектуре *Radix-4, Burst I/O* или от архитектуры *Radix-4, Burst I/O* к архитектуре *The Pipelined, Streaming I/O* для размерности БПФ 4096 количество ячеек *LUT* увеличивается в 1,5 раза, а длительность преобразования уменьшается практически в два раза. Однако при ограниченности ресурсов необходимо выбирать архитектуру, способную уложиться в нужное число ресурсов. Также необходимо обращать внимание на максимальную частоту тактирования ядра, которая с повышением сложности архитектуры и увеличением размерности БПФ снижается.

При анализе графиков стоит обратить внимание на наименее ресурсоёмкую архитектуру *Radix-2 Lite, Burst I/O*. При переходе к данной архитектуре от архитектуры *Radix-2, Burst I/O* незначительное уменьшение количества ячеек *LUT* (около 10 %) приводит к увеличению длительности преобразования в 1,5 раза, что делает выбор этой архитектуры оптимальным только в случае ограниченности ресурсов и отсутствии или минимальности требований длительности преобразования.

Таким образом, при выборе оптимальной архитектуры построения БПФ необходимо ориентироваться на количество свободных ресурсов, а также на требования длительности преобразования. Наиболее сложные архитектуры имеют высокое быстродействие, однако требуют большого количества ресурсов,

наиболее простые архитектуры отличаются малой ресурсоёмкостью, но при этом имеют продолжительное время преобразования.

#### Литература

1. Вадутов О. С. Математические основы обработки сигналов : учеб. пособие / О. С. Вадутов. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 212 с.
2. Fast Fourier Transform v7.1 LogiCORE IP Product Specification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.xilinx.com/support/documentation/ip\\_documentation/xfft\\_ds260.pdf](https://www.xilinx.com/support/documentation/ip_documentation/xfft_ds260.pdf) (дата обращения 15.09.2021).

*С.Н. Глинков, маг.; М.А. Амелина, к. т. н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА AXI4 В ПЛИС ФИРМЫ XILINX

Шина *AXI* (*Advanced eXtensible Interface*) – часть семейства микроконтроллерных шин *AMBA*, впервые представленных *ARM* в 1996 году. *AXI* является параллельным высокоскоростным синхронным высокочастотным интерфейсом [1]. В 2010 году были утверждены три вида интерфейса: *AXI4*, *AXI4-Lite* и *AXI4-Stream*.

*AXI4* – это интерфейс с передачей адресов, позволяющий отправлять пакеты длиной до 256 слов. Интерфейс *AXI4-Lite* является упрощённой версией *AXI4*, а интерфейс *AXI4-Stream* отличается от *AXI4* тем, что не использует адреса для записи и чтения, что обеспечивает неограниченную длину передаваемого пакета. Эти интерфейсы были приняты фирмой *Xilinx* как основные коммуникационные шины в выпускаемых ею ПЛИС.

Протокол *AXI4* основан на пакетной передаче данных между ведущим (*Master*) и ведомым (*Slave*) и определяет пять независимых каналов обмена.

Канал записи адреса (*write address channel*) и канал чтения адреса (*read address channel*) несут адресную и управляющую информацию, которая описывает характер передаваемых данных.

Канал записи данных (*write data channel*) используется для передачи данных от ведущего к ведомому. При записи данных ведомый использует канал отклика на запись (*write response channel*), чтобы сообщить о завершении передачи ведущему.

Канал чтения данных (*read data channel*) используется для передачи данных от ведомого к ведущему, а также отклика на чтение и включает в себя шину данных (с настраиваемой разрядностью 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 или 1024 бита) и сигнал отклика на чтение, указывающий на статус завершения транзакции чтения.

Операция чтения состоит из двух этапов. На первом этапе ведомый получает нужный адрес и управляющую информацию от ведущего по каналу чтения адреса. На втором этапе ведомый отправляет данные в соответствии с принятым адресом и отклик на чтение ведущему по каналу чтения данных (рис. 1).



Рисунок 1 – Операция чтения

Операция записи устроена несколько сложнее. Вначале ведомый получает адрес, по которому будет производиться запись, и управляющую информацию от ведущего по каналу записи адреса. Затем ведомый получает записываемые данные от ведущего по каналу записи данных. Наконец, в качестве ответа на операцию записи ведомый отправляет ведущему информацию о статусе завершения операции записи по каналу отклика на запись (рис. 2).

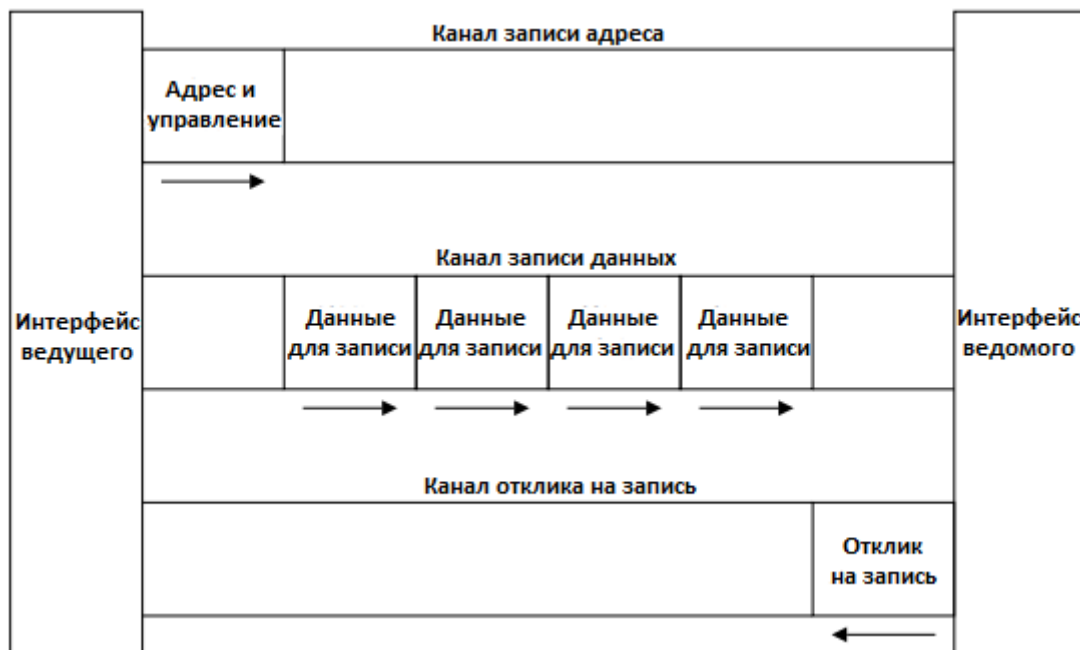


Рисунок 2 – Операция записи

Все пять каналов обмена используют двухсторонний механизм подтверждения передачи данных. Ведущий управляет сигналом *VALID*, который показывает, что у него имеются данные, подлежащие передаче. Ведомый управляет сигналом *READY*, который показывает, что он готов принять данные (рис. 3).

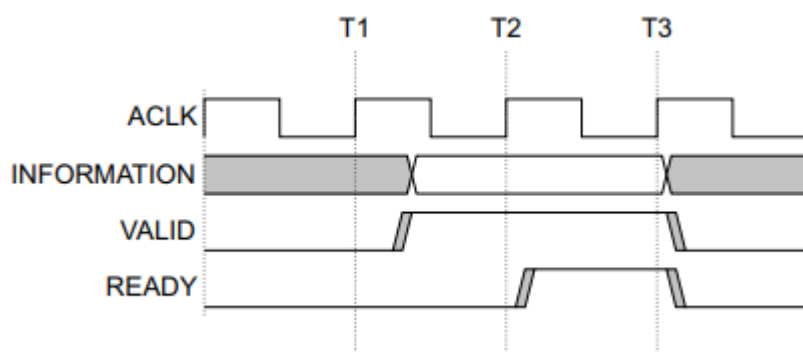


Рисунок 3 – Пример передачи одного слова данных между ведущим и ведомым

Передача по шине данных *INFORMATION* происходит по переднему фронту тактового сигнала *ACLK* только в том случае, когда одновременно установлены сигналы *VALID* и *READY*, то есть когда у ведущего имеются данные для передачи, а ведомый готов принять эти данные. Такой механизм передачи позволяет как ведущему, так и ведомому контролировать скорость, с которой передаются данные, а также повысить корректность передачи.

Протокол *AXI4* используется в реализации множества *IP*-ядер фирмы *Xilinx*, где требуется высокоскоростная и надёжная передача данных. Такой подход позволяет стандартизировать механизм обмена между разными модулями. А предлагаемое *IP*-ядро *LogiCORE IP AXI Interconnect* даёт возможность связывать несколько ведущих и несколько ведомых по одной общей шине *AXI* [2].

Таким образом, использование интерфейса *AXI4* при проектировании на ПЛИС даёт возможность унифицировать передачу данных и повысить её надёжность, а готовые *IP*-ядра со встроенным интерфейсом *AXI4* позволяют проектировщику подключать их к общей шине *AXI* без дополнительных трудностей.

#### Литература

1. AMBA AXI and ACE Protocol Specification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.gstitt.ece.ufl.edu/courses/fall15/eel4720\\_5721/labs/refs/AXI4\\_specification.pdf](http://www.gstitt.ece.ufl.edu/courses/fall15/eel4720_5721/labs/refs/AXI4_specification.pdf) (дата обращения 22.09.2021).
2. AXI Interconnect (v1.06.a) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.xilinx.com/support/documentation/ip\\_documentation/axi\\_interconnect/v1\\_06\\_a/ds768\\_axi\\_interconnect.pdf](https://www.xilinx.com/support/documentation/ip_documentation/axi_interconnect/v1_06_a/ds768_axi_interconnect.pdf) (дата обращения 22.09.2021).

*Ю.С. Гращенкова, студ.; В.А. Смолин, к.т.н., ст. преп.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## СРАВНЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ СОБСТВЕННОЙ РАЗРАБОТКИ С МОДУЛЯМИ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В настоящее время цифровая электроника развивается стремительными темпами вследствие того, что цифровые устройства нашли себе повсеместное применение, как в простейших бытовых целях, так и в сложных системах управления. Одним из наиболее часто применяемых цифровых устройств является микроконтроллер (рис. 1) (микропроцессорное устройство), без которого невозможно представить проектирование какого-либо современного электронного устройства [1, с.11].

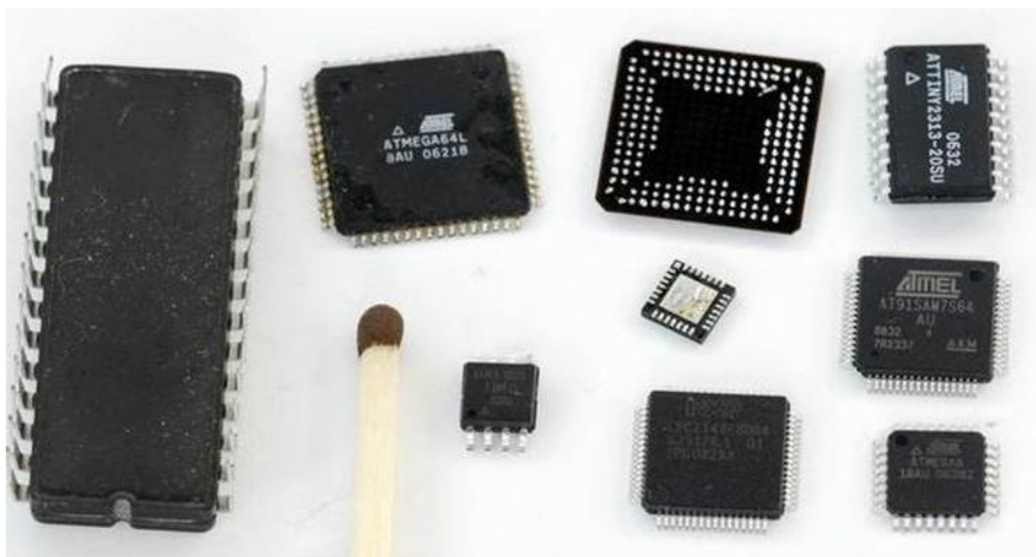


Рисунок 1 — Виды микроконтроллеров

Микропроцессорные устройства заслужили свое доверие за счёт предоставления требуемой гибкости разработки. Процесс разработки сейчас как для начинающего, так и для опытного инженера, представляет собой сборку конструктора, так как с каждым годом появляется все больше типовых решений для реализации того или иного функционала устройства. По сути после получения технического задания на разработку устройства инженер сразу начинает собирать различный материал типовых решений, а уже после этого смотрит на требуемые вычислительные мощности, количества портов-ввода вывода, имеющуюся периферию и т.д., ведь типовые решения практически никогда не зависят от используемой архитектуры микропроцессорных устройств. Кроме того, разработка устройств на микроконтроллерах является относительно дешевой в сравнении с какими-либо электронными и цифровыми модулями промышленного назначения, что лишний раз подчеркивает данный метод разработки промышленных устройств на основе микропроцессорных устройств.

Однако при разработке достаточно больших и масштабных промышленных электронных систем разработка каждого из отдельно взятых устройств на микроконтроллере представляется сложной с точки зрения трудоёмкости и трудозатрат, а также нецелесообразной с точки зрения расходуемого времени. С таким подходом в условиях текущей цифровой индустриализации и стремительно развивающейся рыночной экономикой можно потерять конкурентные места и рынок сбыта продукции. Вследствие этого большой класс инженеров при разработке использует готовые модули промышленной автоматизации.

Также следует учитывать, что политическая и экономическая ситуация, складывающаяся в последнее время, ставит всевозможные барьеры для разработчика устройств на основе собственных технических решений и микропроцессоров. Связано это с импортной природой микропроцессоров, вследствие этого у большинства Российских предприятий появляются

сложности с закупкой данного оборудования как юридическому лицу, а также практическая сложность пройти сертификацию продукции.

Альтернативным и практичным решением при разработке относительно не сложных промышленных систем является использование контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации для различных отраслей промышленности. Например, компания ОВЕН, которая является одним из ведущих российских разработчиков и производителей промышленных модулей (рис. 2), среди которых можно выделить:

- всевозможные измерители-регуляторы, таймеры, счётчики и т.д.;
- программируемые контроллеры и реле, модули ввода/вывода, панели оператора, индикаторы и т.д.;
- специализированные контроллеры для отопления и ГВС, управления насосами, пищевых производств, телемеханики и учета энергоресурсов;
- датчики температуры, давления, уровня, влажности, загазованности;
- сетевые коммутаторы, модемы, преобразователи интерфейсов;
- преобразователи частоты, регуляторы мощности, блоки питания;
- облачный сервис OwenCloud – для удаленного управления приборами.

Данная продукция распространяется с подробной технической документацией и согласно техническим условиям, которые очень удобно с точки зрения разработчика российской продукции использовать в качестве подтверждения сертифицированности разрабатываемой продукции в целом. Также несомненным достоинством является ориентированность данных модулей на сборку в условиях промышленности: практически каждый разрабатываемый модуль имеет настенное исполнение. Данный факт позволяет выбрать необходимые для обеспечения должного функционала системы модули, разработать под них электрошкаф, собрать его вместе с модулями и осуществить их электрический монтаж.

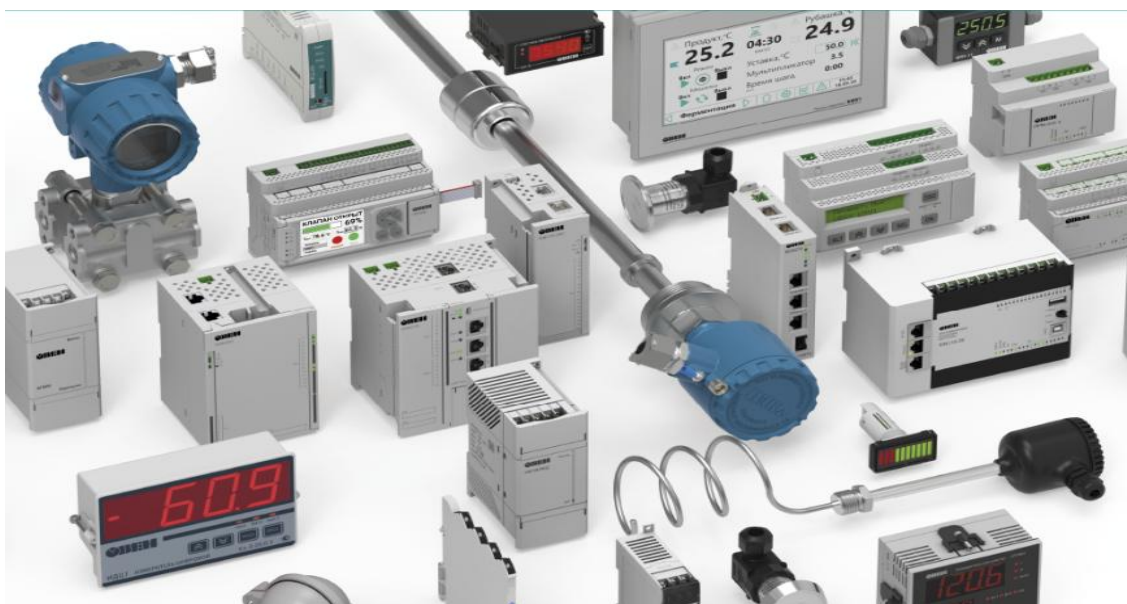


Рисунок 2 — Виды промышленного оборудования ОВЕН



Тем не менее у данного подхода есть и свои подводные камни. Например, отсутствие гибкости используемых модулей промышленного назначения, у которых отсутствует возможность собственной доработки модуля. Также зачастую большая часть предоставляемого функционала модуля не требуется. Но тем не менее разработчикам систем приходится мириться с этим фактом и намеренно переплачивать за разработку устройства. Также немаловажным фактом является использование модулей с установленной разработчиком модуля частотой работы. Так подходящий полностью по техническим характеристикам и относительной себестоимости модуль может обладать низкой частотой опроса канала (при работе с датчиками), плохими показателями цифровой фильтрации сигнала с датчика или же относительно плохими динамическими параметрами регулирования автоматизированным процессом.

Сравнение микропроцессорных устройств собственной разработки с модулями промышленной электроники на практике было проведено совместно с инженерами предприятия АО «СмАЗ» при разработке цифровой системы управления индукционного пароперегревателя ИПП-202. Конструкторами были реализованы системы управления с применением каждого из подходов к выбору электронно-компонентной базы. Отдельно были выделены следующие моменты разработки:

1. Цифровая система управления индукционного пароперегревателя, реализованная с применением микропроцессорных устройств собственной разработки, обладала намного большим функционалом, а совокупные расходы на используемые модули практически в 2 раза были меньше расходов на модули ОВЕН. Тем не менее относительно сжатые сроки разработки стали тем фактором, который не позволил конструкторам довести разрабатываемое устройство до презентабельного «продажного» вида. Также рабочими, осуществляющими окончательную сборку электрошкафа управления, была отмечена чрезмерная сложность электромонтажа вследствие использования большого количества жгутов, соединяющих цифровые модули между собой.

Кроме того, многие цифровые модули затруднительно закупить из-за невозможности покупки компонентов предприятием, как частному лицу (в частности закупка необходимых плат расширения через платформу Aliexpress).

2. Цифровая система управления индукционного пароперегревателя, реализованная с применением модулей промышленного назначения, была разработана в сравнительно малые сроки, имела более приятный внутренний вид электрошкафа управления, а в процессе реального производства серийных образцов не возникало чрезмерных трудностей у специалистов, осуществляющих покупку комплектующих, и рабочих, осуществляющих окончательную сборку электрошкафа с электромонтажом. Тем не менее в данной системе отсутствовала возможность беспроводного управления с внешнего пульта, все элементы управления находились непосредственно на лицевой панели электрошкафа.

По результатам практического сравнения микропроцессорных устройств собственной разработки с модулями промышленной электроники составим

сводную таблицу преимуществ и недостатков каждого из видов цифровых модулей (табл. 1).

Таблица 1 — Сравнительная характеристика цифровых модулей

| Параметр                           | Микропроцессорные устройства | Оборудование ОВЕН |
|------------------------------------|------------------------------|-------------------|
| Гибкость разработки                | +                            | –                 |
| Ряд готовых технических решений    | +                            | –                 |
| Относительная себестоимость        | +                            | –                 |
| Время разработки и трудоёмкость    | –                            | +                 |
| Сертификация выпускаемой продукции | –                            | +                 |
| Настенное исполнение               | –                            | +                 |

Таким образом, выбор технической базы для разрабатываемой системы является достаточно сложным. При его осуществлении следует руководствоваться многими факторами, такими как предоставляемые сроки на разработку, возможную гибкость используемых электронных и цифровых модулей промышленного назначения, варианты исполнения и оформления и т.д.

#### Литература

1. Мартин Т. Микроконтроллеры Atmega. Семейство микроконтроллеров AVR. Вводный курс. – М.: изд. Додэка-XXI, 2010. – 296 с.
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632с., ил.
3. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. — М.: Техносфера, 2016. — 323 с: ил.

*Ю.С. Гращенкова, студ.; В.А. Смолин, к.т.н., ст. преп.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ВЫТЯЖКИ ДЛЯ КУХНИ**

В процессе тепловой обработки продуктов на кухне образуется большое количество загрязняющих воздух веществ и соединений: дым, продукты сгорания, испарения, запахи и нежелательные примеси. Данные элементы имеют способность накопления в объёме кухни, что может привести как к плесени, к формированию устойчивого неприятного запаха и т.п. Для устранения этих элементов в процессе готовки незаменимым устройством очищения воздуха является кухонная вытяжка (рис. 1).

Несмотря на достаточно обширный функционал современных вытяжек у них не имеется полностью автоматизированной системы для обеспечения полной встраиваемости в кухонные шкафы. Данный факт позволил бы избавиться от обязательного размещения кнопок и сенсоров на рабочей панели, которое выглядит не всегда красиво, что может нарушать эргономику кухни в целом.

Автоматизировать работу кухонной вытяжки можно с использованием внешней системы управления, представляющей из себя микропроцессорное



устройство на базе микроконтроллера и двух цифровых датчиков: относительной влажности на кухне (для определения момента начала готовки и необходимой интенсивности всасывания воздуха) и освещенности (для включения локального освещения при отсутствии достаточной освещенности на кухне при работающей вытяжке).



Рисунок 1 — Кухонная вытяжка

Тем не менее полная автоматизация хоть и весьма полезна, но зачастую для подобного рода устройств необходимо наличие дублирующего ручного управления, поэтому в предлагаемом устройстве используется модуль, обеспечивающий беспроводное подключение к системе управления.

Структурная схема предлагаемого устройства будет выглядеть следующим образом (рис. 2).

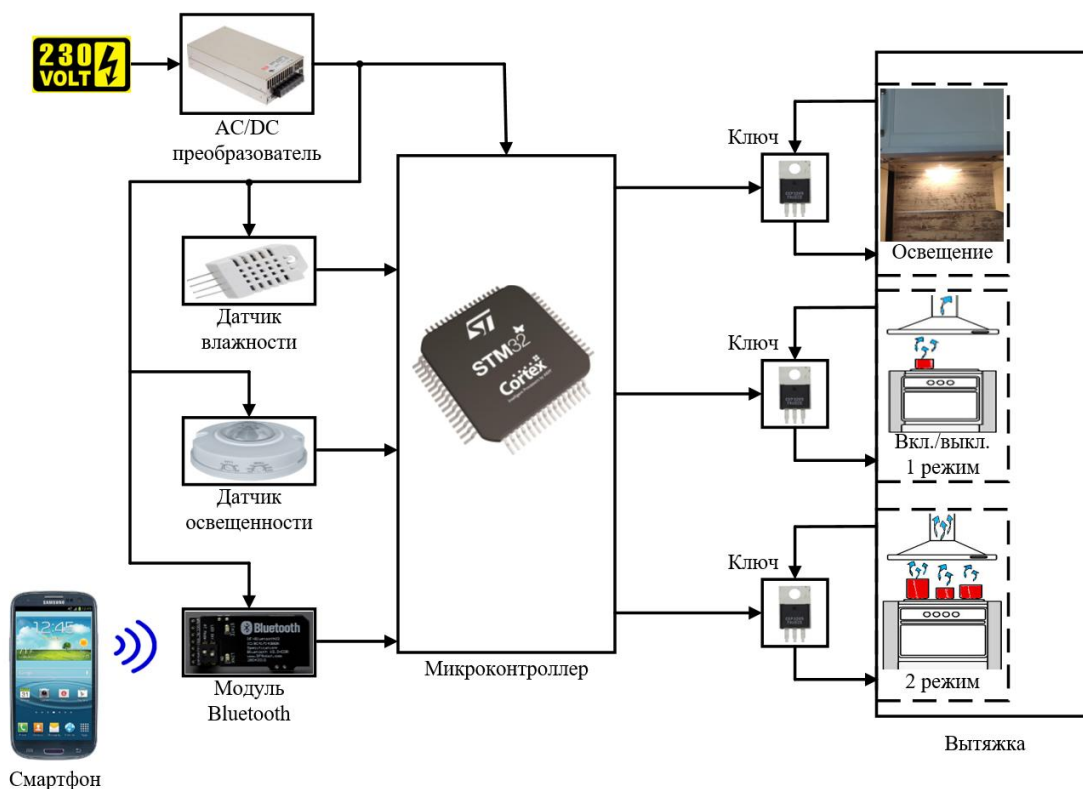


Рисунок 2 — Структурная схема системы управления интеллектуальной вытяжкой с беспроводным управлением

В данной схеме присутствуют обозначенные ранее датчики (для возможности автоматизированной работы системы управления), приемный модуль взаимодействия с устройствами по протоколу Bluetooth и AC/DC преобразователь напряжения, предназначенный для преобразования питающего переменного напряжения в выпрямленное и стабилизированное постоянное напряжение питания цифровых частей устройства (таких как микроконтроллер, датчики влажности и освещенности).

В предлагаемом устройстве предполагается следующий функционал:

- возможность работы в автоматическом и ручном (беспроводное управление) режимах. Переключение режима происходит при подключении смартфона по Bluetooth к кухонной вытяжке и нажатии соответствующей кнопки в приложении;

- возможность полного отключения автоматического режима работы кухонной вытяжки в настройках управляющего приложения;

- включение/отключение локального освещения в автоматическом и ручном режимах. Если включение осуществляется автоматически, то система управления анализирует состояние освещенности на кухне: если ниже предельного, то устройство включит локальное освещение (при условии, что устройство находится в состоянии очистки воздуха);

- включение/отключение вытяжки на очистку воздуха в автоматическом и ручном режимах с минимальной мощностью. В автоматическом режиме устройством анализируется относительная влажность воздуха на кухне. При превышении некоторого порогового значения устройством включается вытяжка на самой минимальной мощности. Наиболее дешевым датчиком относительной влажности является DHT22, в цифровой модуль которого интегрирован также датчик температуры. Таким образом, система управления может контролировать не только параметр влажности, но и температуры (в качестве контрольного);

- переключение на режим работы с максимальной мощностью в автоматическом и ручном режимах. В автоматическом режиме также анализируется некоторое пороговое значение влажности, при которой производителем рекомендуется включать вытяжку на полную мощность.

Центральным узлом предлагаемой системы управления является микроконтроллер, работающей по расположенной в его энергонезависимой памяти программе. Блок-схема алгоритма работы микроконтроллера в данной системе имеет следующий вид (рис. 3).

Программа начинается с инициализации портов ввода-вывода, конфигурации интерфейса 1-Wire (для организации обмена с датчиком влажности DHT22), конфигурации интерфейса UART (для организации связи с модулем беспроводного интерфейса Bluetooth), конфигурации аналого-цифрового преобразователя (для считывания данных о текущем уровне освещенности на кухне с датчика освещенности), глобального запуска прерываний, после чего начинается основное тело алгоритма работы программы.

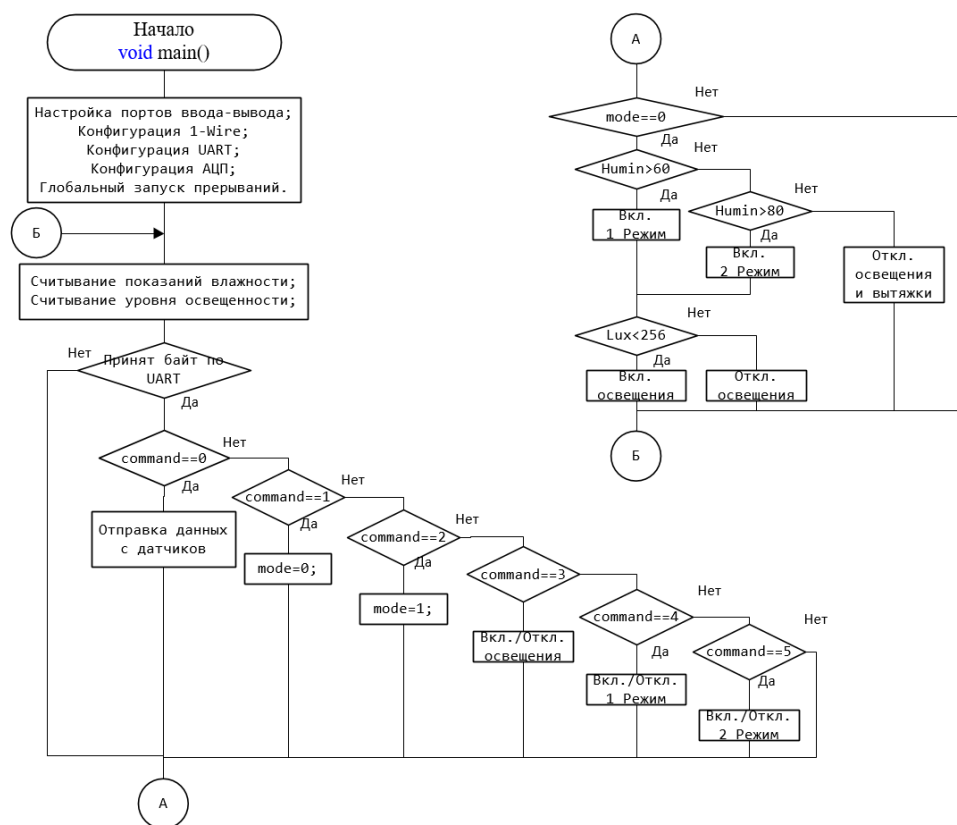


Рисунок 3 — Блок-схема алгоритма работы микроконтроллера

Основное тело программы заключается в последовательном выполнении микроконтроллером заданных операций в бесконечном цикле. Начинается цикл с опроса данных с датчиков влажности и освещенности. Далее системой осуществляется анализ, не был ли принят байт данных по интерфейсу UART. Если байт принят, то он записывается в командный регистр, а микроконтроллер в соответствии со значением в командном регистре выполняет ту или иную команду:

- регистр Command=0: микроконтроллер отправляет смартфону данные о текущей влажности и освещенности;
- регистр Command=1 или Command=2: микроконтроллер переключает режим автоматического и ручного управления;
- регистр Command=3: микроконтроллер включает освещение вытяжки;
- регистр Command=4: микроконтроллер включает 1 режим работы кухонной вытяжки (минимальная мощность);
- регистр Command=5: микроконтроллер включает 2 режим работы кухонной вытяжки (максимальная мощность).

Далее микроконтроллер проверяет включен ли автоматический режим (переменная-флаг mode при этом равен 0). Если автоматический режим включен, то системой анализируется измеренная относительная влажность на кухне. В зависимости от уровня влажности будет включен соответствующий режим очистки воздуха. Далее, если был включен один режимов работы кухонной вытяжки, то система проанализирует показания с датчика освещенности. Если уровень освещенности недостаточный, то будет включено локальное освещение.

Таким образом, была предложена система управления кухонной вытяжкой, способная работать в автоматическом и ручном (управление по беспроводному интерфейсу смартфоном) режимах, и алгоритм работы центрального микропроцессорного узла. Отличительной особенностью устройства является возможность полной встраиваемости кухонной вытяжки шкафы, вследствие отсутствия кнопок и сенсоров, а также необходимости нажатия на них.

#### Литература

1. Мартин Т. Микроконтроллеры Atmega. Семейство микроконтроллеров AVR. Вводный курс. – М.: изд. Додэка-XXI, 2010. – 296 с.
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632с., ил.
3. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. — М.: Техносфера, 2016. — 323 с: ил.

*Ю.С. Гращенкова, студ.; В.А. Смолин, к.т.н., ст. преп.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ВЫТЯЖКИ ДЛЯ КУХНИ**

Микроконтроллеры нашли повсеместное применение как при разработке собственных цифровых устройств и модулей, так и при доработке различных бытовых приборов. Так, например, доработка различных бытовых приборов позволяет автоматизировать довольно большой спектр используемой в повседневной жизни техники. Такие приборы относятся к категории проектов «умного дома» и имеют возможность в объединение в централизованную цифровую систему.

В процессе тепловой обработки продуктов на кухне образуется большое количество загрязняющих воздух веществ и соединений: дым, продукты сгорания, испарения, запахи и нежелательные примеси. Данные элементы имеют потенциал к накоплению в объёме кухни, что может привести как к плесени, к формированию устойчивого неприятного запаха и т.п. Для устранения этих элементов в процессе готовки незаменимым устройством очищения воздуха является кухонная вытяжка (рис. 1).



Рисунок 1 — Кухонная вытяжка

Современные вытяжки имеют достаточно обширный функционал помимо стандартной функции очищения воздуха: от локальной подсветки до сенсорного управления. Тем не менее многим современным вытяжным устройствам (имеющим возможность к встраиваемости техники в мебельные конструкции кухни) свойственен общий недостаток: неполноценная встраиваемость в кухонные шкафы за счет необходимости доступа к кнопкам для управления вытяжкой. Размещение кнопок и сенсоров на рабочей панели выглядит не всегда красиво, что может нарушать эргономику кухни в целом.

Решением данной проблемы является разработка системы управления интеллектуальной вытяжки для кухни. Несомненным преимуществом данного устройства является интеграция практически с любым типом разработанных на данный момент вытяжных устройств (кроме уже имеющих свою микропроцессорную систему управления), что обеспечит повсеместное распространение данного устройства.

Основу предлагаемого устройства будет составлять датчик влажности и температуры DHT22. Он необходим для определения момента, когда человек начинает готовить еду. Зачастую датчика влажности будет достаточно для определения процесса тепловой обработки продуктов. Для кухонных вытяжек доступны также различные режимы всасывания воздуха: при повышении относительной влажности на кухне будет повышаться и мощность работы кухонной вытяжки.

Для полной автоматизации работы кухонной вытяжки необходимо также использование датчика света на кухне. Если освещение на кухне недостаточное, то в процессе работы (приготовления пищи) в кухонной вытяжке будет включено локальное освещение. Тем не менее полная автоматизация хоть и весьма полезна, но зачастую для подобного рода устройств необходимо наличие дублирующего ручного управления. Компромиссным решением является использование беспроводного интерфейса управления. Данный функционал довольно просто реализуется на предложенной ранее системе управления интеллектуальной кухонной вытяжки.

Структурная схема устройства примет следующий вид (рис. 2). Помимо датчиков в ней содержатся также аналоговые ключи. Они включаются параллельно ранее используемым кнопкам на управляющей панели вытяжки и соответственно отвечают за включение той или иной доступной ранее функции (поскольку доступ к кнопкам управления на панели будет ограничен вследствие встраиваемости техники в кухонный интерьер).

AC/DC преобразователь (например, IRM-10-5) необходим для преобразования питающего переменного напряжения в постоянное напряжение питания цифровых частей устройства (таких как микроконтроллер, датчики влажности и освещенности).

Кроме того, в схеме имеется приемный Bluetooth модуль, выполненный на чипе CSR BC417143 (даёт возможность взаимодействовать с другими устройствами по данному протоколу), который по беспроводному интерфейсу управляется с любого смартфона (имеющего соответствующее приложение для

организации управления). Антенна уже встроена в плату модуля. Мощности передатчика хватает для работы на расстоянии до 30 метров при прямой видимости.

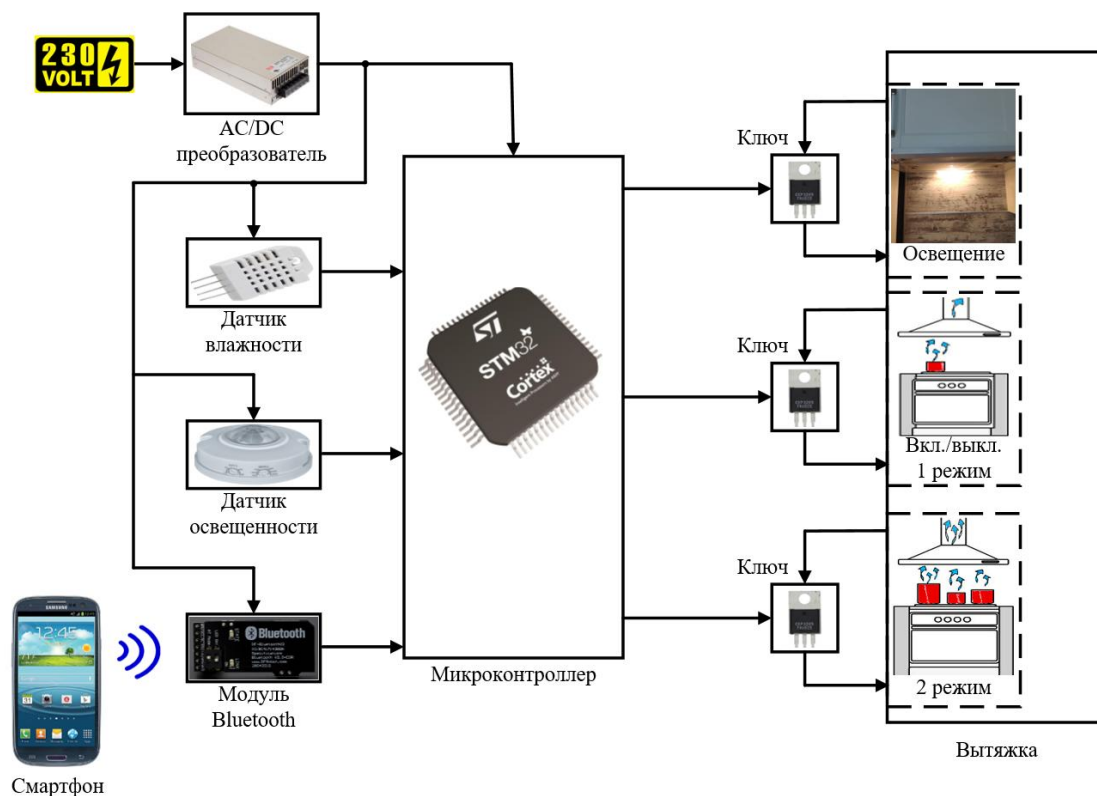


Рисунок 2 — Структурная схема системы управления интеллектуальной вытяжкой

На уровне микропроцессорной техники это значит, что управляющую информацию от смартфона будет получать модуль Bluetooth и преобразовывать её для передачи по последовательному интерфейсу UART. С точки зрения программирования можно заметить, что Bluetooth-модуль является своего рода прозрачным Serial-портом, откуда микроконтроллер принимает полезную информацию.

В предлагаемом устройстве предполагается следующий функционал:

- возможность работы в автоматическом и ручном (беспроводное управление) режимах. Переключение режима происходит при подключении смартфона по Bluetooth к кухонной вытяжке и нажатии соответствующей кнопки в приложении;

- возможность полного отключения автоматического режима работы кухонной вытяжки в настройках управляющего приложения;

- включение/отключение локального освещения в автоматическом и ручном режимах. Если включение осуществляется автоматически, то система управления анализирует состояние освещенности на кухне: если ниже предельного, то устройство включит локальное освещение (при условии, что устройство находится в состоянии очистки воздуха);

- включение/отключение вытяжки на очистку воздуха в автоматическом и ручном режимах с минимальной мощностью. В автоматическом режиме



устройством анализируется относительная влажность воздуха на кухне. При превышении некоторого порогового значения устройством включается вытяжка на самой минимальной мощности. Наиболее дешевым датчиком относительной влажности является DHT22, в цифровой модуль которого интегрирован также датчик температуры. Таким образом, система управления может контролировать не только параметр влажности, но и температуры (в качестве контрольного);

– переключение на режим работы с максимальной и промежуточной мощностью в автоматическом и ручном режимах. В автоматическом режиме также анализируется некоторое пороговое значение влажности, при которой необходимо включать вытяжку на полную мощность.

Предложенное устройство является хорошей основой для включения кухонной вытяжки в централизованный проект «умного дома». Данное устройство позволит считывать параметры микроклимата кухонного помещения и производить мониторинг присутствия на кухне.

Таким образом, была предложена система управления кухонной вытяжкой на микроконтроллере, в результате реализации которой конечному потребителю была предложена автоматизированная интеллектуальная кухонная вытяжка, способная работать в автоматическом и ручном (управление по беспроводному интерфейсу смартфоном) режимах. Отличительной особенностью устройства является возможность полной встраиваемости кухонной вытяжки в мебельные конструкции, вследствие отсутствия кнопок и необходимости нажатия на них.

#### Литература

1. Мартин Т. Микроконтроллеры Atmega. Семейство микроконтроллеров AVR. Вводный курс. – М.: изд. Додэка-XXI, 2010. – 296 с.
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632с., ил.
3. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. — М.: Техносфера, 2016. — 323 с: ил.

*Ю.С. Гращенкова, студ.; В.А. Смолин, к.т.н., ст. преп.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ИНТЕГРАЦИИ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ С МОДУЛЯМИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

В настоящее время цифровая электроника развивается стремительными темпами вследствие того, что цифровые устройства нашли себе повсеместное применение, как в простейших бытовых целях, так и в сложных системах управления. Одним из наиболее часто применяемых цифровых устройств является микроконтроллер (микропроцессорное устройство), без которого невозможно представить проектирование какого-либо современного электронного устройства [1, с.11].

Инженеры и разработчики электронных модулей и систем промышленного назначения различают два подхода в разработке: разработка собственных узлов и устройств на микроконтроллерах и разработка с использованием готового контрольно-измерительного оборудования и средств промышленной автоматизации (например, оборудование от производителя ОВЕН). У каждого подхода имеются свои достоинства и недостатки, представленные в таблице 1.

Таблица 1 — Сравнительная характеристика цифровых модулей

| Параметр                           | Микропроцессорные устройства | Оборудование ОВЕН |
|------------------------------------|------------------------------|-------------------|
| Гибкость разработки                | +                            | –                 |
| Ряд готовых технических решений    | +                            | –                 |
| Относительная себестоимость        | +                            | –                 |
| Время разработки и трудоёмкость    | –                            | +                 |
| Сертификация выпускаемой продукции | –                            | +                 |
| Настенное исполнение               | –                            | +                 |

Компромиссным решением является совместное использование контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации с микропроцессорными устройствами собственной разработки. Данному подходу способствует повсеместное наличие в модулях промышленного назначения (в частности продукция ОВЕН) периферийных модулей для использования интерфейса организации промышленных сетей передачи информации. Таким стандартом промышленных сетей является интерфейс RS485.

В RS-485 для передачи и приёма данных используется витая пара. Передача данных осуществляется с помощью дифференциальных сигналов, а это в свою очередь обеспечивает высокую устойчивость к синфазной помехе. Разница напряжений одной полярности означает логическую единицу, разница другой полярности означает логический ноль. Данный факт позволяет микропроцессорным устройствам, находящимся в пределах коммутационной сети данного стандарта, находиться на достаточно больших расстояниях относительно друг друга.

Модули и оборудования ОВЕН в большинстве случаев поддерживают коммутационный протокол ModbusRTU, основанный на архитектуре ведущий-ведомый (Master-Slave) и использующий для передачи данных обозначенный выше интерфейс физического уровня RS485.

Разработчикам микропроцессорных устройств представляется в свою очередь готовый цифровой модуль для преобразования интерфейса UART (который имеется в большинстве современных микропроцессоров) в интерфейс RS485 (рис. 1).

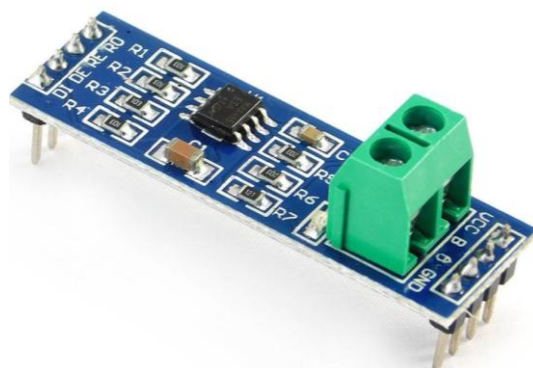


Рисунок 1 — Преобразователь UART в RS485



Данное компромиссное решение позволяет соединять множество разнородных устройств в промышленную сеть. Выделяя достоинства данного метода, следует отметить также тот факт, что зачастую модули промышленного назначения ОВЕН слабо влияют на оперативное изменение параметров друг друга, в том числе и по сети RS485 (ModbusRTU) ввиду того, что практически все они являются Slave-устройствами. Введение Master-устройства изготовителя ОВЕН на программируемом логическом контроллере является относительно дорогим решением, по сравнению с предложенным компромиссным решением.

Совместное использование микропроцессорных устройств собственного изготовления с модулями промышленного назначения было реализовано совместно с инженерами предприятия АО «СмАЗ» при разработке цифровой системы управления индукционного пароперегревателя. На данном этапе перед разработчиками стояла задача обеспечить плавное регулирование мощности, передаваемой трехфазным индуктором в паропровод, где она выделялась в виде тепла, нагревающим воду и перегревающим её до 400 °С. Модули ОВЕН оказались в данном случае неспособны обеспечить необходимые законы регулирования мощности, а у микропроцессорного устройства собственной разработки не раз отмечались трудности в работе с используемыми в пароперегревателе датчиками. Тогда был предложен следующий подход.

Первичной обработкой информации (данные с датчиков) будет заниматься модуль ОВЕН ТРМ136, который имеет индикаторное табло, на котором осуществляется индикация параметров процесса парообразования. Вся автоматика работы системы управления также осталась за модулями ОВЕН, при этом применялось совместное использование ТРМ136 с модулем программируемого реле ПР110-24.12Д.8Р: в случае превышения температуры паропровода или давления в системе модуль ТРМ136 посылал аналоговый уровень в программируемое реле, в результате чего работа пароперегревателя прекращалась. Данная система управления уже широко применялась при выпуске пароперегревателей и хорошо себя зарекомендовала. Для реализации возможности плавного регулирования по заданным законам была разработана печатная плата с микроконтроллером и преобразователем UART в RS485, которая подключалась к ТРМ136 витой парой сети RS485 и к программируемому реле управляющим проводом.

Алгоритм работы при этом следующий: при запуске пароперегревателя в работу программируемое реле по сути соединяет выходной сигнал от печатной платы с твердотельными реле, через которые происходит питание трехфазного индуктора. В случае аварийного перегрева паропровода или резком повышении давления в гидравлической системе программируемое реле отключит сигнал на твердотельных реле, вследствие чего устройство прекратит парообразование. Таким образом будет сохранен контроль аварийных ситуаций за уже разработанной ранее автоматикой. Необходимые для плавного регулирования значения температуры паропровода микроконтроллер на печатной плате будет получать от измерителя-индикатора ТРМ136.

Предложенный конструкторами подход, заключающийся в совместном использовании микропроцессорного устройства собственной разработки и модулей промышленного назначения, позволил провести предприятию запланированные в рамках опытно-конструкторской работы эксперименты с внесением малых изменений в конструкцию разработанной ранее системы управления индукционным пароперегревателем.

Таким образом, микропроцессорные модули собственной разработки и оборудование производства ОВЕН имеют различные достоинства и недостатки. Чтобы в полной мере раскрыть функционал разрабатываемой системы можно прибегнуть к совместному использованию этих разнородных модулей при соединении их в коммутационную сеть RS485 с использованием коммутационного протокола ModbusRTU.

#### Литература

1. Мартин Т. Микроконтроллеры Atmega. Семейство микроконтроллеров AVR. Вводный курс. – М.: изд. Додэка-XXI, 2010. – 296 с.
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632с., ил.
3. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. — М.: Техносфера, 2016. — 323 с: ил.

*С.В. Дроздецкий, ст. преп.; И.С. Бушув, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

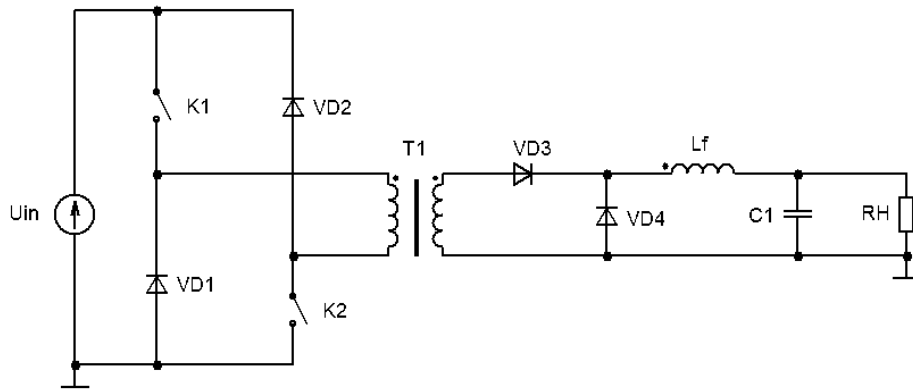
## **РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО КОНТУРА КОСОГО МОСТА С ПРЯМОХОДОВЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ ВТОРИЧНОЙ ОБМОТКИ**

В электронике для регулирования уровня напряжения часто используют импульсные преобразователи. Величина выходного напряжения данного устройства изменяется за счет увеличения или уменьшения ширины управляющих импульсов, которые в свою очередь влияют на работу коммутирующего элемента. Стабилизация выходного напряжения осуществляется за счёт обратной связи: при изменении уровня выходного напряжения автоматически изменяется ширина управляющих импульсов.

Для построения одноключевого или двухключевого преобразователя (рис. 1) используется схема прямоходового преобразователя (далее ПП). Главным достоинством использования двухключевого ПП является то что, когда размыкаются ключи К1, К2 избыточная энергия проходит через два диода VD1 и VD2 и выбрасывается в источник входного напряжения.

В режиме непрерывного тока дросселя цикл работы двухключевого ПП (рис. 1) состоит из двух интервалов:

- на первом участке на первичную обмотку подаётся напряжение, накапливается энергия в дросселе;
- на интервале паузы ток в первичной обмотке не протекает. Нагрузка питается за счёт накопленной энергии в реактивных компонентах.



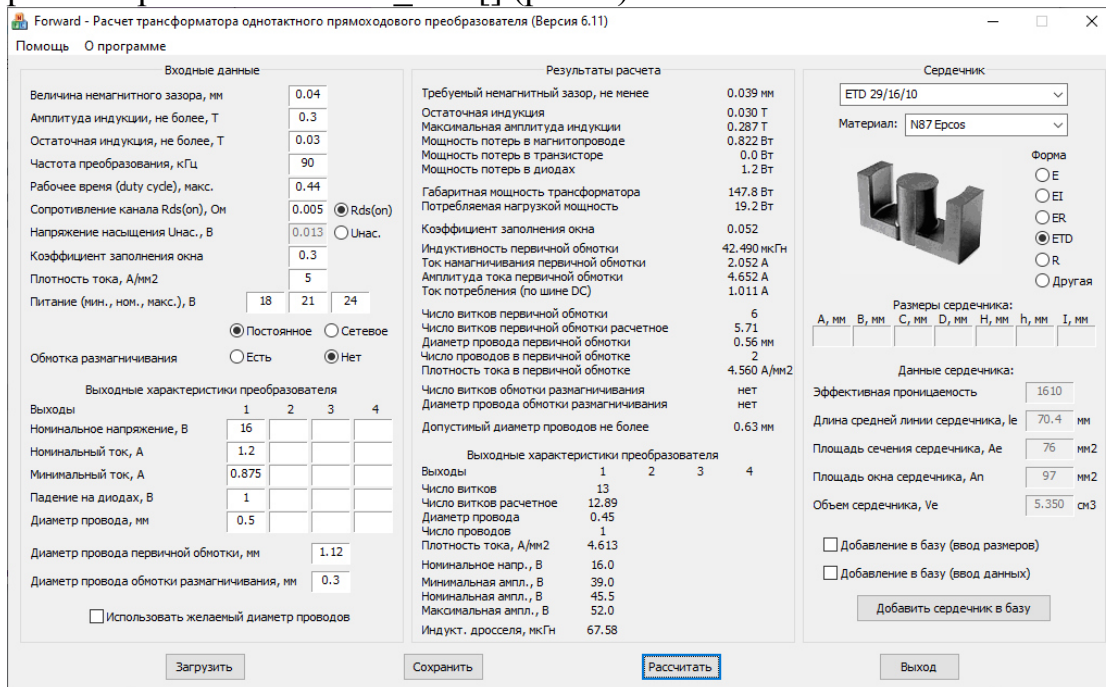
**Рисунок 1 — Схема двухключевого ПП**

Затем производится расчёт элементов силового контура ПП. Следующие вычисления будут производиться исходя из данных, представленных в таблице 1.

**Таблица 1 — Исходные данные**

| Входное и выходное напряжение, В | Диапазон мощности на выходе, Вт | Частота коммутации, кГц |
|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 18-24<br>16                      | 14-23                           | 90                      |

Расчёт трансформатора осуществляется в программе All in One 2.01 в режиме расчёта Forward\_6.11[] (рис. 2).



**Рисунок 2 — Результат расчёта трансформатора**

На основе полученных данных производим вычисления коэффициента трансформации:

$$k = \frac{N1}{N2} = \frac{6}{13} = 0,46;$$

где  $N_1$  и  $N_2$  — количество витков первичной и вторичной обмотки соответственно.

Далее определяем индуктивность вторичной обмотки трансформатора:

$$L_2 = L_1 \cdot \frac{N_2^2}{N_1^2} = 42,490 \text{ мкГн} \cdot \frac{13^2}{6^2} = 199,5 \text{ мкГн}$$

Индуктивность  $L$  дросселя двухключевого ПП рассчитывается по формуле представленной ниже:

$$L = \frac{D_{max} \cdot \left(\frac{1}{k} \cdot U_{inmax} \cdot (1 - D_{max})\right)}{f \cdot \Delta I_{Lf\_max}} = 63,5 \text{ мкГн};$$

где  $q$  — коэффициент заполнения;

$k$  — коэффициент трансформации;

$V_{IN\_max}$  — максимальная величина входного напряжения,  $B$ ;

$\Delta I_{Lf\_max}$  — пульсации тока дросселя;

$f$  — рабочая частота преобразователя,  $Гц$ .

Был выбран дроссель с необходимыми запасами из стандартного ряда номиналов. Принимаем запас равный 30%:

$$L = 1,3 \cdot 63,5 \text{ мкГн} = 82,6 \text{ мкГн}.$$

Максимальное напряжение на выходном конденсаторе  $C_{out}$  равно максимальной величине выходного напряжения  $V_{OUT\_max}$ :

$$U_{Cout\_max} = U_{out\_max} = 16 \text{ В}.$$

Составляющая пульсаций  $\Delta U_{Cout\_disch}$ , выбирается в пределах 10-50% от величины выходных пульсаций  $\Delta V_{OUT}$ :

$$\Delta U_{Cout\_disch} = (0,1 \dots 0,5) \cdot \Delta U_{out}.$$

Минимально необходимая величина емкости выходного конденсатора  $C_{out}$  определяется из выражения:

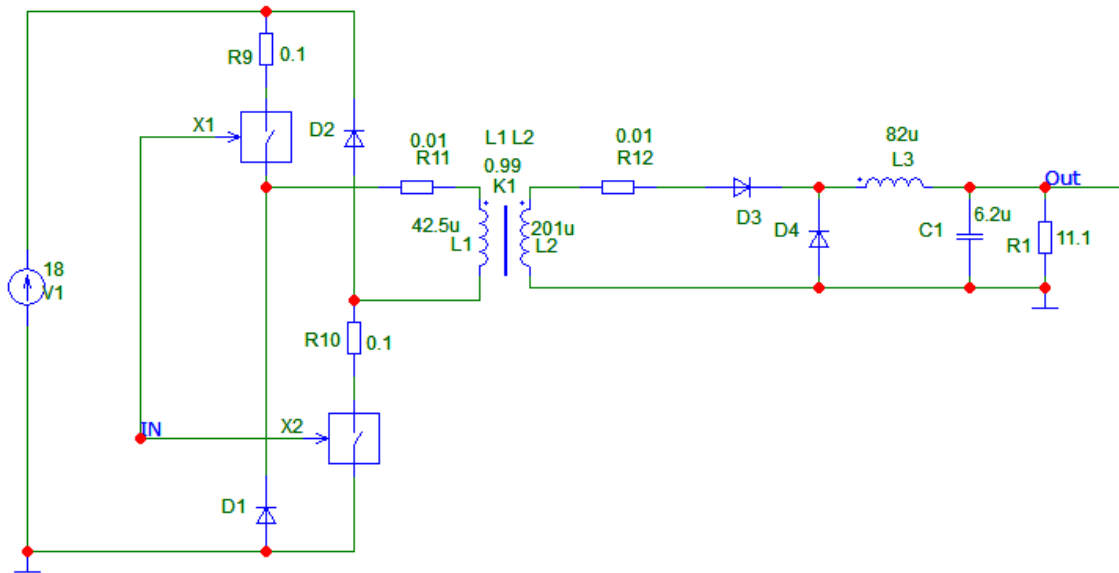
$$C_{out} = \frac{\frac{1}{k} \cdot U_{inmax} \cdot D_{max} \cdot (1 - D_{max})}{L \cdot \Delta U_{Cout\_disch} \cdot 8 \cdot f^2} = 5,81 \text{ мкФ};$$

где  $\Delta V_{Cout\_disch}$  — пульсации, обусловленные разрядом конденсатора.

Выбираем конденсатор с необходимыми запасами из стандартного ряда номиналов. Принимаем запас равный 20%.

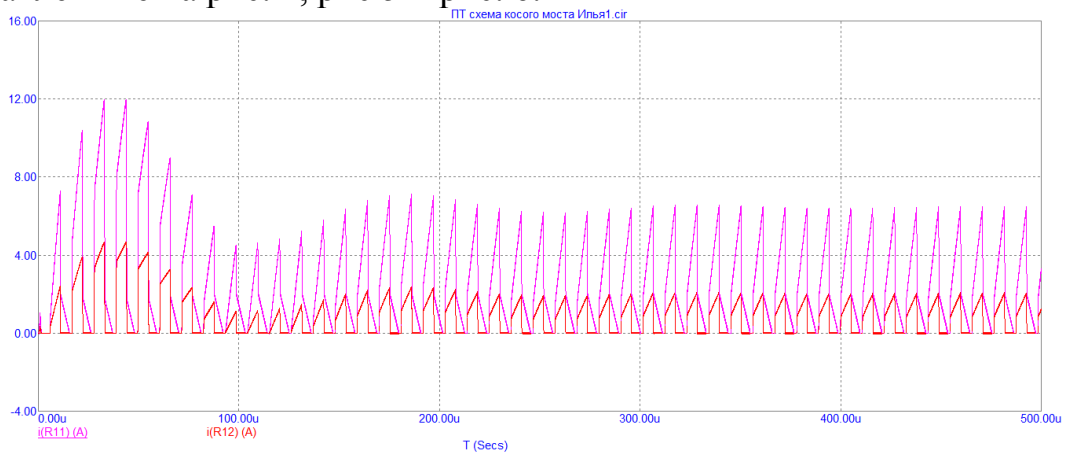
$$C = 1,2 \cdot 5,81 \text{ мкФ} = 6,2 \text{ мкФ}.$$

Схема ПП была собрана в среде разработки *Micro-Cap* (рис. 3).

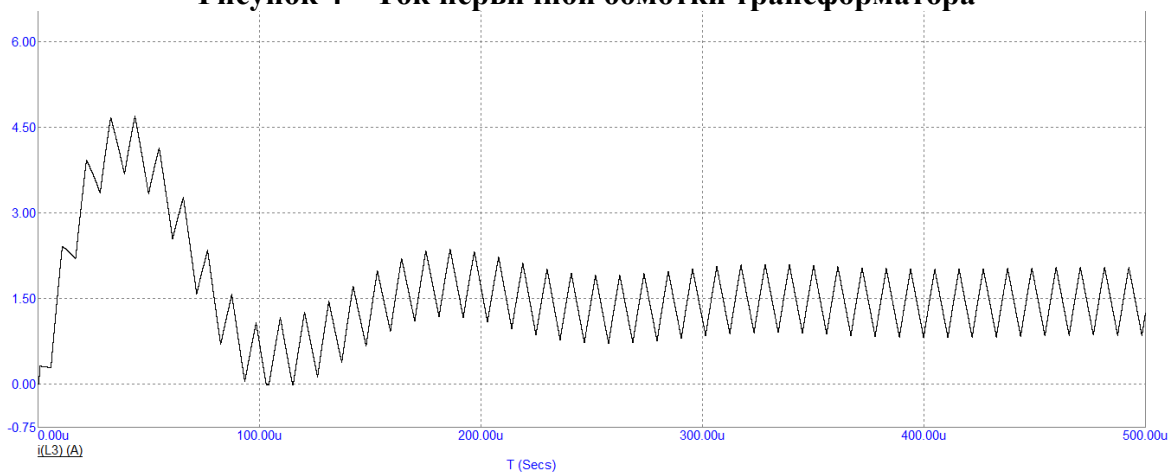


**Рисунок 3 – Схема двухключевого ПП**

В результате моделирования были получены следующие графики, представленные на рис. 4, рис 5 и рис. 6.

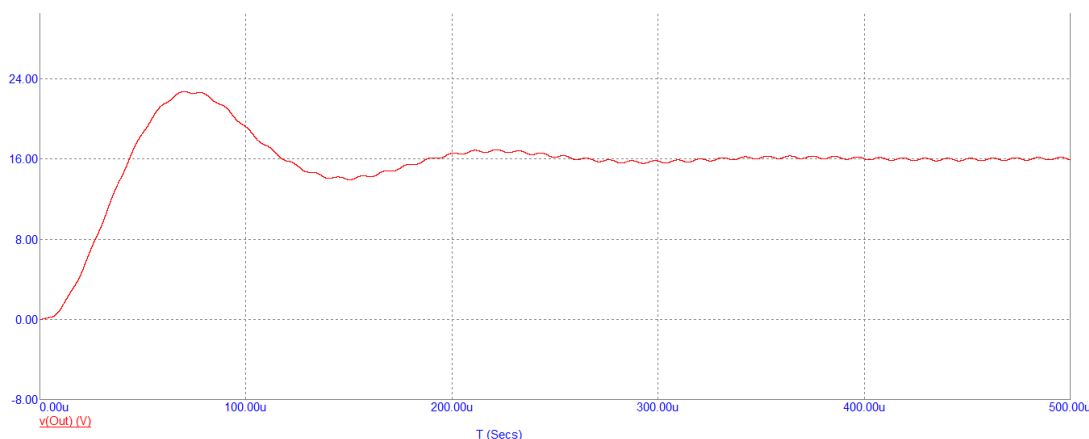


**Рисунок 4 – Ток первичной обмотки трансформатора**



**Рисунок 5 – Выходной ток дросселя**

Исходя из графика (рис. 5), можно сделать вывод, что характеристика данного преобразователя находится в режиме непрерывного тока (РНТ) следовательно, преобразователь работает стабильно.



**Рисунок 6 – Выходное напряжение ПП**

В ходе работы был произведен расчёт силового контура ПП (косой мост), а именно величина выходного дросселя, выходного конденсатора, трансформатора. Вычисления, производимые в программе *All in One 2.01*, верны, что подтверждается моделированием ПП.

#### Литература

1. АЛФАВИТ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ URL:<https://fresh-web-studio.github.io/artemdsobnikov/math/half-bridge-forward.html> (дата обращения 22.09.2021);
2. DC to DC Converters URL:[https://nptel.ac.in/content/storage2/courses/108105066/PDF/L-23\(DP\)\(PE\)%20\(\(EE\)NPTEL\).pdf](https://nptel.ac.in/content/storage2/courses/108105066/PDF/L-23(DP)(PE)%20((EE)NPTEL).pdf) (дата обращения 22.09.2021);
3. Электронный журнал радиолюбителя Diodnik URL: [https://diodnik.com/download/all\\_in\\_one\\_2-01/](https://diodnik.com/download/all_in_one_2-01/)

*С.В. Дроздецкий, ст. преп.; А.С. Еремин, студ.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО КОНТУРА ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Для того, чтобы осуществить преобразование напряжения одного уровня в напряжение другого уровня применяют импульсные преобразователи напряжения. Эксплуатация данных преобразователей происходит по причине того, что им присуще высокое КПД, а также данные преобразователи имеют возможность получения пониженного, повышенного или инвертированного выходного напряжения.

Одной из наиболее распространенных топологий импульсных преобразователей является преобразователь с передачей энергии на обратном ходу или же обратноходовой преобразователь (в дальнейшем ОП) (рисунок 1).

Развитие импульсных преобразователей напряжения началось еще в середине двадцатого века. Но из-за того, что преобразователи получались сложными и большими по габаритам, их цена была слишком велика, в следствии этого производство преобразователей приостановили.

Благодаря тому, что с конца двадцатого века началось бурное развитие интегральных схем и транзисторов, импульсная схемотехника стала набирать новые обороты. На сегодняшний день все люди пользуются устройствами импульсной схемотехники. Этими устройствами являются зарядные устройства для мобильных телефонов, компьютеры, источники бесперебойного питания и многое другое.

Главным элементом данного преобразователя можно назвать трансформатор или же многообмоточный накопительный дроссель [1].

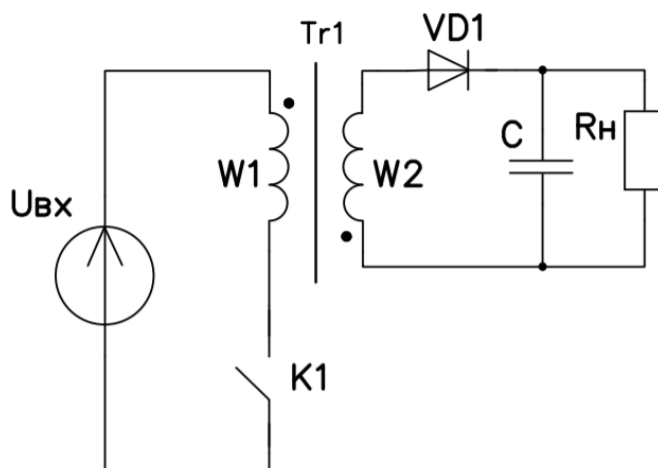


Рисунок 1 – Схема силового контура ОП

Изделие имеет два основных этапа своей работы: первый этап заключается в перераспределении энергии от первичного источника питания в дроссель; вторым этапом идет переход во вторичную цепь энергии дросселя.

Если к выходному диоду VD1 приложено  $U_{зап.}$ , то во вторичной обмотке не будет протекать ток. При закрытии K1, в соответствии с законом самоиндукции произойдет смена полярности на противоположную. Открывается диод, через вторичную обмотку протекает ток, и энергия, которая была запасена в магнитопроводе, переходит в нагрузку. В роли энергетического буфера выступает выходной конденсатор, который в свою очередь осуществляет поддержку тока в нагрузке в моменты паузы [2].

Исходя из этого, следующие вычисления для расчета элементов силового контура будут производиться по следующим параметрам (таблица 1).

Таблица 1 — Исходные данные

| Входное и выходное напряжение, В | Диапазон мощности на выходе, Вт | Частота коммутации, кГц |
|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 48-64<br>54                      | 50-80                           | 95                      |

Для начала произведем расчет времени открытого состояния ключа  $t_{ON}$  и  $t_{off}$  [3]:

$$t_{ON} = T * D = 10,53 \text{ мкс} * 0,47 = 4,94 \text{ мкс} .$$

$$t_{off} = T - t_{ON} = 10,53 \text{ мкс} - 4,94 \text{ мкс} = 5,59 \text{ мкс}.$$

Далее вычислим индуктивность первичной и вторичной обмотки:

$$L1 = \frac{V_{in}^2 * t_{ON}^2 * \eta * f_{min}}{2 * P_{max}} = 28 \text{ мкГн}.$$

$$L2 = \frac{(V_{out} + V_{dout}) * t_{off}^2 * f_{min}}{2 * I_{out\_max}} = 67 \text{ мкГн}.$$

Исходя из этого, можно произвести расчет коэффициента трансформации, который будет равен:

$$K = \sqrt{\frac{L1}{L2}} = 0,65.$$

Зная  $L1$  и  $L2$  можем найти количество витков для первичной и вторичной обмотки:

$$N1 = \sqrt{\frac{L1}{Al}} \approx 9;$$

$$N2 = \sqrt{\frac{L2}{Al}} \approx 14.$$

Где  $Al$  – индуктивность сердечника и равна 360 нГн/виток<sup>2</sup>.

В силу того, что максимальное напряжение на выходном конденсаторе  $C_{out}$  равно максимальной величине выходного напряжения  $V_{OUT\_max}$ , можно составить следующее выражение:

$$C_{out} = \frac{I_{OUT}}{\Delta V_{Cout\_dischf}}.$$

Составляющая пульсаций  $\Delta U_{Cout\_dish}$ , обусловленная его зарядом-разрядом находится в пределах 10-50% от величины выходных пульсаций  $\Delta V_{OUT}$ :

$$\Delta U_{Cout\_dish} = (0,1 \dots 0,5) * \Delta U_{out}$$

Исходя из вышеперечисленного, можно вычислить необходимую минимальную величину емкости выходного конденсатора  $C_{out}$ :

$$C_{out} = \frac{I_{OUT}}{\Delta V_{Cout\_dischf}} = 47 * 10^{-6} \text{ ф}.$$

Выбираем конденсатор с необходимыми запасами из стандартного ряда номиналов. Принимаем запас равным 30%.

$$C = 1,3 * 47 \text{ мкФ} = 61,1 \text{ мкФ}.$$

Непосредственная сборка схемы была проведена в программе *Micro-Cap* (рисунок 2).



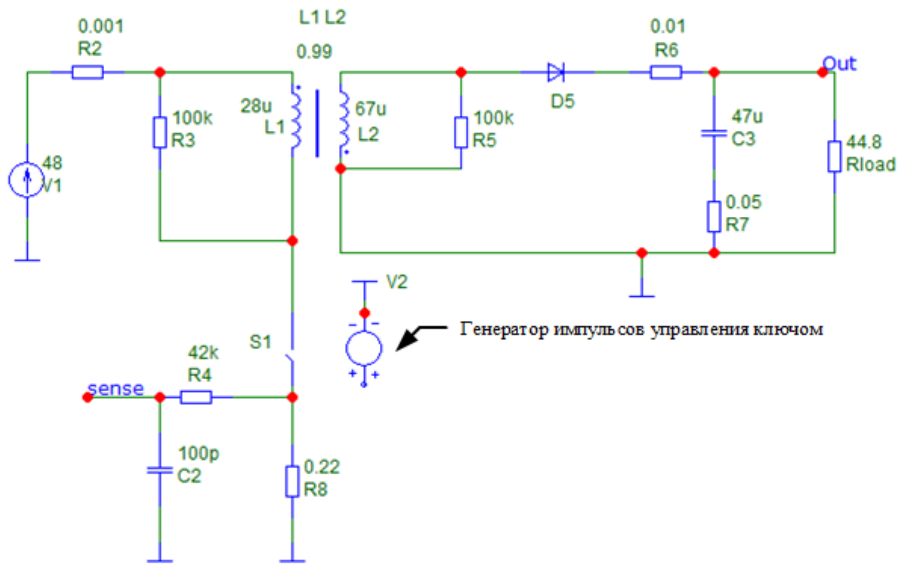


Рисунок 2 – Схема силового контура ОП в *Micro-Cap*

В ходе моделирования были получены следующие графики: токи первичных и вторичных обмоток трансформатора (рисунок 3) и выходное напряжение ОП (рисунок 4).

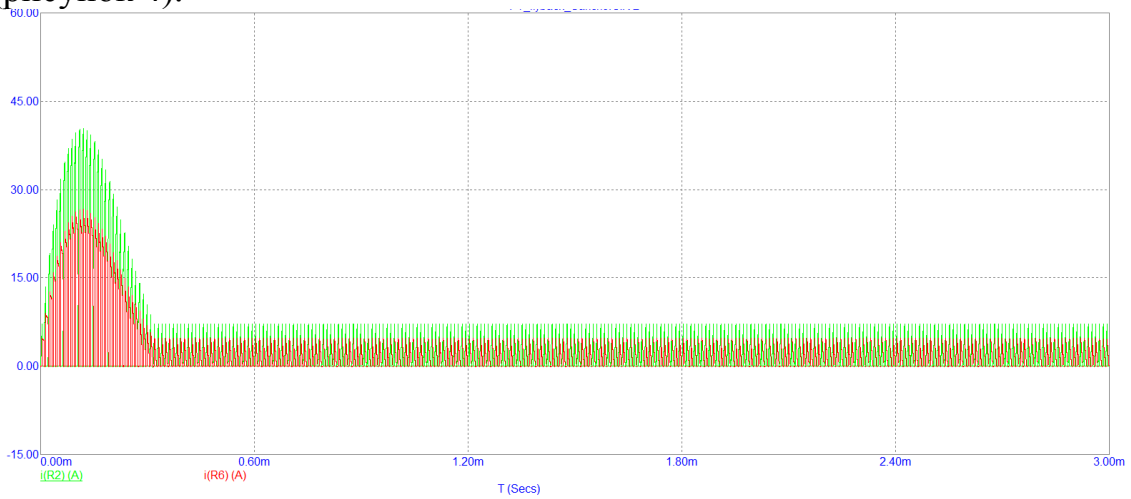


Рисунок 3 – Ток первичных и вторичных обмоток трансформатора

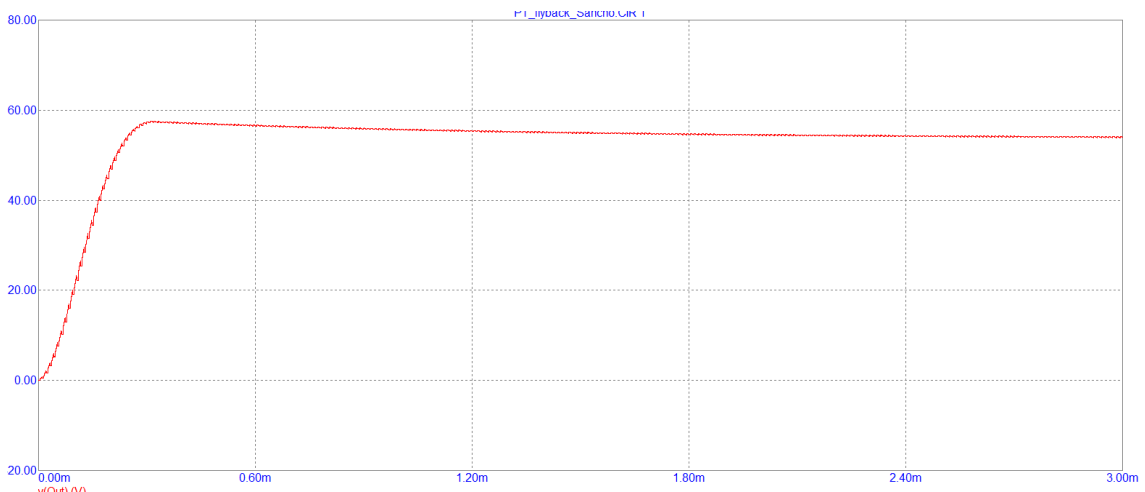


Рисунок 4 – Выходное напряжение ОП

Проанализировав полученные графики, можно сказать, что ОП работает корректно, согласно заданным параметрам.

В ходе работы был произведен расчёт силового контура изделия, а именно величина выходного конденсатора, трансформатора, а также было произведено моделирование схемы.

#### Литература

1. Шустов, М. А. Основы силовой электроники / М. А. Шустов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург : Наука и Техника, 2019. — 336 с.
2. Попов, В. И. Основы силовой электроники : учебно-методическое пособие / В. И. Попов, Е. Д. Баранов, А. В. Удовиченко [и др.]. — Новосибирск : НГТУ, 2019. — 92 с.
3. Макашов Д. Обратногоходовой преобразователь. – Текст : электронный. – URL : <http://www.bludger.narod.ru/smps/Flyback-R01.pdf> (дата обращения: 20.09.2021).

*С.В. Дроздецкий, ст. преп.; Н.А. Полищук, маг.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ С ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ

При объединении устройств в какую-либо систему обмена информацией вводится понятие интерфейса. В общем случае под интерфейсом связи понимают программы и аппаратуру, обеспечивающие связь между собой двух и более объектов. Каждому интерфейсу соответствуют определенные разъемы, уровни напряжения или тока, протоколы передачи данных [1]. Помимо объединения устройств в систему интерфейсы часто применяются для передачи данных с различных датчиков. Целью данной статьи является создание способа получения данных с оптического датчика углового положения. Внешний вид датчика представлен на рисунке 1.



Рисунок 6 — Внешний вид оптического датчика углового положения

Данный датчик и другие оптические энкодеры часто применяются в промышленности, станочном оборудовании, производственных линиях, роботизированных механизмах, то есть везде, где требуется контролировать движение или перемещение [2]. В данном случае датчик используется для получения текущего азимута опорного устройства и передает информацию в коде Грея. Так как датчик является 8-ми битным и может передавать только 256

состояний, а азимут должен отображаться в диапазоне от 0 до 359 градусов, то азимут будет определяться следующей формулой:

$$\alpha = k \cdot D_S,$$

где  $\alpha$  – текущий азимут опорного устройства;

$k \approx 1,4$  – коэффициент пересчета ( $360/256 = 1,40625$ );

$D_S$  – код с оптического датчика углового положения.

Код Грея идеально подходит для систем механического позиционирования, он предпочтительнее обычного двоичного тем, что обладает свойством постоянства бинарной комбинации: изменение кодируемого числа на единицу соответствует изменению кодовой комбинации только в одном разряде.

В случае использования кода Грея погрешность при считывании информации на участке перехода от одного числа к другому приведет лишь к тому, что этот переход будет лишь несколько смещен по времени, однако выдача совершенно неверного значения углового положения на участке перехода полностью исключается. Это особенно актуально для датчиков, где источником информации является механический элемент. В случае абсолютного энкодера это оптический диск с механически нанесенными на него метками (рис. 2).

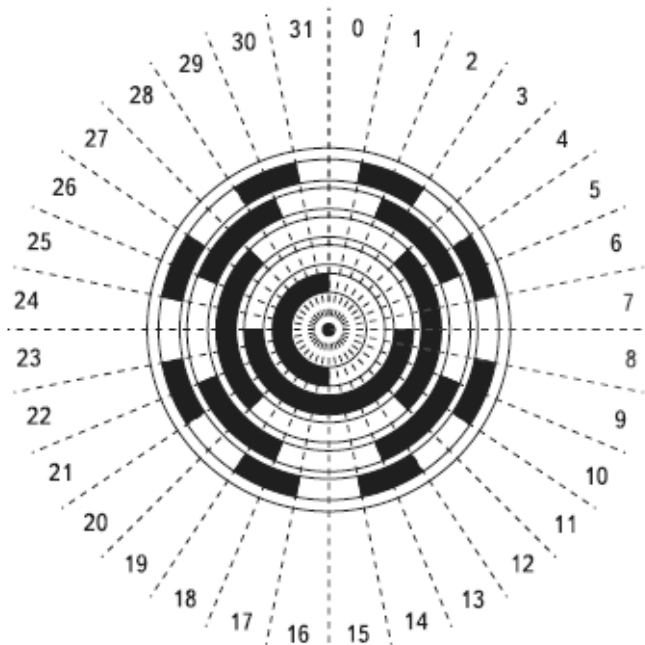


Рисунок 7 — Диск абсолютного энкодера с растром в коде Грея

Измерительная система абсолютного оптического энкодера (рис. 3) состоит из следующих основных компонентов: поворотный вал, кодовый оптический диск, инфракрасный светодиод (в качестве источника света), фототранзисторная считывающая матрица и схема обработки сигнала [3].

Инфракрасные лучи светодиода просвечивают кодовый диск и попадают на фототранзисторную считывающую матрицу, расположенную с обратной стороны кодового диска. При каждом шаге углового положения кодового диска его темные участки предотвращают попадание света на те или иные фототранзисторы считывающей матрицы, преобразующей световые сигналы в

электрические. Электрические сигналы, в свою очередь, преобразуются электроникой энкодера в двоичный код.



Рисунок 8 — Измерительная система абсолютного оптического энкодера

Таким образом, помимо получения данных с оптического датчика углового положения или другого энкодера, необходимо осуществить последующую обработку полученной информации и передачу обработанных данных по интерфейсу связи на персональный компьютер (ПК). Перечисленные выше задачи можно решить с помощью устройства, в состав которого входят: схема согласования уровней напряжения датчика и микроконтроллера (МК), сам МК и преобразователь уровней для интерфейса связи. Многие МК имеют специальные выводы для интерфейса UART и практически в каждом персональном компьютере имеется разъем USB, поэтому для передачи обработанных данных на ПК лучше всего использовать интерфейсы UART и USB.

Протокол UART – старейший и самый распространенный на сегодняшний день физический протокол передачи данных. Наиболее известен из семейства UART протокол RS-232. Данный интерфейс дожил до наших дней и не потерял своей актуальности. Формат передачи данных представлен на рисунке 4.

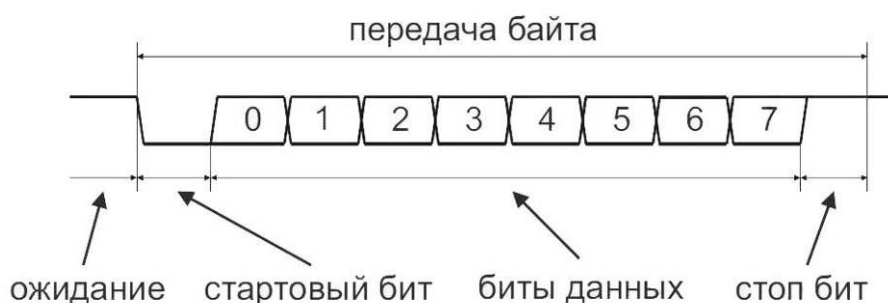


Рисунок 9 — Формат передачи данных по интерфейсу UART

Каждый бит пакета передаётся в равный отведённый промежуток времени. Стандартным размером данных в посылке является 8 бит, но помимо данных каждый пакет несёт и служебную информацию: стартовый бит, стоповый бит (возможно использование 1, 1.5, 2 стоповых битов) и бит чётности. При этом младший информационный бит передаётся первым, сразу после стартового.

Так как интерфейс асинхронный, то большую значимость имеет скорость передачи данных – и у приёмника, и у передатчика она должна быть одинаковой.

Скорость измеряется в битах в секунду, или коротко – в бодах. UART может быть запущен как в полудуплексном режиме, так и в полнодуплексном режиме, так как линии приёма и передачи разделены. Передающая линия – TXD, а порт RXD – принимающая. Выход передатчика TX соединен с входом приемника RX и наоборот. Для преобразования логических входов-выходов UART в сигналы соответствующего физического уровня применяют специальные электронные схемы, именуемые драйверами. Для всех популярных физических уровней существуют интегральные драйверы в виде микросхем.

Интерфейс USB – последовательный интерфейс для подключения периферийных устройств к вычислительной технике. Получил широчайшее распространение и стал основным интерфейсом подключения периферии к цифровой технике. Существует большое количество версий USB, они отличаются по скорости приема и передачи данных. В настоящее время широко используются устройства, выполненные в соответствии со стандартом USB 2.0. Ведётся внедрение в производство устройств стандартов USB 3.0, 3.1 и 3.2.

Для подключения периферийных устройств к шине USB используется четырёхпроводный кабель, при этом два провода (витая пара) в дифференциальном включении используются для приёма и передачи данных (D+ и D-), а два провода – для питания периферийного устройства ( $V_{BUS}$  и GND). На рисунке 5 представлена распиновка USB.

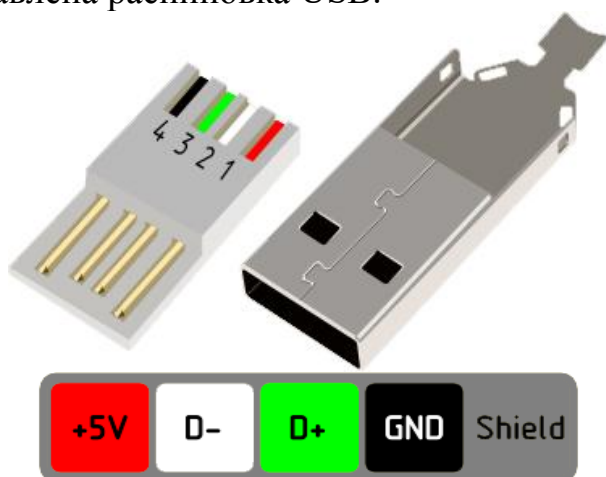


Рисунок 10 — Распиновка USB

Интерфейс USB соединяет между собой хост и устройства. Хост находится внутри персонального компьютера и управляет работой всего интерфейса. Все передачи данных по интерфейсу инициируются хостом. Данные передаются в виде пакетов. Для реализации интерфейса USB в микропроцессорной системе или получения данных с какого-либо датчика существует большое количество драйверов. Например, преобразователи интерфейсов UART в USB, RS-232 в USB, RS-485 в USB и другие.

Любой энкодер или оптический датчик углового положения контролирует и фиксирует какой-либо параметр устройства и чаще всего располагается непосредственно внутри этого устройства. Поэтому, при решении задач получения данных с датчика, последующей обработки и передачи данных по

интерфейсу связи на ПК, необходимо: согласовать уровни напряжения датчика и МК [4], настроить прием данных с датчика на МК, осуществить декодирование данных, настроить интерфейс связи для отправки данных на ПК. Структурная схема устройства, реализующего способ получения данных с оптического датчика углового положения, представлена на рисунке 6.

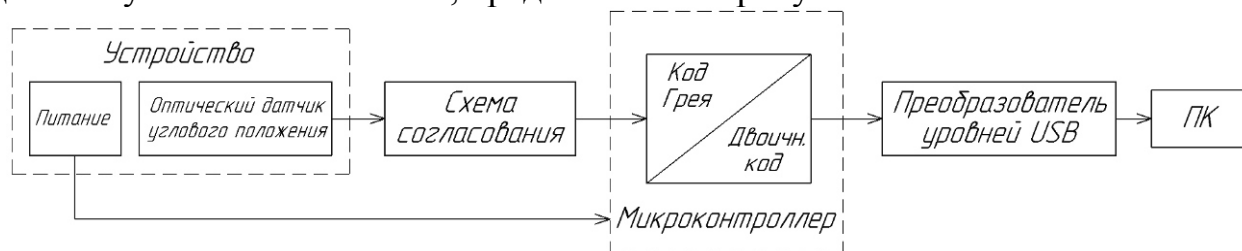


Рисунок 11 — Структурная схема устройства

Таким образом, незначительно меняя состав данной структурной схемы: добавляя или убирая схему согласования уровней напряжения датчика и МК, по-разному настраивая интерфейсы или используя другие интерфейсы можно получить данные с любого оптического датчика углового положения или другого энкодера. То есть можно сделать вывод, что данное устройство реализует способ получения данных с любого оптического датчика углового положения или другого энкодера.

#### Литература

1. Лаврентьев, Б.Ф. Схемотехника электронных средств: учебное пособие для вузов по направлению «Проектирование и технология электронных средств» / Б. Ф. Лаврентьев. — М.: Академия, 2010. — 333 с.: ил. — (Высшее профессиональное образование)
2. Деревянко А.Е. Обзор абсолютных и инкрементальных энкодеров / А.Е. Деревянко, А.А. Валиев, А.В. Рожнов, И.А. Тляумбетов // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: Сборник научных статей по итогам десятой международной научной конференции, Казань, 30–31 октября 2020 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2020. – С. 84-86.
3. Платт Ч. Энциклопедия электронных компонентов. Том 3. Датчики: Пер. с англ. / Ч. Платт, Ф. Янссон. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 288 с.:ил.
4. Волович, Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств: учебное пособие для вузов по напр. подготовки 210300- Радиотехника в УрФО / Г. И. Волович. — 3-е изд. — М.: Додэка-XXI, 2011. — 527 с.

**С.В. Дроздецкий, ст.преп.; Н.А. Полищук, А.Д. Юрченков, маг.**  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

### РАЗРАБОТКА ЛАЗЕРНОГО ЭЛЕКТРО-УКУЛЕЛЕ

Индустрия развлечений не стоит на одном месте, с каждым годом уровень потребительских интересов повышается. Сфера музыки не является исключением, людям хочется видеть что-то новое и интересное, поэтому все большую актуальность приобретает вопрос о создании новых музыкальных инструментов, изменении их внешнего вида или усовершенствовании.

Лазерное электро-укулеле (ЛЭУ) – музыкальное устройство, основанное на акустической укулеле. Основными блоками ЛЭУ являются: клавиатура, блок вывода звука, аккумуляторный блок, блок приема и передачи излучающего лазера. Управляет ими микроконтроллер *Atmega 328p*, являющийся основой платы *Arduino Uno*.

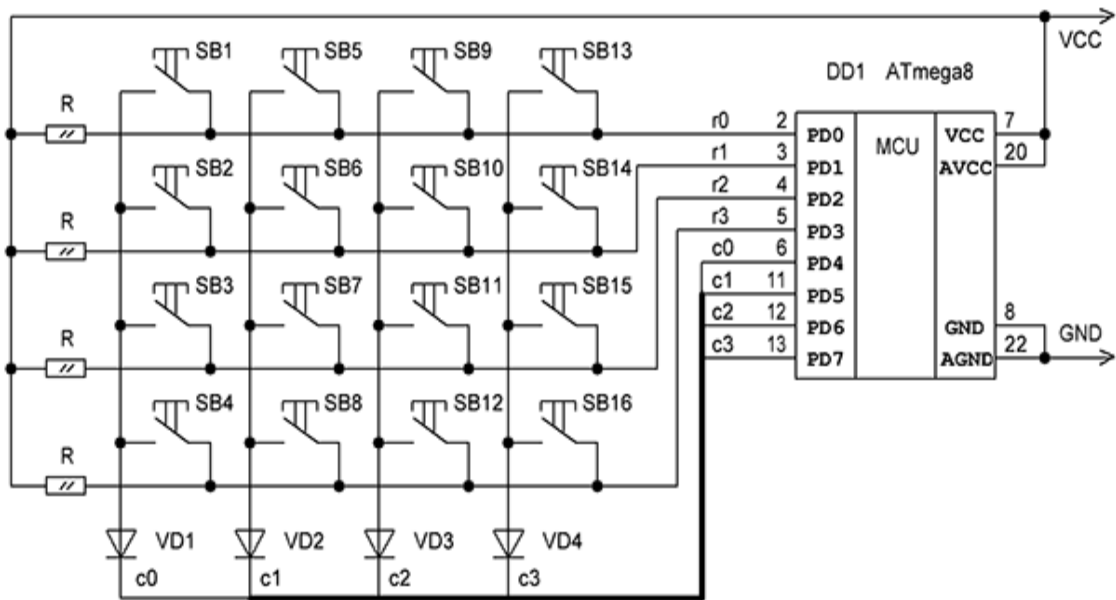


Рисунок 12 – Пример матричного подключения кнопок

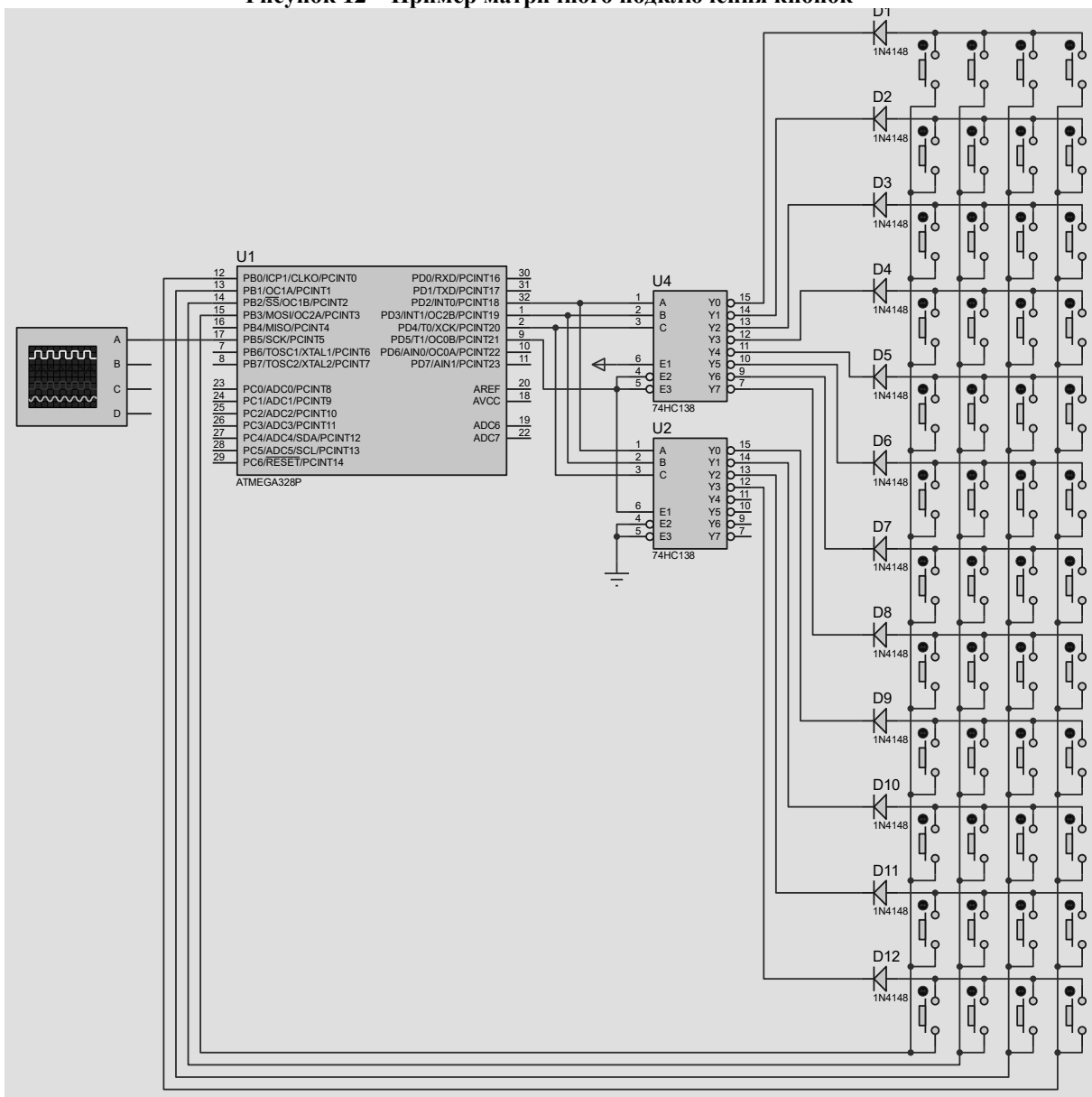


Рисунок 13 – Модель устройства в САПР Proteus

Клавиатура представляет собой плату, с расположенными на ней кнопками, являющимися заменой ладов в струнной укулеле. Соединение кнопок представлено в матричном исполнении (Рисунок 12). Для реализации подключения 48 кнопок клавиатура подключается к 2-ум дешифраторам (*SN74LS138*). Матричное подключение используется поскольку количество выводов микроконтроллера ограничено для соединения большого количество кнопок напрямую (Рисунок 13).

Обработка нажатой клавиши производится с помощью микроконтроллера. Каждой ноте соответствует своя собственная частота широтно-модулированного (ШИМ) сигнала. В памяти микроконтроллера задана таблица соответствия между нажатой клавишей и воспроизводимой нотой, согласно обычному строю укулеле (1 струна – *E*, 2 струна – *B*, 3 струна – *G*, 4 струна – *D*).

Помимо опроса нажатой клавиши, микроконтроллер анализирует прерывание излучающего лазера. Блок передачи излучающего лазера реализован с помощью подключенных через токозадающие резисторы лазеров к выводу питания микроконтроллера. Блок приема излучающего лазера представляет собой 4 фоторезистора, сопротивление которых изменяется в зависимости от уровня освещенности. Микроконтроллер определяет сопротивление фоторезистора и при изменении сопротивления выше уровня, заданного программно, производится вывод звука либо «открытой» струны (в случае если ни одна кнопка не нажата), либо определенно ноты на ладу.

Вывод звука осуществляется с помощью блока, состоящего из звукового усилителя, на базе микросхемы *МС34119*, а также динамика с сопротивлением 8 Ом.

В качестве корпуса опытного образца ЛЭУ выступает деревянный корпус от укулее (Рисунок 14). Питание устройства реализовано с помощью аккумуляторов.



Рисунок 14 – Вариант внешнего вида разрабатываемого устройства

Разрабатываемое устройство не имеет прямых аналогов в мире. Ближайшим аналогом устройства является лазерная арфа. В отличие от нее ЛЭУ является автономным устройством (используются аккумуляторы), более безопасным (маломощные лазеры не требуют использования защитных перчаток), а также в несколько раз дешевле ближайших аналогов.



#### Литература

1. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL, 5-е изд., стер. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 560 с.
2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 592 с. (Серия «Программируемые системы»).
3. Лебедев М.Б. CodeVisionAVR: пособие для начинающих. – М.: Додэка XXI, 2008. – 592 с.
4. Прокопенко В.С. Программирование микроконтроллеров ATMEL на языке C. – К.: «МК-Пресс», СПб.: «КОРОНА-ВЕК», 2012. – 320 с.

*С.В. Дроздецкий, ст. преп.; Н.А. Полищук, А.Д. Юрченков, маг.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## ПОСТРОЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ МОДЕЛИ ОДНОТАКТНОГО ПРЯМОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

При разработке импульсных преобразователей удобно использовать моделирование. С его помощью можно оценить правильность расчета силового контура без построения макета на реальных компонентах. Для устойчивой работы преобразователя необходимо построить непрерывную модель и синтезировать корректирующие звенья. При помощи логарифмических частотных характеристик (ЛЧХ) непрерывной модели происходит настройка и расчет корректирующих звеньев. Для построения непрерывной модели преобразователя необходимо составить системы уравнений работы преобразователя на интервале импульса и интервале паузы [1]. На рисунке 1 представлена схема однотактного прямоходового преобразователя (ОПП) на интервале импульса.

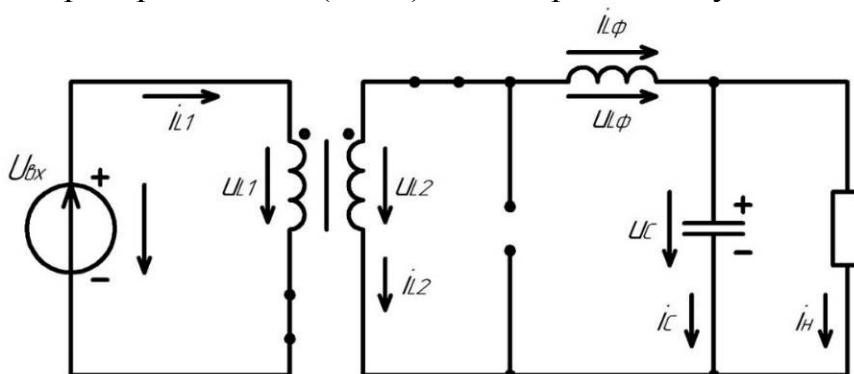


Рисунок 1 – ОПП на интервале импульса

В прямоходовом преобразователе на интервале импульса к первичной обмотке трансформатора приложено входное напряжение, ключ в первичной обмотке замкнут, в первичной обмотке протекает ток. Ко вторичной обмотке приложено входное напряжение с учетом коэффициента трансформации, ток протекает через диод VD1 (на данной схеме это последовательный со вторичной обмоткой трансформатора ключ), дроссель (в дросселе накапливается энергия), затем делится на токи конденсатора и резистора. Напряжение на вторичной обмотке равно сумме напряжений на дросселе и конденсаторе. Таким образом, система уравнений на интервале импульса имеет следующий вид:

$$\begin{cases} u_{L1|d} = u_{\text{вх}} \\ u_{L2|d} = u_{L\phi} + u_C \\ i_{c|d} = i_{L\phi} - i_H \end{cases}$$

Далее, выразим напряжение на вторичной обмотке через коэффициент трансформации и напряжение первичной обмотки (входное напряжение).

$$K_{\text{тр}} = \frac{u_{L1}}{u_{L2}} \Rightarrow u_{L2} = \frac{u_{L1}}{K_{\text{тр}}}; u_{L2} = \frac{u_{\text{вх}}}{K_{\text{тр}}}$$

Таким образом, система уравнений для интервала импульса будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} u_{L\phi|d} = \frac{u_{\text{вх}}}{K_{\text{тр}}} - u_C \\ i_{c|d} = i_{L\phi} - i_H \end{cases}$$

На рисунке 2 представлена схема ОПП на интервале паузы.

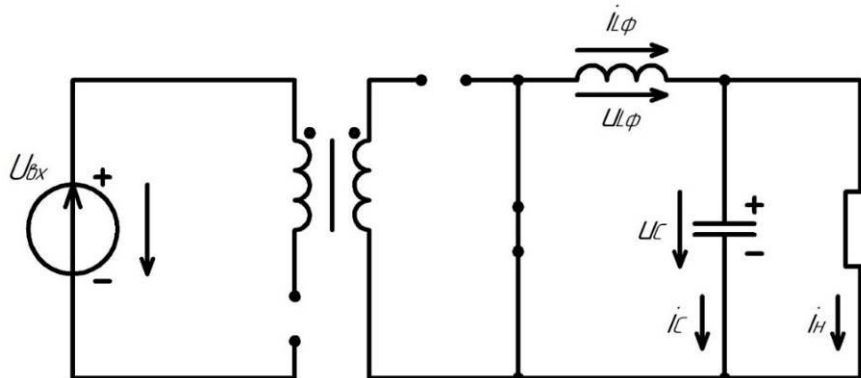


Рисунок 2 – ОПП на интервале паузы

На интервале паузы ключ в первичной обмотке разомкнут. Диод VD1 заперт, ток протекает через дроссель, затем делится на токи конденсатора и резистора, соединяется и протекает через диод VD2 (на данной схеме это параллельный со вторичной обмоткой трансформатора ключ). Энергия, накопленная в дросселе на интервале импульса, передается в нагрузку. Сумма напряжений на дросселе и конденсаторе равна нулю. Таким образом, система уравнений для интервала паузы имеет вид:

$$\begin{cases} u_{L\phi|1-d} = -u_C \\ i_{c|1-d} = i_{L\phi} - i_H \end{cases}$$

Получив уравнения на интервалах импульса и паузы выведем среднее за период коммутации напряжение на дросселе, сложив напряжения, домноженные на коэффициент заполнения D для интервала импульса и домноженные на (1-D) для интервала паузы [2].

$$U_{L\phi|cp} = \frac{U_{BX} \cdot D}{K_{Tp}} - U_C \cdot D - U_C \cdot (1 - D)$$

$$U_{L\phi|cp} = \frac{U_{BX} \cdot D}{K_{Tp}} - U_C$$

Средний за период коммутации ток конденсатора будет определяться следующим уравнением:

$$I_{C|cp} = I_{L\phi} - I_H$$

Таким образом, получим усредненную систему уравнений на периоде коммутации:

$$\begin{cases} \frac{U_{BX} \cdot D}{K_{Tp}} = U_{L\phi} + U_C \\ I_{L\phi} = I_C + I_H \end{cases} \quad (1)$$

По полученной системе уравнений (1) можно построить непрерывную модель, однако для этого также необходимо рассчитать параметры силового контура преобразователя.

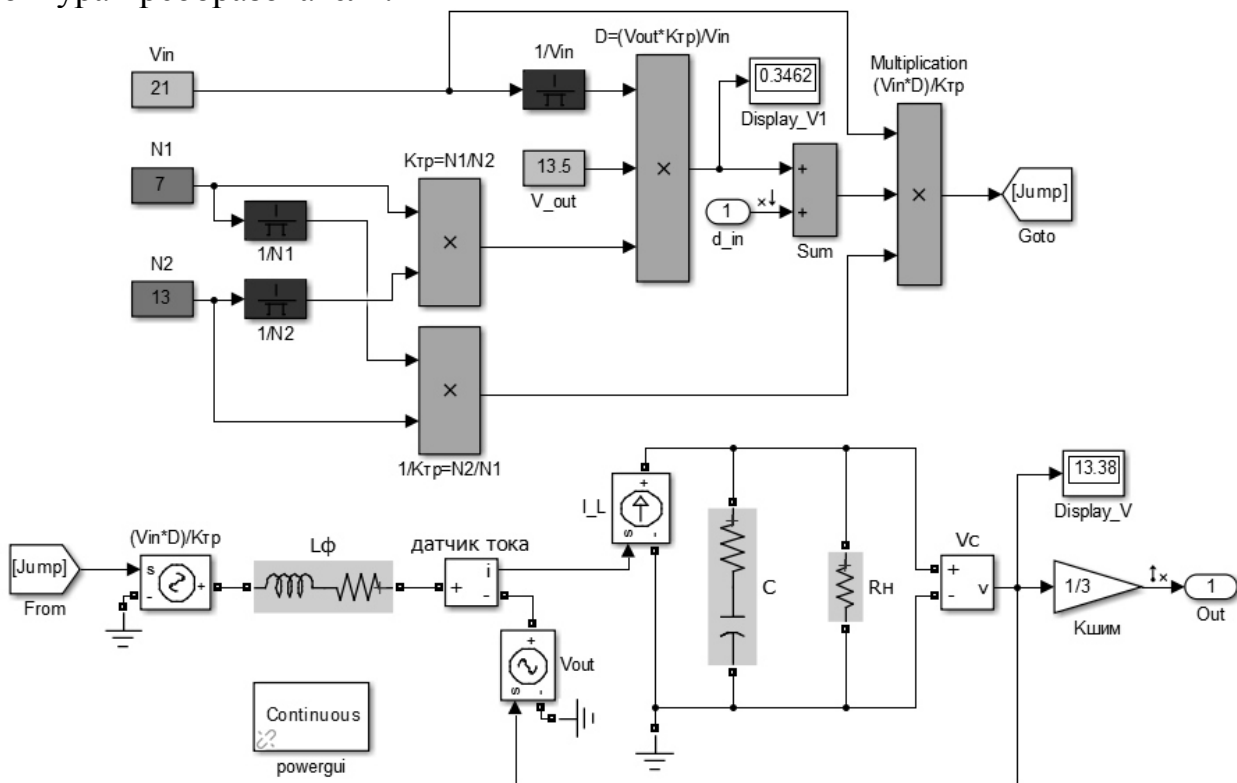


Рисунок 3 – Непрерывная модель преобразователя

По первому уравнению системы (1) составим схему, состоящую из входного и выходного источников напряжения и выходного дросселя. По

второму уравнению системы (1) составим схему из источника тока дросселя, выходного конденсатора и нагрузочного резистора.

На рисунке 3 представлена непрерывная модель преобразователя в программе MatLab.

Как видно из схемы, источник входного напряжения реализован с учетом коэффициента заполнения и коэффициента трансформации. Элементы силового контура (выходные дроссель и конденсатор) реализованы в данной модели с учетом паразитных сопротивлений. Данная непрерывная модель является универсальной для всех ОПП. Пользователю необходимо задать входное напряжение, число витков в первичной и вторичной обмотках трансформатора, желаемое выходное напряжение и номиналы элементов силового контура (выходные дроссель, конденсатор и нагрузочный резистор). Также в данной непрерывной модели учтен коэффициент передачи ШИМ. Он определяется по формуле:

$$K_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{V_{\text{ГЛИН}}},$$

где  $V_{\text{ГЛИН}}$  – максимальное напряжение ГЛИН.

В качестве примера подставим в непрерывную модель следующие параметры: входное напряжение 21 В, число витков первичной обмотки трансформатора 7, число витков вторичной обмотки трансформатора 13, желаемое выходное напряжение 13,5 В, выходной дроссель 76 мкГн, конденсатор 47 мкФ и нагрузочный резистор 9 Ом.

Далее, необходимо получить частотные характеристики, оценить устойчивость системы и осуществить коррекцию [3]. Для того, чтобы система была устойчивой и обладала хорошими динамическими свойствами, наклон в точке пересечения должен быть -20 дБ/дек, а протяженность этого участка – не менее половины декады в каждую сторону от точки пересечения. Также, запас по амплитуде более 7 дБ и запас по фазе от 45 до 60 градусов свидетельствуют о хороших динамических свойствах системы.

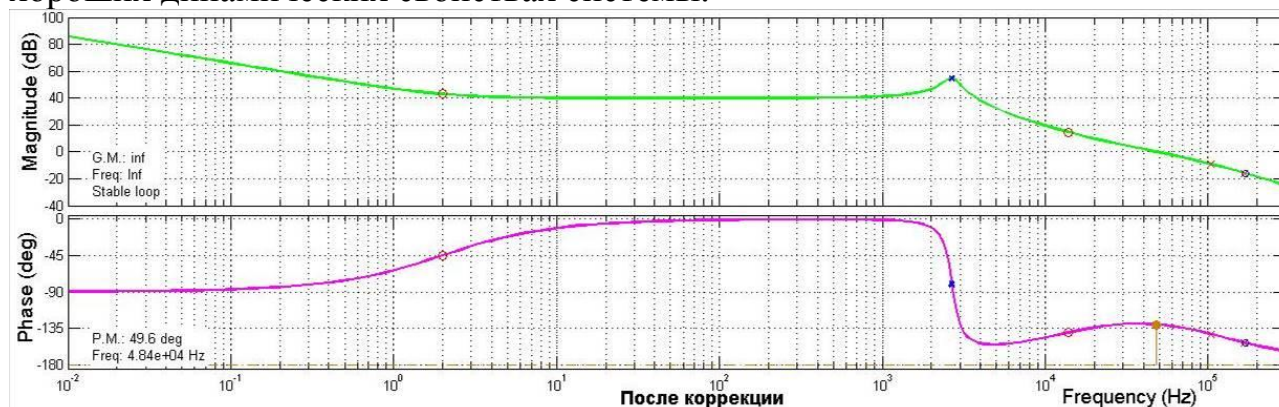


Рисунок 4 – АЧХ и ФЧХ преобразователя после коррекции

Как правило, коррекцию стараются реализовать наименьшим числом корректирующих звеньев (цепочек). Однако в данном случае в результате коррекций одним нулем и одним полюсом, двумя нулями и двумя полюсами не

удалось добиться необходимых запасов по амплитуде и фазе. Таким образом, был выбран способ коррекции с помощью интегратора, двух нулей и двух полюсов. На рисунке 4 представлены АЧХ и ФЧХ преобразователя после коррекции.

Исходя из полученных характеристик, можно сделать вывод, что система устойчива. Запас по фазе составляет 49,6 градусов, запас по амплитуде более 7 дБ. АЧХ пересекает ось 0 дБ с наклоном -20 дБ/дек. Это также свидетельствует о хороших динамических свойствах системы. Таким образом, рассмотренная система удовлетворяет частотным критериям качества.

На рисунке 5 представлены АЧХ и ФЧХ корректирующего звена.

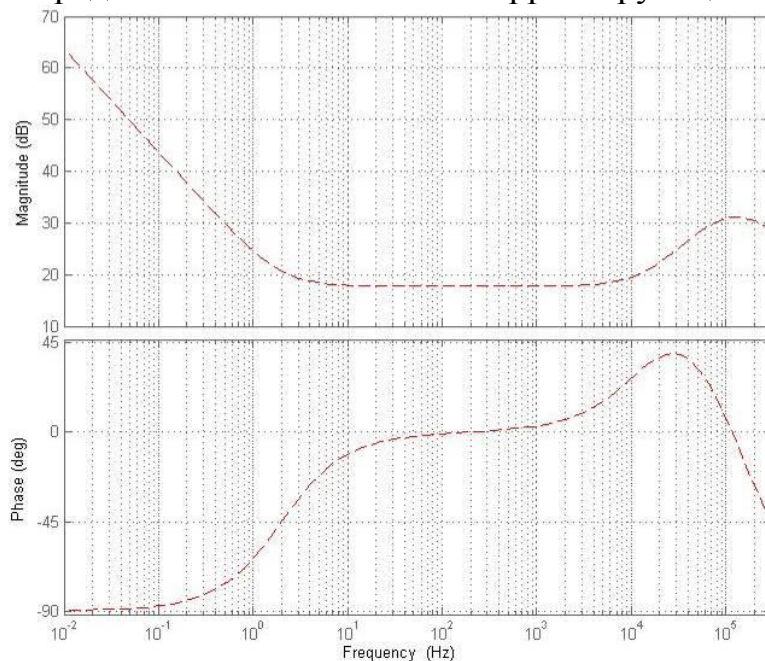


Рисунок 5 – АЧХ и ФЧХ корректирующего звена

Корректирующее звено можно реализовать с помощью операционного усилителя с обвязкой. На рисунке 6 представлена схема корректирующего звена в среде моделирования MicroCap.

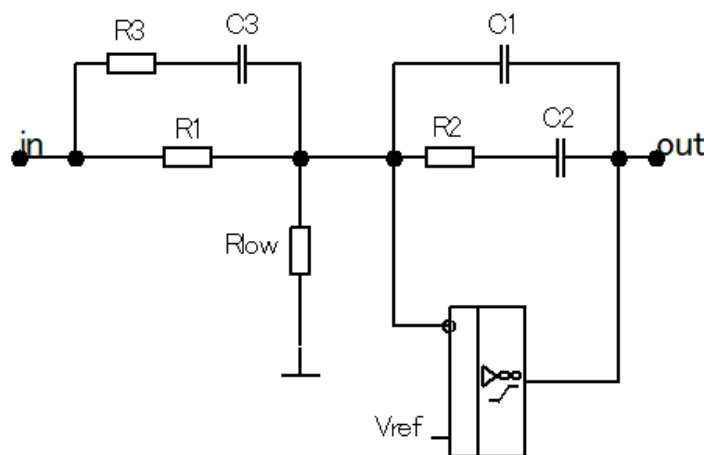


Рисунок 6 – Схема корректирующего звена в MicroCap



Таким образом непрерывная модель позволяет провести проверку правильности расчета номиналов компонентов силового контура преобразователя, провести синтез корректирующих звеньев, а также облегчить последующую реализацию преобразователя на макетной плате и в виде печатной платы.

#### Литература

1. Мелешин В.И. Получение непрерывной линейной модели силовой части импульсного преобразователя как начальный этап проектирования его динамических свойств [Текст] / В. Мелешин // Электричество. – 2002. – № 10.
2. Семенов, Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному [Текст] / Б. Ю. Семенов – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 416 с.
3. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с.

*С.В. Дроздецкий, ст.преп.; А.Д. Юрченков, маг.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ МОДЕЛИ ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ЗВЕНЬЕВ КОРРЕКЦИИ

При проектировании импульсных преобразователей одной из задач является обеспечение устойчивой работы. Для экономии времени и ресурсов на сборку макета удобно использовать моделирование. Моделирование позволяет оценить правильность расчета силового контура преобразователя, провести необходимую коррекцию, а также проверить влияние звеньев коррекции на работу преобразователя используя модели реальных компонентов. Для этого необходимо использовать амплитудно-частотную (АЧХ) и фазо-частотную (ФЧХ) характеристики непрерывной модели импульсного преобразователя [1].

На рисунке 1 представлена непрерывная модель однотактного обратного преобразователя.

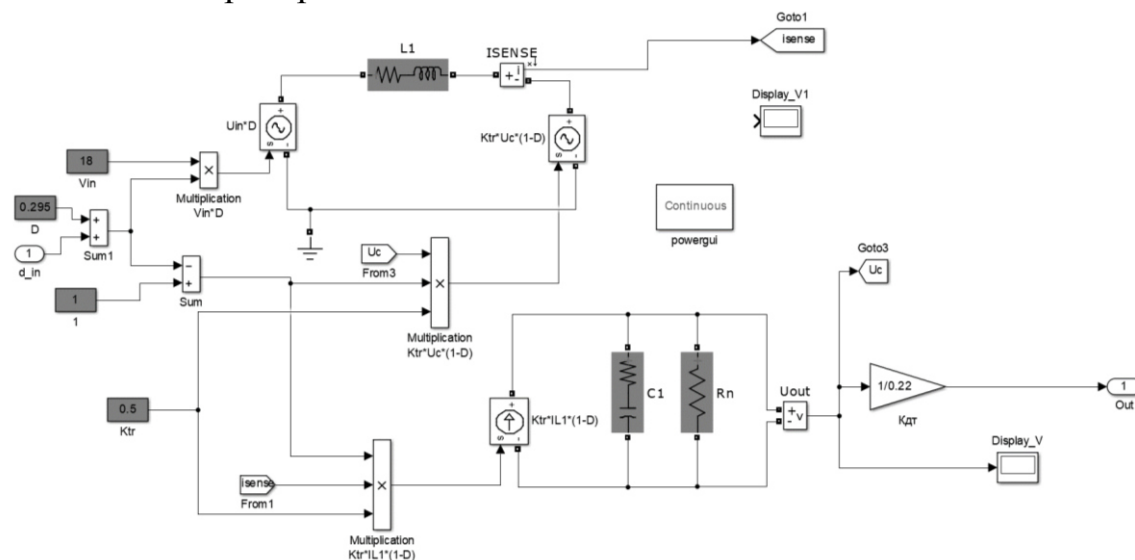


Рисунок 15 — Непрерывная модель преобразователя в среде MATLAB

Для построения частотных характеристик исследуемого преобразователя необходимы следующие характеристики: входное напряжение, индуктивность первичной обмотки, коэффициент заполнения, коэффициент трансформации, выходной конденсатор, нагрузочный резистор.

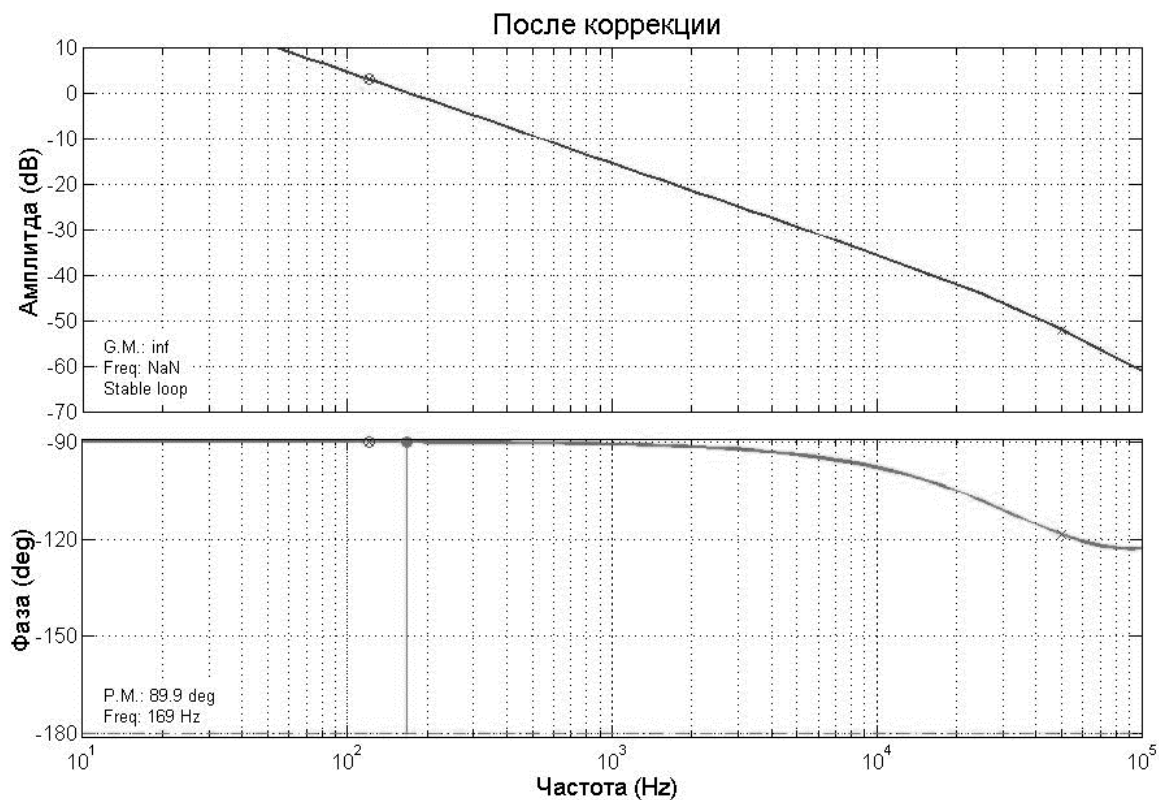


Рисунок 16 — АЧХ и ФЧХ скорректированной системы

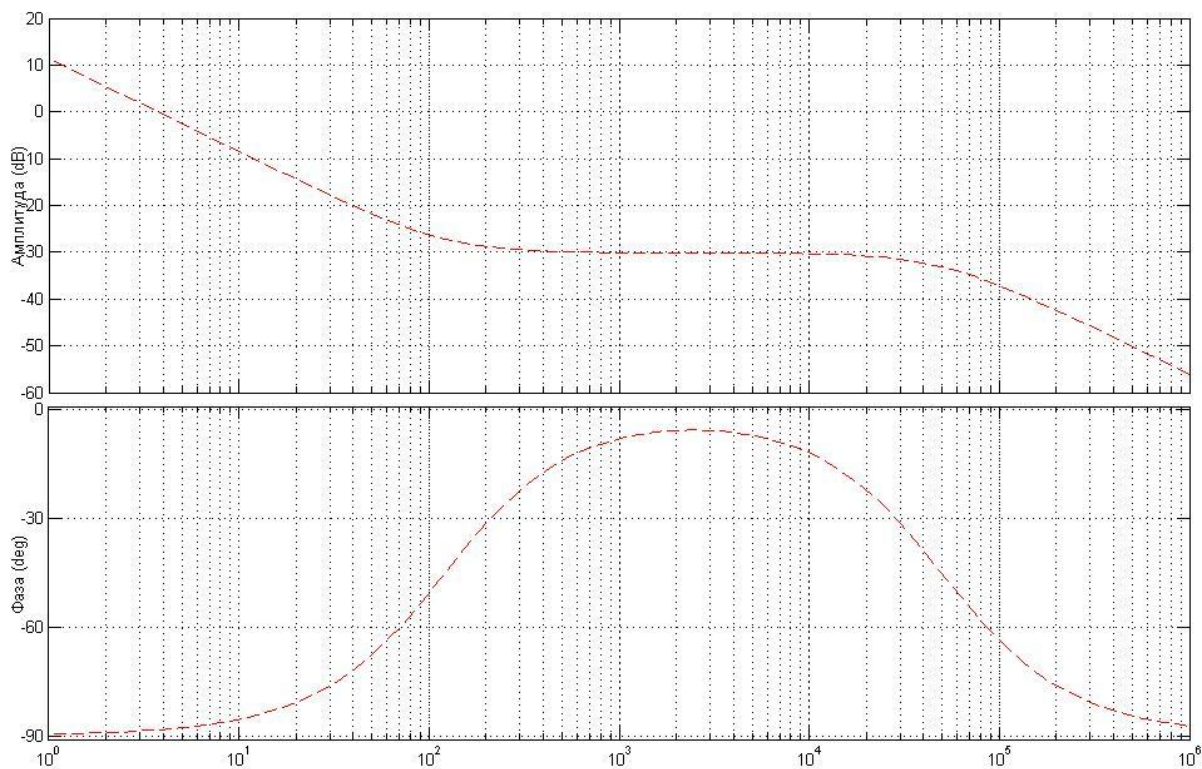


Рисунок 17 — АЧХ и ФЧХ корректирующего звена

Целью коррекции частотных характеристик является обеспечение наклона АЧХ в точке пересечения нуля 20 дБ/дек, протяженностью не менее половины декады в каждую сторону от точки пересечения (рисунок 2). Запас по амплитуде

более 7 дБ и запас по фазе более 45 градусов свидетельствуют о хороших динамических характеристиках системы [2].

Как правило, коррекцию стараются реализовать наименьшим числом корректирующих звеньев [3]. Для однотактного обратного преобразователя возможна коррекция при помощи интегратора; интегратора, одного полюса, одного нуля; интегратора, двух полюсов, двух нулей. В данном случае наиболее стабильную работу обеспечивает коррекция, проведенная с использованием интегратора, одного нуля и одного полюса. АЧХ и ФЧХ корректирующего звена представлены на рисунке 3.

Далее необходимо проверить, возможно ли построить корректирующее звено, с аналогичными частотными характеристиками, на реальных компонентах. Для этого построим модель корректирующего звена используя операционный усилитель с обвязкой в программе *MicroCap* (рисунок 4).

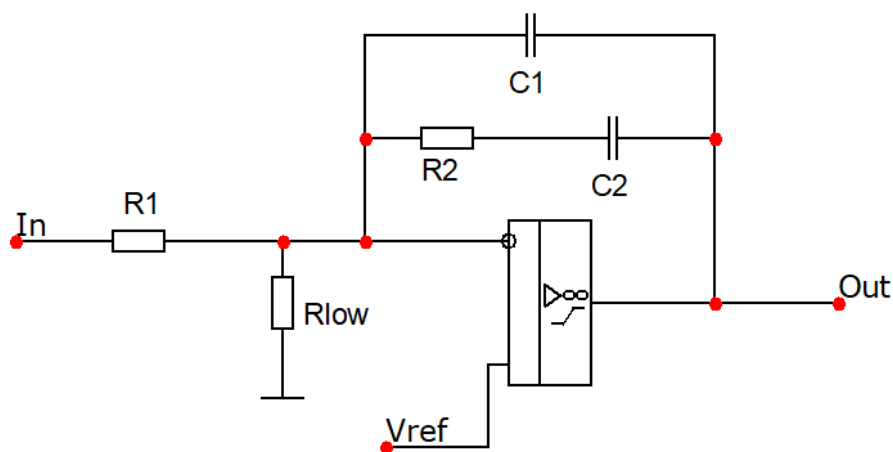


Рисунок 18 — Схема корректирующего звена в *MicroCap*

На вход *In* поступает выходное напряжение преобразователя. При помощи резисторов *R1* и *Rlow* напряжение с точки *In* снижают до значения опорного напряжения *Vref*. Комбинация компонентов *R2* и *C2* образуют нуль. Комбинация компонентов *R2* и *C1* образуют полюс. Номиналы компонентов рассчитываются исходя из необходимой частоты расположения нуля и полюса на частотных характеристиках по следующим формулам:

$$f_{zero} = \frac{1}{2 * \pi * R2 * C2'}$$

$$f_{pole} = \frac{1}{2 * \pi * R2 * C1}$$

Используя частотный анализ построим АЧХ и ФЧХ полученной модели корректирующего звена (рисунок 5).



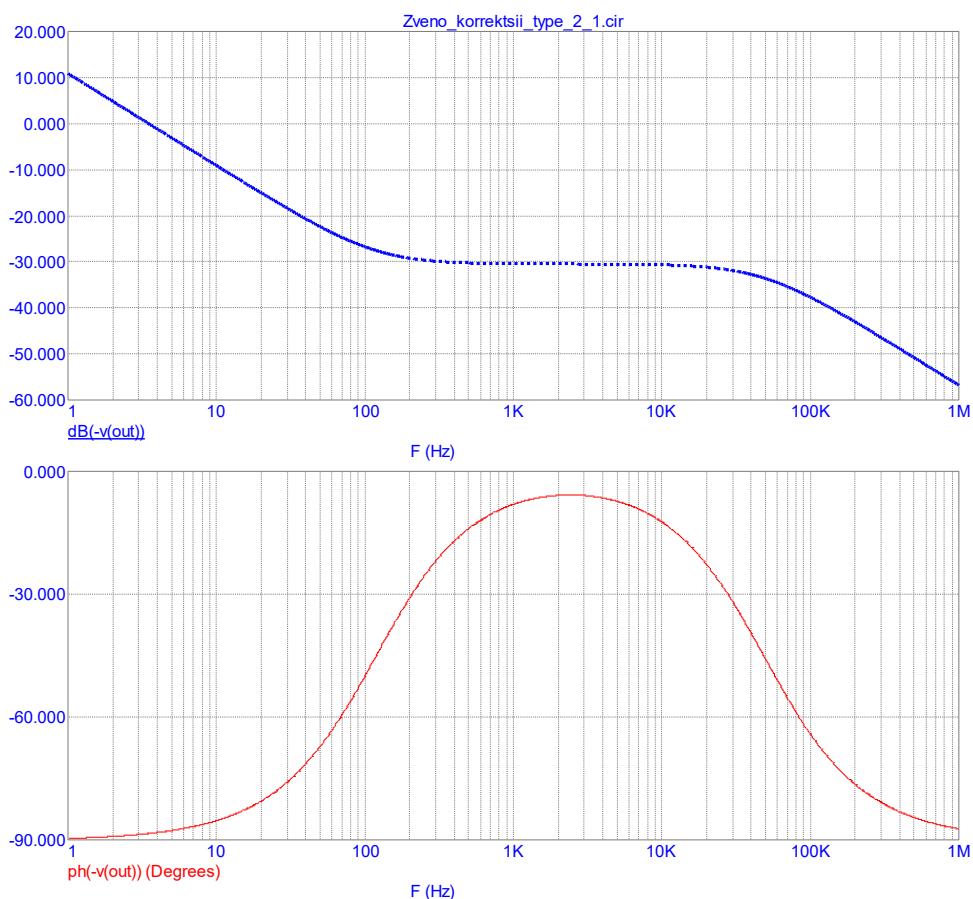


Рисунок 19 — АЧХ и ФЧХ модели корректирующего звена

Полученные характеристики совпадают с характеристиками корректирующего звена, полученных с помощью непрерывной модели. Таким образом непрерывная модель позволяет провести коррекцию работы преобразователя, на основе которой возможен синтез корректирующих звеньев на реальных компонентах.

#### Литература

5. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному / Б.Ю. Семенов – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 416 с.
6. Маниктала С. Импульсные источники питания от А до Z. [Пер. с англ. Авраменко Ю.Ф.] К.: МК-Пресс, Спб.: КОРОНА-ВЕК, 2014. – 256 с.
7. Зиновьев Г.С. Силовая электроника: учеб. пособие для бакалавров. – М.: Юрайт, 2015. – 667 с.

*И.Л. Жбанов, к.т.н.;*  
*(Военная академия ВПВО ВС РФ, Смоленск)*  
*В.Л. Жбанова, к.т.н., доц.*  
*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## МЕТОД НЕЛИНЕЙНОГО ШИФРОВАНИЯ ФОТО И ВИДЕО ИЗОБРАЖЕНИЙ

Интеллектуализация современного общества диктует новые условия и требования для совершенствования криптоустойчивости цифровых изображений, а именно по их надежности и безотказности. На сегодняшний день приоритет основных криптографических устройств определен опико-электронными системами с возможностью выделения отдельных

участков изображения по определенным алгоритмам с нейро-сетевым интерфейсом.

Однако в условиях неблагоприятных факторов (собственные шумы, радиация, неисправность отдельных блоков и систем и т.д) возникают условия приводящие к потере информативности изображений и как следствие потере части передаваемой информации, поэтому развитие подходов минимизирующих их влияния является актуальной задачей исследования.

В качестве одного из возможных направлений развития теории пространственной фильтрации изображений предложен подход, который заключается в возможности преобразования стандартного фильтра в инвариантный с управляемой структурой, который раскрыт в следующей последовательности действий на примере одного изображения  $I(M \times F)$  (рис. 1, а). Выбирается фильтр восстановления изображения имеющий матричную форму записи  $A$  ( $N$ ,  $K$ -размер в пикселях, в дальнейшем), в предлагаемом способе в качестве такого фильтра предложено использовать фильтр Лапласа *laplacian* (широко используемая в пакете программирования *MATLAB*), которыми описывается эффект расфокусировки объектива камеры.

Далее фильтр и восстановления  $A$  ( $N \times N$ ) подвергается сингулярному разложению [1-3]:

$$A = U \Sigma V^H, \quad (1)$$

где  $U$  и  $V$  – унитарные матрицы порядка  $N$ , состоящие из левых и правых сингулярных векторов соответственно;  $( )^H$  – Эрмитово сопряжение;  $\Sigma$  – диагональная матрица порядка  $N$  сингулярных значений  $\xi_i$  матрицы  $A$ .

Таким образом, формируется новая матричная запись инвариантного фильтра восстановления  $X$  полученная методом сингулярного дополнения матрицы  $A$ :

$$X = (A + \alpha UV^T), \quad (2)$$

где  $\alpha$  – регуляризирующий множитель, принимающий значения от 0 до  $N$  в зависимости;  $( )^T$  – оператор транспонирования.

Формируется новое изображение  $I^*$  на основе исходного ( $I$ ) путем его свертки с функцией искажения  $X$  (рисунок 4):

$$I^* = X \otimes I \quad (3)$$

где  $\otimes$  – оператор свертки [1].

Далее формируется матрица шумов **Shum** ( $M \times F$ ) с математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением  $\sigma$  и прибавляется к  $I^*$

$$Z = I^* + \sigma; \quad (4)$$

Для декодирования информации на пункте приема потребителю после ввода вышеуказанных параметров необходимо провести операцию восстановления изображения  $\overset{\times}{\mathbf{I}}$  (рисунок 5) по следующему правилу:

$$\overset{\times}{\mathbf{I}} = \mathbf{Z} \otimes \mathbf{X}_{\text{Винер}}^{-1}; \quad (5)$$

где  $\mathbf{X}_{\text{Винер}}$  – функция искажения, получаемая на основе преобразования функции  $\mathbf{X}$ , по методу Винера [4].

В качестве примера была применена обработка цветного изображения со спутника (рис. 1) и черно-белого – текст (рис. 2) [4]. Снимки одинаково обрабатывались, а далее претерпевали восстановление стандартным способом и авторским. В результате были получены качественные снимки с видимым превосходством авторского метода (см. рис. 1, б и рис. 2, в).



Рис. 1. Обработка изображений: а – восстановление изображения методом Винера; б – восстановление изображения авторским методом Винера

Доказано преимущество метода криптозащиты. За счет факториальной зависимости найти необходимое результирующее положение всех параметров шифрования изображения текста (размеров, вида функции искажения, параметра регуляризации  $\alpha$  и  $\sigma$ ) вычислительным путем весьма проблематично, поэтому подобный метод криптозащиты весьма надежен. Также метод может быть использован для передачи фото, видео сообщений и текстовой информации между потребителями, использующими системы передачи данных любого назначения.

Далее встает вопрос о количественной характеристике и параметрах восстановления. В дальнейшем планируется применить различные методы оценки восстановленного изображения.

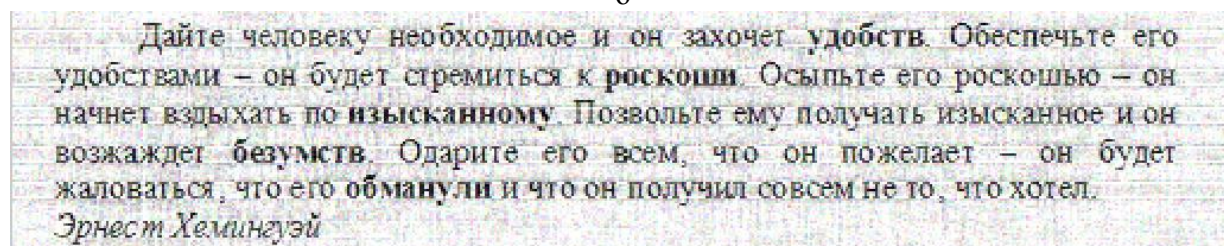


Дайте человеку необходимое и он захочет удобств. Обеспечьте его удобствами – он будет стремиться к роскоши. Осыпьте его роскошью – он начнет вздыхать по изысканному. Позвольте ему получать изысканное и он возжаждет безумств. Одарите его всем, что он пожелает – он будет жаловаться, что его обманули и что он получил совсем не то, что хотел.  
*Эрнест Хемингуэй*

а



б



в

Рис. 2. Текстовое изображение: а – исходное; б – восстановленное при известной функции искажения А методом Виннера; в - восстановленного текста методом Винера на основе сингулярного дополнения матрицы опорного фильтра свертки

Подобные вопросы являются проблемами стратегии научно-технического развития страны при переходе к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта. А также к приоритетному направлению информационно-телекоммуникационные систем.

#### Литература:

1. Журкин И.Г., Бадышев Т.Т., Бадышева Е.К. Шифрование изображений средствами программного продукта MATLAB // Геодезия и аэрофотосъемка. №1, 2014.С. 108-111.
2. Приоров А.Л., Ганин А.Н., Хрящев В.В. Цифровая обработка изображений. М.: Мир, 2001. 312 с.
- 3.Потапов А.А. , Гуляев Ю.В. , Никитов С.А. , Пахомов А.А. , Герман В.А. Новейшие методы обработки изображений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 456 с.
4. Жбанов И.Л., Жбанова В.Л. Способ шифрования текстовой информации сингулярным дополнением матрицы опорного фильтра свертки // Известия ТулГУ: технические науки. 2021. №2.

*В.Л. Жбанова, к.т.н., доц.; В.Р. Гафуров, студ  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **СТРУКТУРА ФОТОКОЛОРИМЕТРА**

Любая цифровая установка обладает обусловленным методом обрабатывания сигналов с целью захвата и воспроизведения информации. Инновационные цифровые колориметры совершают вычисление цвета и

цветности в разных колориметрических системах. Поэтому текущие цифровые фото- и видеокамеры, сканеры, цифровые миналабы также можно отнести к этим приборам. Цифровая фотоколориметрия, являясь частью компьютерной оптики, все чаще применяется в таких сферах деятельности как медицина, биология, сельскохозяйственной промышленности и др. Часто бывают проблемы с ограниченностью цифрового изображения, в частности, цветового охвата при работе с готовым изображением. [1-3].

Разработан цифровой фотоколориметр с приемником, согласованным с собственным цветовым пространством на базе комплекта светофильтров (таблица 1).

Таблица. 1. Набор корректирующих светофильтров

| Система $M'N'P'$ | Приемники<br>$X1X2Y1Z1$ | Набор корректирующих СФ |
|------------------|-------------------------|-------------------------|
| для $M'$         | $X1$                    | СЗС23, ОС5, ОС17        |
|                  | $X2$                    | СЗС9, ФС1, ЖС3, СС15    |
| для $N'$         | $Y1$                    | ЗС10, СЗС23, ЖЗС6       |
| для $P'$         | $Z1$                    | ЖС3, СС15, СЗС21        |

Разработанный цветовой треугольник  $M'2N'2P'2$  целиком охватывает график цветности  $xu$  (рис. 1, а) и имеет следующие координаты  $M'(0,74;0,26)$ ,  $N'(0;1)$ ,  $P'(0;-0,08)$ . В сравнении с системой  $RGB$  1931 г. не имеет отрицательных ветвей, а в отличие с цветовым треугольником системы  $XYZ$  1931 г. число нереальных цветов наименьшее. Вид кривых последней системы имеет довольно точно совпадение с формой кривых системы  $XYZ$  1931 г.

Для моделирования нового цифрового колориметра, который должен работать в новой колориметрической системе необходимо было разработать специальный бокс для компактности и мобильности устройства. Также он должен давать возможность разместить источник света (ИС) для анализа прозрачных, полупрозрачных объектов, а также работающих на отражение. Главным преимуществом создания данного устройства является его малогабаритность, для обеспечения возможности использовать его как переносной. В следствии исследования форм и методов конструирования оптико-электронных приборов, был создан бокс колориметра, включающий в себя отдельные составные части, для портативного использования и дальнейшего совершенствования [4].

Основание колориметра выполнено в форме цилиндра и включает крепление предметного столика, отверстие для фиксации молочного стекла, бортик, и крепеж для съемного короба с комплектом светофильтров. Полочка, на который размещают изучаемый образец, легко съемный и благодаря резьбовому соединению имеет регулировку. Светофильтры выбирались из ГОСТ 9411-91 и каталога цветных оптических стекол, которые имеют одинаковую форму и толщину от 2,5 до 6 мм. С учетом этих параметров сконструирован короб со сквозным отверстием 40 мм, совпадающая с диаметром объектива фотоприемника (ФП), через которое проходит излучение и попадает на ФП ПЗС. Для обеспечения освещения рассматриваемого объекта под различным углом, по

рекомендациям МКО, верхняя часть колориметра имеет полусферическую форму с отверстиями, которые расположены под углом  $0^\circ$  и  $45^\circ$  от нормали. Чтобы зафиксировать излучение ИС, отверстия имеют резьбу. Принимая во внимание большой размер и форму ИС, разработан специальный держатель лампы, который имеет крепление для лампы, затем вкручивается в необходимое отверстие. Для точного визуального анализа цвета, необходимо освещение, которое проводится из одной точки, без бликов и поглощающих свет элементов. В устройстве исполнена фотометрическая схема освещения/наблюдения  $d/0$ . Незадействованные отверстия закрывают заглушкой, чтобы не было засветки. Так же для соединения двух частей вместе имеется отверстие, которое сделано так, что при состыковке в передней части прибора, создавалось отверстие диаметром 40 мм и расположенное спереди в нижней и верхней части.

Принцип работы колориметра поясняется его конструктивной и структурной схемами, представленных на рис. 1-2.

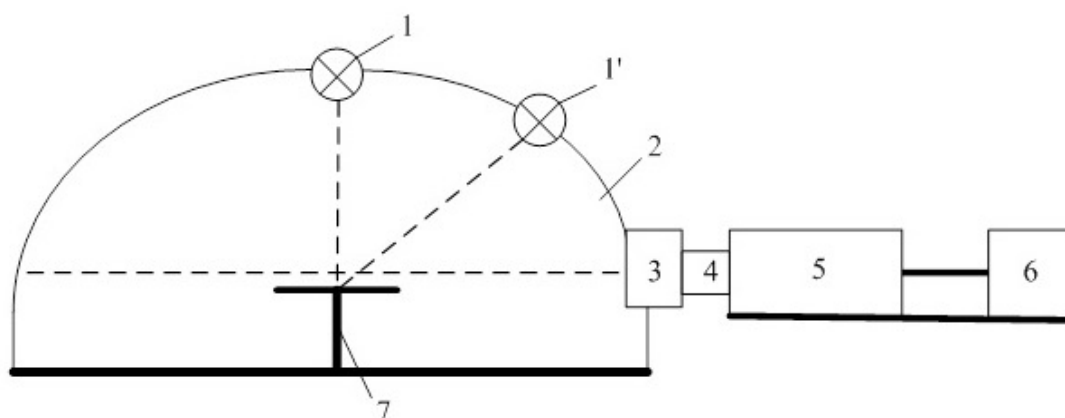


Рисунок 1. Вид колориметра в разрезе, где: 1 – ИС; 2 – Фотометрическое устройство; 3 – светофильтр; 4 – объектив; 5 – цифровая камера; 6 – приемное устройство; 7 – предметный столик

Благодаря применения полусферического бокса, покрытого изнутри диффузно отражающим материалом, ИС дает близкое к диффузному освещение исследуемого объекта в верхней полусфере и служит экраном для защиты от внешних цветовых помех. ИС в данном исследовании послужила лампа типа А. В качестве объекта исследования выбран тип ИС, который является в ГОСТ 9411-91 для координат цветности на цветное оптическое стекло.



Рисунок 2. Принцип работы колориметра

Излучение от ИС 1 под  $0^\circ$  к нормали, отражаясь от стенок фотометрического устройства 2, образует диффузное освещение. Отраженный

световой поток под  $45^\circ$  к нормали проходит по отдельности через каждый светофильтр в наборе 3, проходя через объектив 4, строящий изображение на цифровом матричном ФП цифровой камеры 5, фиксирующим снимок и отправляющим его через USB-кабель на ноутбук 6, где происходит обработка снимков. С помощью разработанной программы оператором выделяется рабочая область изображения. В результате получаются снимки, на основе которых находится среднее распределение яркости по каждой спектральной кривой приемника.

Для работы с различными объектами в колориметре предусмотрен столик 7, а также смена позиции ИС 1'. Так как в качестве объекта исследования координат цвета были выбраны светофильтры по ГОСТ, которые размещались в коробе съемных светофильтров 3, то столик из бокса был удален.

Разработанный колориметр дает возможность обеспечить соответствующую оценку цветов прозрачных и полупрозрачных образцов. Преимуществом устройства являются:

- достоверная информация о цветовой составляющей изображения контролируемого образца за счет расширенного функционала устройства;

- возможность использования приемника с любой системой цветоделения, что позволит получить адекватную цветопередачу зеленых или желто-зеленых оттенков;

- работа в цветовых пространствах близких к колориметрической системе МКО XYZ 1931 г., что минимизирует цветовые искажения при преобразовании цветовой информации;

- Изменяя набор корректирующих светофильтров, можно корректировать колориметрическую систему;

Для диффузного отражения внутри бокса будет предусмотрено особое диффузное покрытие –  $BaSO_4$ . Основной задачей является обеспечение достоверной информации о цветовой составляющей изображения прозрачных объектов посредством регистрации матричным ФП с системой цветоделения на светофильтрах с максимальным телом цветового охвата. Следующим этапом планируется провести эксперимент на разработанном колориметре с объектами сложной формы, такими как алмазы, бриллианты, стразы. Необходимо заменить ИС типа *A* на тип *D65*, как наиболее универсальный при работе с цифровыми изображениями.

#### Литература:

1. Жбанова, В.Л. Системы цветоделения матричных фото-приемников: монография. – Смоленск: РИО филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2018. – 186 с.

2. Мешков, В.В., Матвеев А.Б. Основы светотехники: Учеб. пособие для вузов: В 2-х ч. Ч. 2. Физиологическая оптика и колориметрия. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 432 с. 3. 17.

3. Парвулюсов Ю.Б., Родионов С.А., Солдатов В.П. и др. Проектирование оптико-электронных приборов. Учебник. Изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. Ю. Г. Янкушенкова. М.: Логос, 2000. - 488 с.

4. Zhbanova V.L. Development and research of digital photocolormeter // Journal of Optical Technology. 2020. № 3. DOI: 10.33383/2020-024.

## **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ОПТИЧЕСКОГО ВИЗИРА**

Аппаратура ТОВ (телевизионного оптический визир) представляет собой приемопередающую телевизионную оптическую систему замкнутого типа, в состав которой входят следующие функциональные устройства, внешний вид аппаратуры (см. рис. 1):

- а) оптическое звено (оптическая головка), обеспечивающее проецирование объекта на фоточувствительный элемент;
- б) преобразователь «СВЕТ-СИГНАЛ» (передающая телевизионная трубка), осуществляющий преобразование энергии оптического излучения в электрический сигнал;
- в) видеотракт, обеспечивающий усиление и преобразование видеосигнала, а также его передачу от передающего к приемному звену;
- г) преобразователь «СИГНАЛ-СВЕТ» (приемная телевизионная трубка-кинескоп), выполняющий преобразование электрического сигнала в видимое изображение;
- д) развертывающие устройства, обеспечивающие последовательное считывание сигнала в передающей трубке и воспроизведение изображения на экране приемной трубки;
- е) синхронизирующее устройство, обеспечивающее синхронную и синфазную работу развертывающих устройств в передающем и приемном звеньях;
- ж) вторичные источники питания.

В системе замкнутого типа электрический сигнал от передающего звена к приемному передается по кабельной линии связи. На мишень передающей трубки проецируется изображение перекрестия, предназначенного для определения положения визирной оси в пространстве. Визирная ось представляет собой прямую, проходящую через центр перекрестия и наблюдаемый объект. Положение визирной оси в пространстве может быть определено по направлению телевизионной камеры при условии, что изображение наблюдаемого объекта находится в центре перекрестия.

Объектив оптической головки проецирует изображение наблюдаемого объекта на мишень передающей трубки. В качестве передающей трубки в ТОВ 9ШЗ8 используется видикон ЛИ 415 [1].

В соответствии с техническим описанием, телевизионный оптический визир 9ШЗ8 предназначен для наблюдения и определения угловых координат удаленных объектов. Он может работать в составе устройств, обеспечивающих наведение ТОВ на наблюдаемый объект.





Рис. 1. Внешний вид аппаратуры ТОВ 9ШЗ8

Таким устройства является, например, станция сопровождения цели (ССЦ) боевой машины 9А33БМЗ ЗРК. Применение телевизионного оптического визира 9ШЗ8 в составе боевой машины 9А33БМЗ позволяет обеспечить защиту от противорадиационных самонаводящихся снарядов типа «Шрайк».

Все телевизионно-оптические параметры аппаратуры обеспечиваются при освещенности на входе оптической головки не ниже 500 лк и не выше 100000 лк [2].

Определим линейность изображения по следующим формулам:

$$N_{\Gamma} = 2 \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} \cdot 100\%; N_B = 2 \frac{B_{\max} - B_{\min}}{B_{\max} + B_{\min}} \cdot 100\%, \quad (1), (2)$$

где  $N$  – величина нелинейных искажений в процентах;  $A_{\max}$  – ширина наиболее широкого прямоугольника;  $A_{\min}$  – ширина наиболее узкого прямоугольника;  $B_{\max}$  – высота наиболее высокого прямоугольника;  $B_{\min}$  – высота наиболее низкого прямоугольника.

Примем, что  $A_{\max}=2,2$ ;  $A_{\min}=2$ ;  $B_{\max}=2,3$ ;  $B_{\min}=1,9$ ; тогда  $N_{\Gamma}=9,5\%$ ;  $N_B=19\%$ .

Геометрические искажения искажения определяются исходя из формул:

$$m_{\text{тр}} = 2 \frac{l_2 - l_1}{l_2 + l_1} \cdot 100\%; m_{\text{пар}} = 2 \frac{h_2 - h_1}{h_2 + h_1} \cdot 100\%; \quad (3-6)$$

$$m_{\text{под}} = 2 \frac{h_2 + h_1}{l_2 + l_1} \cdot 100\%; m_{\text{бооч}} = 2 \frac{h_2 + h_1}{l_2 + l_1} \cdot 100\%,$$

где  $m$  – величина геометрических искажений в процентах.

Примем, что  $l_2=3,3$ ;  $l_1=2,5$ ;  $h_2=4$ ;  $h_1=1$ ; тогда  $m_{\text{тр}}=27,6\%$ ;  $m_{\text{пар}}=120\%$ ;  $m_{\text{под}}=172,4\%$ ;

Исследование канала строчной развертки производится по графикам (см.рис.3). Получим:  $U_{\text{ссу}}=63$  В;  $T_{\text{ссу}}=50$  мс;  $\tau_{\text{ссу}}=0,02$  мс;  $U_{\text{с вых}}=400$  В;  $T_{\text{с вых}}=20$  мс.

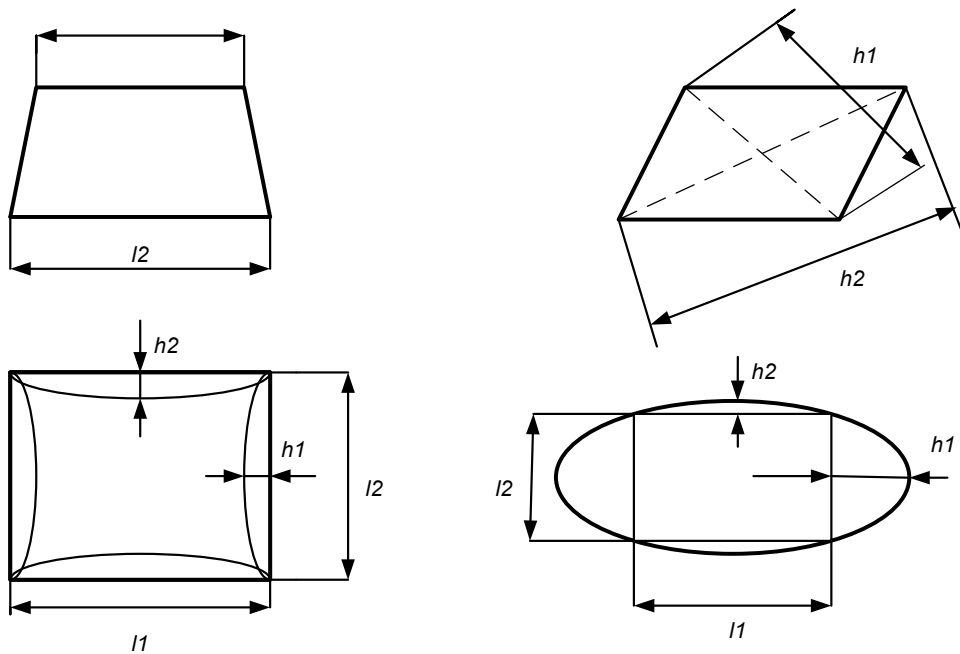


Рис. 2. Геометрические искажения

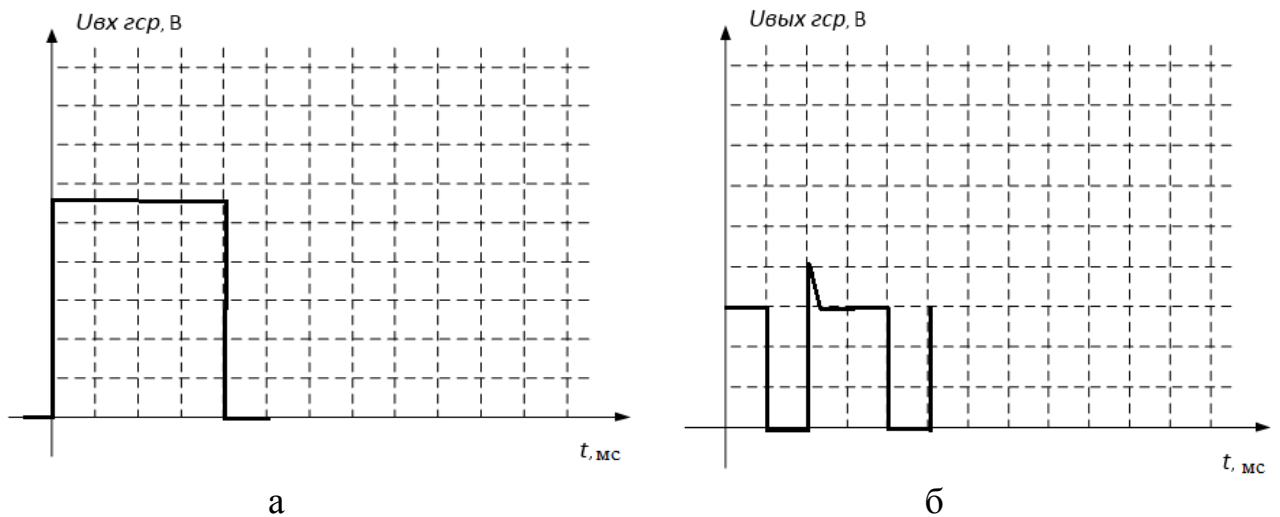


Рис. 3. Канал строчной развертки: а – входной сигнал; б – выходной сигнал

Исследование канала кадровой развертки производится по графикам (см. рис. 4).

Параметры кадровых синхроимпульсов на входе канала:  $U_{кци} = 14$  В;  $T_{кци} = 20$  мс.

Параметры импульсного напряжения на выходе генератора кадровой развертки:  $U_{квых} = 500$  В;  $T_{квых} = 20$  мкс.

Таким образом, объектив оптической головки проецирует изображение наблюдаемого объекта на мишень передающей трубки. В качестве передающей трубки в ТОВ 9ШЗ8 используется видикон ЛИ 415. В ходе эксперимента и проведенного анализа были обнаружены достаточно большие искажения, которые приводят к не точной работе устройства, а именно не четкое обнаружение маленьких целей на дальних расстояниях.

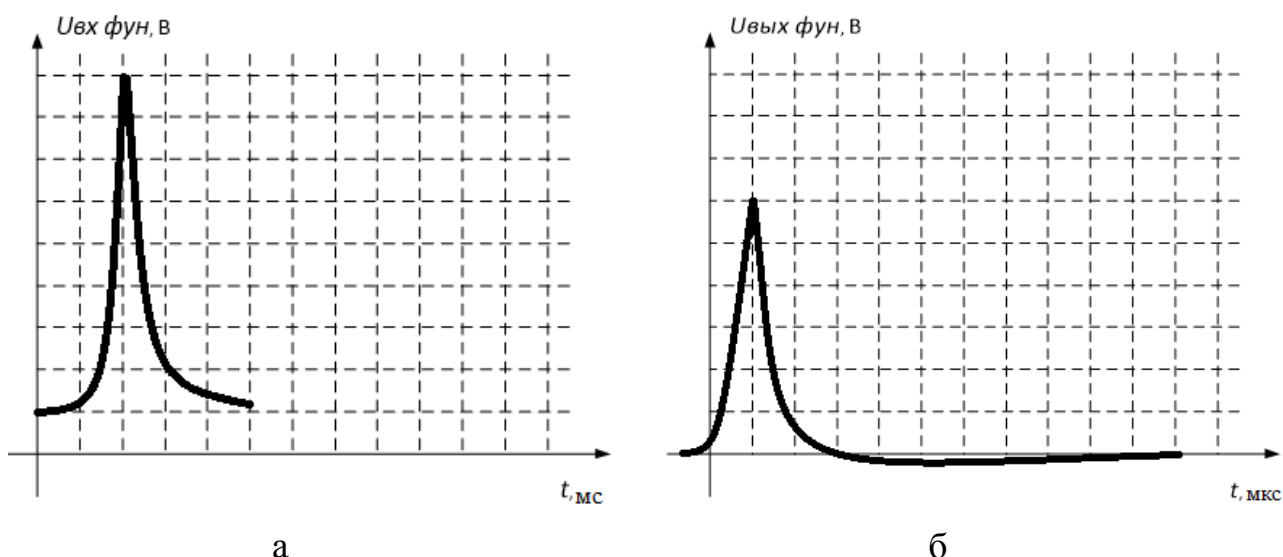


Рис. 4. Канал кадровой развертки: а – входной сигнал; б – выходной сигнал

Далее планируется исследование возможности замены видикона ЛИ415 на матрицу, для улучшения качества изображений, получаемых при наведении на цель. Это позволит перейти к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта.

Литература:

1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации «Телевизионно-оптический визир» / Илюхин И.М – 55с.
2. Проектирование оптических и оптико-электронных визиров / Илюхин И.М., Каледин С.Б. М.: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2016. -84с.

*В.Л. Жбанова, к.т.н., доц.; Н.О. Романкова, студ  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **СПЕКТРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДЛЯ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ И СЖАТИЯ 3D-СЕТОК**

В настоящее время из-за простоты создания цифрового 3D-материала большое количество информации легко записать и сохранить. Однако информация, получаемая 3D-сканерами, обычно огромна и не организована, создающая шумные и плотные 3D-модели, которые очень трудно эффективно обрабатывать другими приложениями и программным обеспечением высокого уровня без дальнейшей обработки (т.е. сжатия и шумоподавления). Этот растущий интерес к 3D-сеткам повлиял на многие различные научные области [1].

Вычислительная сложность и требования к памяти для спектральных методов сильно зависят от плотности 3D-модели, что приводит к недопустимым значениям при значительном увеличении количества вершин. Как было предложено в [2], эта проблема может быть решена, если исходные геометрические данные были разделены и обработаны отдельно в блоках, представляющих различные перекрывающиеся части сетки, а именно подсетки.

Сетка разделяется на различные подрешетки, а затем они обрабатываются отдельно с использованием спектральных методов. Однако в этом случае окончательная реконструированная модель имеет потерю качества, которая объясняется смещением вершин, лежащих в областях, где две подрешетки имеют общие ребра. Это явление известно как эффект края (рис. 1), и оно требует специальной обработки, чтобы его можно было смягчить или устранить. Чтобы преодолеть эту проблему, мы создаем перекрывающиеся подрешетки, расширение каждой подрешетки с использованием также соседних вершин граничных узлов соседних подрешеток до выполнения заданного числа  $N_d$  вершины, в общей сложности, для всех подрешеток сетки. Эта операция уменьшает вносимую ошибку и дополнительно создает подрешетки одинакового размера, необходимые для выполнения ортогональной интеграции. На рис. 1 показано различные сценарии сегментации с использованием алгоритма MeTis. Рассматривая вторую строку этого рисунка, на которой представлена реконструированная модель, выделяющая края треугольников, становится очевидным, что чем больше частей сегментации, тем более очевиден эффект ребер.

Краевой эффект объясняется отсутствием соседей, неизбежно вызванных сегментацией сетки. Отсутствующие соседи означают отсутствие связи, что приводит к отсутствию записей в матрице Лапласа графа. Однако эффективный способ эффективно справиться с этим ограничением – объединить восстановленную геометрию перекрывающихся деталей. Масса, которая присваивается каждой точке, пропорциональна степени узла (например, количеству соседей) в соответствующей подрешетке.

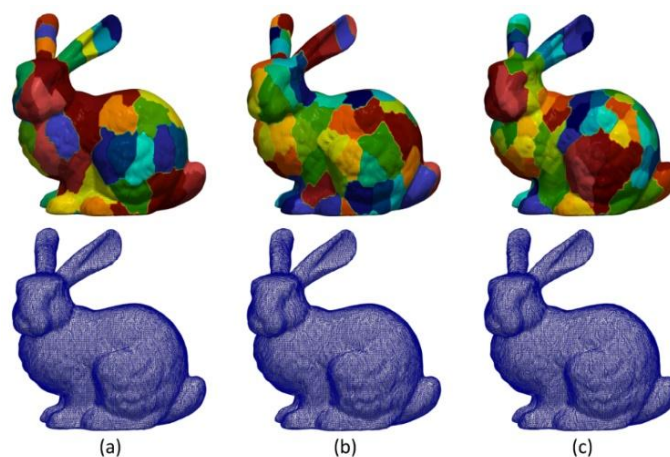


Рис.1. Сегментация модели кролика с использованием алгоритма MeTis и соответствующие реконструированные модели без применения процесса перекрытия

Перекрытие гарантирует, что каждая вершина будет участвовать в более чем одной подрешетке, и, следовательно, вероятность наличия одинаковой степени (по крайней мере в одной из них) значительно возрастает. На рис. 2



представлен пример, показывающий массу, присвоенную точке (выделенной красным цветом), которая участвует в трех перекрывающихся подрешетках.

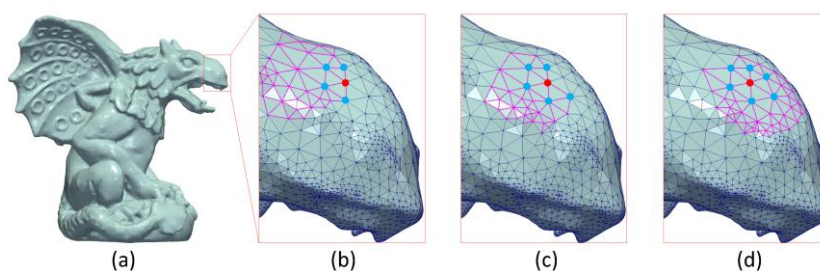


Рис. 2. Зависимость веса точки от выбранной подсети

Кроме этого, исследуем, гарантируют ли сегментация и обработка перекрывающихся участков плавный переход в различных случаях, когда точки краев принадлежат плоским или острым областям. На этом этапе следует отметить, что точки ребер могут быть частью ребер, углов или плоских областей. Ниже приведены результаты, показывающие, что способ обработки краевых точек гарантирует во всех вышеупомянутых случаях плавный переход, успешно смягчающий краевые эффекты.

Процесс начинается с использования алгоритма MeTis для идентификации начальных частей. Затем каждая деталь расширяется, используя соседние граничные узлы, принадлежащие соседним деталям, до тех пор, пока все они не будут иметь одинаковый заранее определенный размер. Следовательно, каждая граничная точка участвует в более чем одном сегменте. Масса, которая присваивается каждой точке, участвующей в более чем одной части, представляет ее степень (т. е. количество подключенных соседей) в определенной части (рис. 3). Конечное положение граничной точки оценивается с использованием подхода средневзвешенного значения, как упоминалось выше.

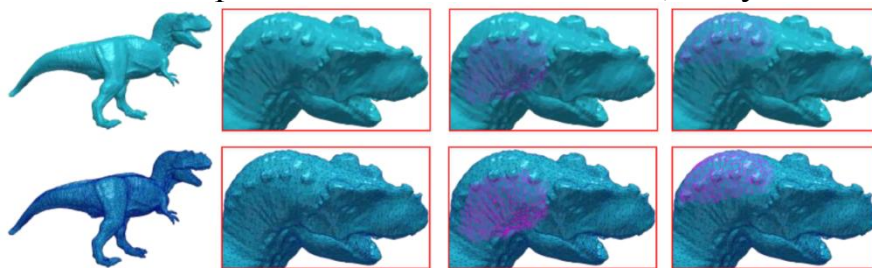


Рис. 3. Перекрытие частей означает, что каждая граничная точка принадлежит более чем одной части, и ее степень может значительно различаться между разными частями

Для этого конкретного исследования рассмотрим три различных случая ошибок распределения во внутренних и граничных точках каждой подрешетки:

1. Неперекрывающийся случай, когда каждый узел участвует только в одной части.

2. Случай перекрытия, когда каждая деталь расширяется с использованием соседей граничных узлов, принадлежащих соседним деталям. Таким образом, каждая пограничная точка участвует в нескольких частях, которые реконструируются индивидуально. Конечное положение граничной точки

оценивается с использованием простого среднего значения восстановленных положений.

3. Взвешенный случай перекрытия, когда каждая деталь расширяется с использованием соседей граничных узлов, принадлежащих соседним частям, и конечное положение граничной точки оценивается с использованием средневзвешенного значения.

Стандартное отклонение восстановленной ошибки во внутренней и граничной точках каждой подрешетки для каждого из вышеупомянутых случаев представлено на рис. 4. Для создания этой фигуры использовали в общей сложности восемь моделей. На каждой ячейке центральная метка - это медиана, края ячейки – 25-й и 75-й перцентиль, а усы простираются до самых крайних точек данных, которые не считаются выбросами. Изучив этот рисунок, можно четко показать, что схема взвешивания гарантирует плавный переход, поскольку распределение погрешности во внутренней и граничной точках имеет почти идентичные характеристики, значительно превосходящие два других случая.

Аналогичные выводы можно также сделать, наблюдая за рис.5. На этом рисунке представлены результаты этапа грубого шумоподавления после разбиения модели Fandisk на несколько подсеток. (a) Кроме того, были выбраны ориентировочные области, в которых соединены две или более подсеток; (b) Случай отсутствия перекрытия, краевой эффект очевиден в областях, где соединены подсетки; (c) Случай перекрытия, краевой эффект был смягчен, но еще не устранен. Чем больше число разделений, тем острее проблема эффекта; (d) Случай взвешенного перекрытия, результаты кажутся независимыми и не затронуты разделением (Fandisk  $\sigma^2 = 0,2$ ).

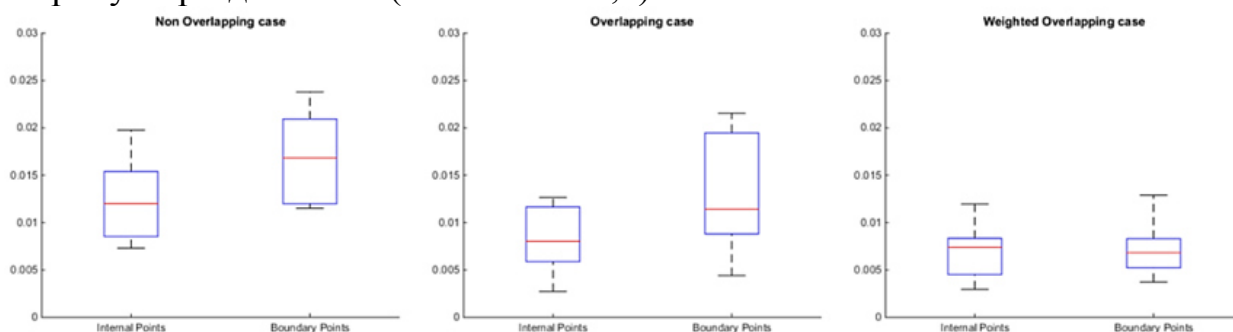


Рис. 4. Стандартное отклонение восстановленной ошибки во внутренних и граничных точках каждой подсетки для каждого случая

Очевидно, что ошибка на граничных узлах минимизируется в случае средневзвешенного значения, в то время как эффекты сегментации очень заметны в двух других случаях.

В этой работе представили подход быстрой спектральной обработки, идеально подходящий для низкоуровневых приложений (например, шумоподавления и сжатия), применяемых в статических и динамических трехмерных сетках высокой плотности в реальном времени. Достоинства данного метода заключаются в том, что он предоставляет гораздо лучшую производительность по времени выполнения, по сравнению с подходом спектральной обработки на основе SVD и при этом качество восстановленных

моделей аналогично или даже лучше качества реконструкции. Однако, по сравнению с прямым SVD, данному методу необходим тщательный выбор оптимального размера подпространства для одновременного достижения наилучшего качества реконструкции и максимального времени выполнения сжатия и шумоподавления.

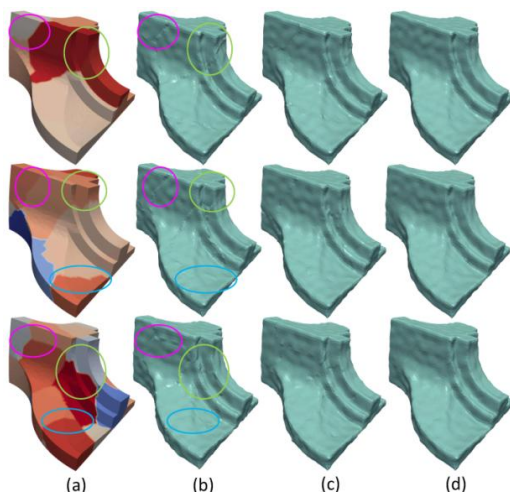


Рис. 5. Результаты этапа грубого шумоподавления после разделения модели Fandisk на различное число подсеток (10, 15 и 20 соответственно)

В дальнейшем планируется применить эту методику для анализа картографических изображений и снимков со спутника для выявления новых критериев качества.

#### Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображения. М., 2005.
2. A. S. Lalos, I. Nikolas, E. Vlachos and K. Moustakas, "Compressed Sensing for Efficient Encoding of Dense 3D Meshes Using Model-Based Bayesian Learning," // IEEE Transactions on Multimedia. 2017. vol. 19. #1, pp. 41-53. doi: 10.1109/TMM.2016.2605927.

*В.Л. Жбанова, к.т.н., доц.; Ю.Д. Антипова, студ  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

#### **РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СУБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ ЦВЕТОВЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ**

Субъективное впечатление от цветовых предпочтений привлекло большое внимание в исследованиях освещения [1-3]. Его определение можно сформулировать как субъективную степень того, как наблюдателю нравится цветовой вид цветных объектов в комнате в зависимости от контекста просмотра или области применения освещения [3]. Взвешивание актуальности разных цветов в субъективных оценках цветовых предпочтений мужчин и женщин достаточно интересная и перспективная тема в исследованиях не только светотехники, но и психологии, эргономики, психофизики. Это поможет лучше понять работу зрительного аппарата человека, т.е. не только глаза как главного органа зрения, но и включая работу мозга.

Подобными исследованиями уже занимаются в США, Китае и Германии [2]. Цветовые предпочтения освещения в настоящее время являются

предметом интенсивного изучения в области оценки качества освещения. Целью этих исследований было выяснить, при каких типах источников света субъекты предпочитают визуализируемые цвета освещаемого объекта, чтобы исследовать влияющие факторы визуального восприятия цветовых предпочтений. Были также исследования для установления объективной метрики, которая коррелирует с субъективными ответами наблюдателей, полученными из психофизических экспериментов.

Благодаря экспериментальным исследованиям появляется возможность более качественного анализа в области оценки качества освещения, а также выявить при каких типах источников света субъекты предпочитают визуализируемые цвета освещаемого объекта, чтобы исследовать влияющие факторы визуального восприятия цветовых предпочтений. При постановке психофизического эксперимент возможно установить объективную метрику, которая коррелирует с субъективными ответами наблюдателей.

Каждый проводимый эксперимент обладает определенными недостатками, которые ограничивают результаты исследований: небольшой набор участников, малые цветовые наборы образцов, отсутствие повторяемости результатов исследования и так далее. Поэтому проблема субъективного предпочтения цветов человеком в полной мере не решена пока ни на техническом, ни биологическом, ни психофизическом уровнях.

Согласно современной литературе, цветовые предпочтения освещения зависят от нескольких факторов, включая применение освещения, региональные или культурные различия, освещенность, знакомство с экспериментальным объектом, цветовые особенности освещаемых объектов, а также белизна источников света.

Однако все эти результаты исследований показывают: проблема субъективного предпочтения цветов человеком не решена пока ни на техническом, ни биологическом, ни психофизическом уровнях.

Поэтому авторами предлагается ввести новые опорные моменты в уже проведенные исследования:

1. Разработать методику исследования для оценки влияния фона (сцены) на предпочтение цвета человеком.

2. Разработать методику исследования цветовых предпочтений в области насыщенных, средних цветов, а также исследовать влияние выбора таких смешанных цветов как фиолетовый, оранжевый, лайм и т.д., которые могут обладать метамеризмом, что для человеческого глаза не различимо.

3. Исследовать субъективный выбор цветов человека в зависимости от оттенка цвета, что особенно интересно в гендерном плане.

4. Выявить взвешивающие коэффициенты цветовых предпочтений насыщенных цветов и их оттенков по гендеру и возрасту от 18 до 24 лет. Именно эта возрастная группа поможет ответить на вопрос с порогом цветовой дифференциации, который составляет минимум 20 лет. Появится возможность рассмотреть группы 18-20 лет и 21-24 лет, чтобы обнаружить появление порога цветовой дифференциации и субоптимального порога.



Перечисленные исследования возможны за счет разработки специальных стендов в черной фотометрической комнате без цветовых и световых помех. Будут разработаны стенды с источниками различных типов: ламп накаливания, светодиодов, галагеновых ламп, для реализации различных цветовых температур от 2856 до 6500 К. В стенды будут вмонтированы различные фоны для анализа цветовых образцов: черный (на основе черного бархата), белый (на основе сульфата бария) и несколько цветных фонов. Пример экспериментальной установки представлен на рис. 1.

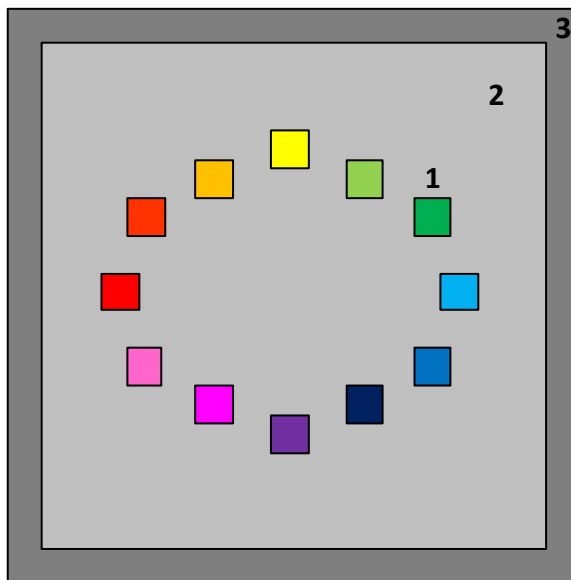


Рисунок 1 – Установка для исследования субъективной оценки цветовых предпочтений

Установка будет включать образцы цветов 1, расположенные по кругу на нейтральном фоне 2, являющегося частью короба 3 с вмонтированными по периметру лампами для равномерного освещения образцов.

Особое внимание следует уделить гендерным предпочтениям. Гендерные различия широко освещались во многих областях исследований. Согласно исследованиям, гендерная разница в цветовых предпочтениях варьируется в зависимости от освещения. Участницы показали лучшую способность различать цвета, чем мужчины. На самом деле, аналогичные результаты были подробно описаны в соответствующих исследованиях от нескольких субъектов, включая генетику, нейробиологию, офтальмологию, биологию, а также науку о цвете. Например, генетически говоря, спектральная чувствительность многих фоторецепторов в сетчатке определяется генами на X-хромосоме, и это рассматривается как одно из возможных объяснений основ гендерных различий в восприятии цвета. Более того, какие различия могут быть также связаны с гендерно-специфическими функциональными специализациями в эволюционном разделении труда.

Хотя многие исследования по смежным предметам доказали такое различие между мужчинами и женщинами, в настоящее время по теме цветовых предпочтений освещения этому вопросу не было уделено достаточно внимания. Фактически, несбалансированный набор групп мужчин и женщин-наблюдателей в современной литературе является распространенным явлением, и такое

пренебрежение может в некоторой степени привести к потенциальному смещению в общих выводах.

Авторы считают, что необходимо также углубиться в исследование метамерности восприятия цветов. Наибольший интерес вызывает исследование гендерных предпочтений таких смешанных цветов как фиолетовый, оранжевый, лайм и т.д. При разном освещении каждый человек может воспринимать эти цвета как разновидность основного: синего или красного (для фиолетового), красного или желтого (для оранжевого), зеленого или желтого (для лайм). Здесь уже могут вскрываться более глубокие психофизические аспекты человеческой природы и гендерные предпочтения. В дальнейшем планируется провести эксперимент с группой мужчин и женщин в возрасте от 18 до 23 лет на предмет восприятия смешанных групп цветов для выявления гендерных отклонений в восприятии основного цвета при изменении условий освещения.

Таким образом, планируется провести эксперимент с возрастной группой от 18 до 24 лет. Именно эта возрастная группа поможет ответить на вопрос с порогом цветовой дифференциации, который составляет минимум 20 лет. Появится возможность рассмотреть группы 18-20 лет и 21-24 лет, чтобы обнаружить появление порога цветовой дифференциации и субоптимального порога. Также группы будут сбалансированы по количеству мужчин и женщин, что позволит ответить на вопросы гендерных предпочтений.

#### Литература:

1. Dangol, R.; Islam, M. S.; Hyvärinen, M.; Bhusal, P.; Puolakka, M.; Halonen, L., User acceptance studies for LED office lighting: Preference, naturalness and colourfulness. *Lighting Research & Technology* 2015, 47 (1), pp. 36-53.
2. Dugar, A. M.; Agarwal, D., A pilot study assessing short-term chromatic adaptation preferences for correlated colour temperature in India // *Light & Engineering* 2019, 27 (1).
3. Lin Y, Wei M, Smet KAG, Tsukitani A, Bodrogi P, Khanh TQ. Colour preference varies with lighting application // *Lighting Research and Technology* 2015. 49. pp.316-332.
4. Rea MS, Freyssinier JP. Color Rendering: Beyond Pride and Prejudice // *Color Research and Application* 2010; 35:401-409.

*В.Л. Жбанова, к.т.н., доц.; В.Д. Бесшапошникова, студ  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **УВИОЛЕВЫЕ СТЁКЛА ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Бактерицидные лампы ДБ 8; ДБ15; ДБ30 и ДБ60, а также эритэмные лампы ЛЭ15; ЛЭ30 и ЛЭ40 Вт в период первой и второй пандемии коро-новируса 2020 года нашли широкое применение в промышленности, медицине и быту в качестве самых эффективных источников УФ-излучения с длиной волны  $\lambda=253,7$  нм и  $\lambda=296$  нм для генерации озона в окружающей среде с целью обеззараживания воздуха. Это стало возможным благодаря синтезу в дешёвых увиолевых стёкол с высокой прозрачностью в области UV-C(220-280 нм) и UV-B(280 -315 нм), варки их в печи непрерывного действия и освоению промышленного машинного производства труб из них.

Само производство наружных оболочек из увиолевых стёкол со стабильными по УФ-пропусканию и соляризации свойствами представляет собой одну из труднейших технологических задач. Существующая в настоящее время традиционные технологии изготовления оптических стёкол, а также технология получения силикатных стёкол особой чистоты и ультрачистых непригодны для массового производства: первая – из-за невозможности получения данных стёкол с высоким и стабильным УФ-пропусканием; вторая и третья – из-за малой производительности и дороговизны.

Процесс изготовления увиолевых стёкол отличается целым рядом особенностей. Прежде всего, для приготовления шихты, идущей на их варку, должны применяться материалы реактивной чистоты. Для ввода кремнезёма в стёкла используется только кварцевая крупка из молочно-белого и гранулированного жильного кварца (кварцевые пески даже самых высоких сортов непригодны из-за примесей). Так как «чистые» сырьевые материалы очень дороги и выпуск их в больших объёмах ограничен, представляется целесообразным использовать в производстве технические материалы самых высоких сортов и марок, а для ввода  $\text{SiO}_2$  – аморфный кремнезём который всё шире применяется для производства специальных высококачественных стёкол [1, 2]. Большими потенциальными возможностями получения аморфного кремнезёма, не требующего дополнительной обработки, располагает промышленность по производству фосфорных удобрений.

Исследован аморфный кремнезём  $\text{SiO}_2$ , его получение является частью технологического процесса комплексной утилизации отходов суперфосфатного производства и заключается в жидкофазном гидролизе очищенного на фильтре четырёхфтористого кремния. Выделение диоксида кремния из раствора происходит в соответствии с реакцией:  $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6 + 4\text{NH}_4\text{OH} \leftrightarrow \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} + 6\text{NH}_4\text{F} + \text{H}_2\text{O}$ . Полученный синтетический, так называемый «фторидный», материал представляет собой пылевидный порошок белого цвета, который характеризуется следующими свойствами: насыпной вес – 250 – 300 г/л; удельная поверхность – 10 – 50 м<sup>2</sup>/г; суммарный объём пор – 2,5 – 3 см<sup>3</sup>/г; размер первичных частиц – 2 – 3 м; тонины помола – 0,01 – 0,5 мм; влажность – 0,3 – 0,5 %; потери при прокаливании (по ГОСТ 9428-60) – 1,0 – 2,0 %. Синтетический «фторидный» аморфный кремнезём содержал следующее количество примесей: Fe – 2,5; Al – 1,0; Mg – 0,5; Ti – 0,1; Co – 0,05; Mn – 0,1; Ni – 0,3; V – 0,5; Cu – 0,3; Cr – 0,1.

С целью изучения процессов, происходящих в аморфном кремнезёме при нагреве, сырьё нами было подвергнуто термической обработке в интервале температур 800 ÷ 1 100°С с выдержкой в течение 2 часов (рис. 1, 2). Термообработанное сырьё исследовалось с применением методов ИК-спектроскопии, оптических, дифференциально-оптических и рентгенофазовых анализов.

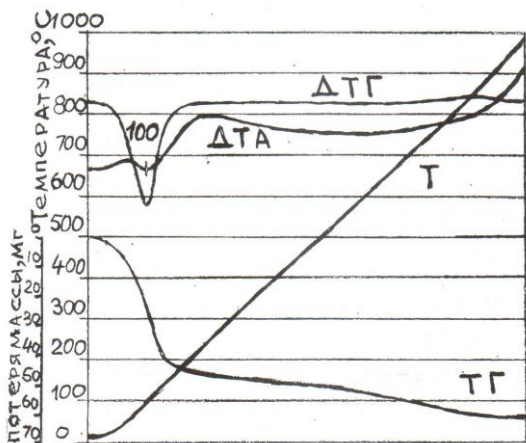


Рис.1. Дериватограмма аморфного кремнезёма

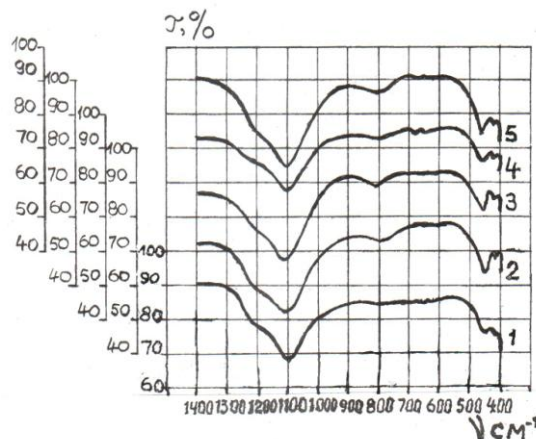


Рис. 2. ИК-спектры пропускания термообработанного аморфного кремнезёма: 1- исходного; 2 - при 800 °С; 3- при 900 °С; 4 - при 1000 °С; 5 - при 1 100 °С

На рис.1 показана дериватограмма исследуемого сырья. На кривой ДТА присутствует эндоэффект при 100°С, который можно объяснить удалением гигроскопической влаги. Об этом свидетельствует также и резкое падение массы на кривой ТГ, а также резкое увеличение скорости падения массы при температуре 100°С на кривой ДТГ. При нагреве в течение 2-х часов появляются полосы поглощения  $800\text{ см}^{-1}$  и  $789\text{ см}^{-1}$ , а также полосы в области  $500 \div 400\text{ см}^{-1}$  (рис. 2). В ходе дальнейшего нагрева при 1 100°С отмечается начало появления кристаллической фазы в виде  $\alpha$ -кварца ( $d = 4,22\text{ \AA}$ ) (рис. 3).

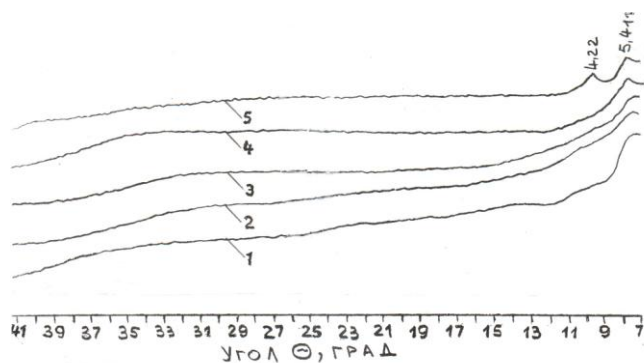


Рис. 3. Рентгенограмма термообработанного аморфного кремнезёма: 1- исходного; 2- при 800°С; 3- при 900°С; 4- при 1000°С; 5- при 1 100°С

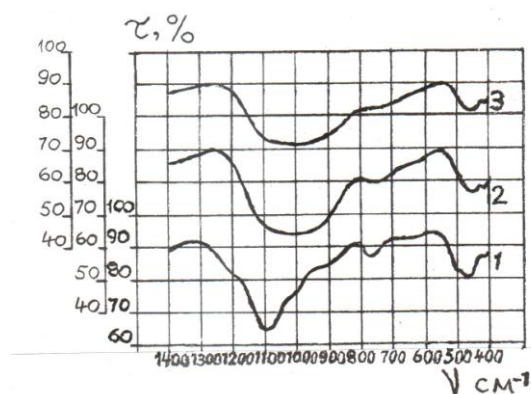


Рис. 4. ИК-спектры пропускания термообработанной шихты: 1- при 900°С; 2- при 1 200 °С; 3 – при 1 400 °С

В лабораторных условиях были изучены физико-химические процессы в шихтах, приготовленных с использованием аморфного кремнезёма для многокомпонентных увиолевых стекол состава СЛ97-2 и СЛ97-3, а также варка их, пропускание в области  $210 \div 400\text{ нм}$  (UV-C; UV-B; UV-A) и поляризация. Оксиды в состав стёкол вводились через материалы квалификации, а  $\text{SiO}_2$  – через

аморфный кремнезём. Шихта подвергалась термообработке при 800°C; 900°C; 1000°C; 1 200°C и 1 450°C в течение 2 часов. На рис. 4 приведены ИК-спектры пропускания шихты, изготовленной с применением аморфного кремнезёмного сырья. При термообработке шихты уже при 340 и 400°C наблюдается в слаборазвитой степени протекание твёрдофазовых реакций между Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и SiO<sub>2</sub>; K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и SiO<sub>2</sub>; MgCO<sub>3</sub> и SiO<sub>2</sub>. С повышением температуры скорость реакций возрастает, а наиболее бурно – в интервале 680 ÷ 1 100°C. Эффекты на кривых ДТА при 500°C (рис. 5) отвечают полиморфному превращению β-кварца в α-кварц.

При температурах 690°C; 780°C происходит начало диссоциации кальцита, в результате чего появляется новообразование CaSiO<sub>3</sub> и Na<sub>2</sub>CaSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. Термоэффекты при 810 и 830°C соответствуют максимуму диссоциации углекислого кальция. Наличие этих глубоких эндоэффектов объясняется также появлением эвтектик между Na<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и SiO<sub>2</sub> с растворением и образованием расплава SiO<sub>2</sub> и CaSiO<sub>3</sub>. Подъём температуры до 800°C приводит в основном к завершению диссоциации карбонатов и некоторых реакций силикатообразования, о чём свидетельствуют указанные выше эндоэффекты на кривой ДТА.

В шихте с аморфным кремнезёмом SiO<sub>2</sub> процессы стеклообразования заканчиваются в интервале температур 900 ÷ 1 000°C. На это указывает переход кривой потери массы ТГ в горизонтальное положение, а также резкое падение веса на кривой ДТГ (рис. 5). Начало твёрдофазных реакций в шихте с аморфным SiO<sub>2</sub> относится к температуре 350 ÷ 450°C.

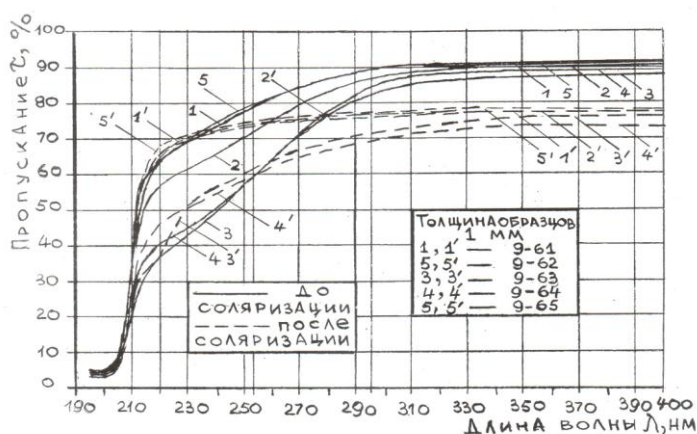
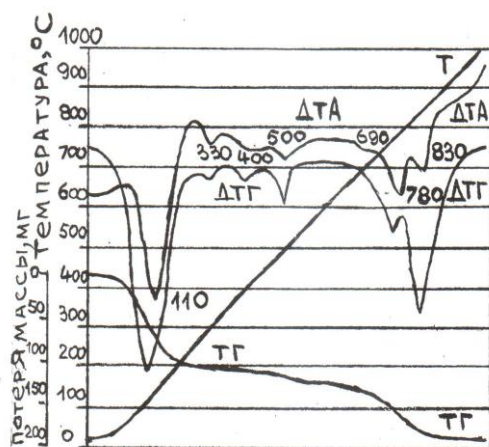


Рис. 5. Дериватограмма шихты, Рис. 6. Пропускание и соляризация опытных изготовленной с применением аморфного кремнезёма

Эти реакции происходят более активно с минимальными потерями массы (3 %) и заканчивается при 750 ÷ 900°C – на 100 ÷ 120°C меньше, чем в шихтах с кристаллическим кремнезёмом, что очень экономически выгодно с точки зрения технологии получения расплава при варке стёкол в промышленной печи.

Все опытные стёкла из шихты с аморфным кремнезёмом хорошо проварились. Предварительный анализ варочных и выработочных свойств показал, что они отвечают всем необходимым требованиям. Из них были

выработаны штабики, а также изготовлены образцы для исследования. Пропускание и соляризация увиолевых стекол в УФ-области спектра, сваренных из аморфного кремнезёма, приведены на рис. 6. Видно, что синтезированные опытные увиолевые стёкла имеют не только высокое первоначальное УФ-пропускание в области UV-C, но и незначительно соляризуются при облучении их жёсткими УФ-лучами. Более того, в области 210 – 250 нм в стёклах наблюдается даже некоторое увеличение пропускания после облучения, объясняемое фотовосстановлением трёхвалентного железа до двухвалентного, что положительно должно сказываться на сроке службы бактерицидных ламп и световых приборов в качестве источников УФ-излучения, так как именно эта область УФ-пропускания увиолевых стёкол «отвечает» за величину излучения самого источника в процессе его службы. Шихта готовилась для двух составов: бактерицидного СЛ97-2 и эритэмного СЛ97-3. Для ввода остальных компонентов применялись сырьевые материалы с минимальным содержанием примесей железа и титана, прошедшие обработку на оборудовании, исключающем попадание аппаратного железа. Было отмечено, что осветление стекломассы протекало значительно быстрее, чем при варке этих же стёкол из шихты с использованием минерального кристаллического кремнезёма. Из сваренной стекломассы вручную изготавливались трубы диаметром 24 – 26 мм с толщиной стенки 0,6 – 0,7 мм. Из вытянутых труб были изготовлены бактерицидные лампы ДБ30-1 и эритэмные лампы ЛЭ30-1. Исследовано изменение пропускания и определена соляризация бактерицидного стекла на длинах волн 220, 253,7 нм и эритэмного стекла на длине волны 296 нм в процессе службы бактерицидных и эритэмных ламп.

Первоначальное пропускание исследуемых стёкол в УФ-области спектра значительно выше, чем у стёкол, сваренных из шихты с применением природного кремнезёма. Снижение пропускания (соляризация) бактерицидного и эритэмного стёкол в ультрафиолетовой области спектра в процессе службы ламп значительно меньше.

Таким образом, установлено, что аморфный «фторидный» кремнезём (отход суперфасфатного производства) может использоваться для варки увиолевых стёкол. Однако необходимо учитывать его специфические особенности – аморфное состояние, невысокий насыпной вес, дисперсность и др. Для успешного внедрения аморфного кремнезёма в массовое производство необходимо установить влияние дисперсности и формы зёрен на физико-механические свойства шихты и качество стекломассы, разработать новые технологические приёмы приготовления шихты. Перспективными способами применения аморфного кремнезёма в производстве увиолевых стёкол с насыпным весом 250 – 300 г/л при приготовлении шихты являются гранулирование или компактирование.

#### Литература

1. Сивко А.П. Технология электролампового стекла. – Саранск: Издательство Мордовского университета, 2015. – 624 с.

2. Кушалыников В. Г., Зубей В. А., Чернышёв И. З., Сивко А. П. Использование синтетической двуокиси кремния при синтезе увиолевого стекла // Стекло и керамика. – 1971. - №8. – С. 22 - 23.



*В.Л. Жбанова, к.т.н., доц.;*  
*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*  
*В.А. Соломатин, д.т.н., проф.*  
*(МИИГАиК, Москва)*

## **ПАРАМЕТРЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШАБЛОНОВ МНОГОСЛОЙНЫХ СЕНСОРОВ**

В работе представлен сравнительный анализ пространственно-частотных характеристик цветных матричных фотоприемников. Рассмотрены современные матричные фотоприемники: с шаблоном Байера, многослойной структуры и авторские комбинированные системы. Последние объединяют как пространственное деление цвета, так и многослойность ячейки, с внедрением IR-слоев. Исследование выявило, что шаблоны на основе авторских комбинированных систем имеют свои достоинства и недостатки.

В цифровых фото- и видеокамерах систему цветоделения можно разделить на трехкадровые, однокадровые с одной и тремя матрицами [1]. В однокадровых камерах с тремя матрицами применяют диспергирующие элементы, которые расщепляют проходящий свет на основные цвета, регистрируемые каждой матрицей отдельно. В трехкадровых ЦФК применяют одну двумерную матрицу. Необходимо сделать три отдельных снимка через три светофильтра основных цветов для получения цветного изображения. Такая технология позволяет отказаться от интерполяции цвета, используемой в однокадровых камерах с одной матрицей.

Однокадровые камеры с одной матрицей, являются самыми распространенными на сегодняшний день. Технология обеспечивает высокую скорость оцифровки изображения, но для нахождения цвета необходимо применять сложную интерполяцию. Несмотря на принципиальные недостатки по цветопередаче, эти камеры применяются повсеместно. Наиболее важный параметр таких матриц – шаблон расположения фильтров основного цвета.

Наиболее распространенный тип – шаблон Байера (рис. 1, а). Каждая ячейка «покрыта» красным, синим или зеленым светофильтрами, которые собраны в группы по четыре ячейки, причем на две зеленых приходится по одной красной и одной синей. Данная схема мозаичного светофильтра, имеет обозначение RGBG (Red–Green–Blue–Green).

Еще один современный тип шаблона Foveon X3 – является фотоприемником многослойной полупроводниковой структуры (рис. 1, б). Каждая ячейка регистрирует все три основных цвета. Сущность технологии состоит в применении физического явления, в самом полупроводнике; с увеличением длины волны глубина проникновения фотонов в полупроводник возрастает. Таким образом, для улавливания фотонов синего, зеленого и красного цвета, фотодиоды, созданные чередованием зон проводимости первого и второго типа, размещают один под другим на определенных глубинах [1-3]. Получается универсальный датчик, регистрирующий информацию всех трех цветовых компонентах (R, G, B) изображения в одной точке. Толщина и материал слоя подбираются таким образом, чтобы деление проникающих

фотонов происходило именно по тем диапазонам спектра, которые содержат основные цвета.

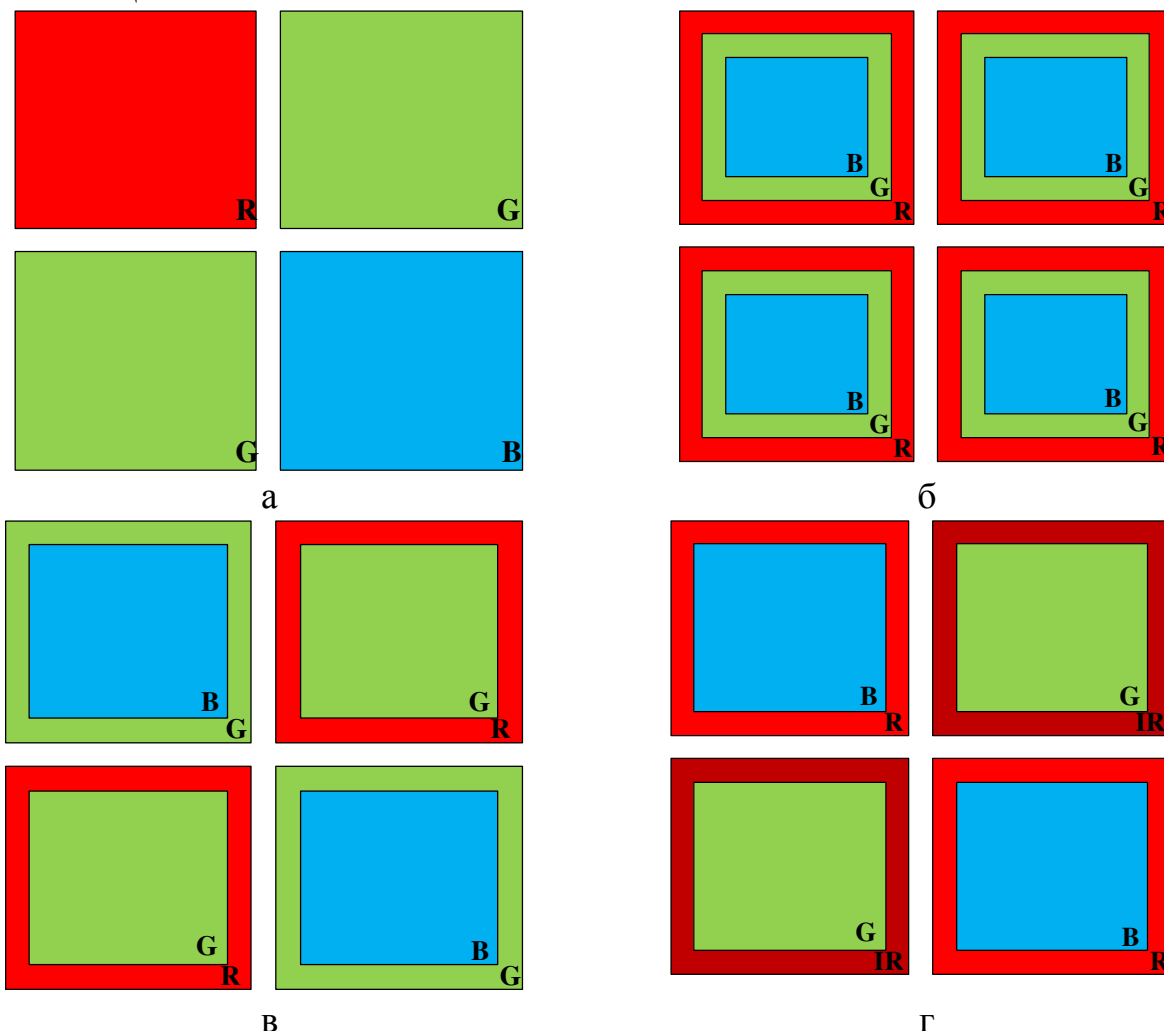


Рис. 1. Шаблоны систем: а – типа Байера; б – многослойного типа; в – комбинированного типа в видимом диапазоне; г – комбинированного типа с ИК-слоем

Комбинированные авторские системы имеют нестандартные шаблоны, в которых сочетаются ячейки, содержащие несколько слоев [2, 3] (рис. 1, в, г). Общим свойством таких систем является чередование ячеек одного цвета с пространственным периодом  $2T_x$ , то есть вдвое большим, чем период пикселей. Поскольку размеры слоев различны, возникает вопрос о влиянии изменений размеров на передаче пространственных частот, а точнее, насколько идентичны пространственно-частотные характеристики в различных спектральных зонах.

В таблице 1 приведены параметры ПЧХ слоев матрицы из рис. 1, г важные для сравнительной оценки пространственного разрешения при различной организации пикселей в различных слоях. Параметры  $S_0(f_x)$  и  $S_0(f_y)$  показывают значения спектральной плотности амплитуд выходного сигнала на нулевой частоте, определяющие мощность центральной (информативной) полосы. Наибольшую мощность имеют центральные полосы слоев G.

В таблице 1 представлены параметры пространственно-частотной характеристики шаблона на рис. 1, в.



Таблица 1. Параметры ПЧХ  $R G B$  слоев матрицы

| Слой (цвет), ось | Размер слоя, $a$ , МКМ | $S_0(f_x)$ ,<br>$S_0(f_y)$ | $\frac{S_0(f_x)}{S_1(f_x)}$ ,<br>$\frac{S_0(f_y)}{S_1(f_y)}$ | Частота<br>$f_{mx}$ ,<br>$f_{my}$ , МКМ <sup>-1</sup> |
|------------------|------------------------|----------------------------|--|---|
| B, $f_x$         | 6.5                    | $\frac{a}{2T_x} = 0.32$    | $\pi/2$  | $\frac{1}{4T_x} = 0.025$                              |
| B, $f_y$         | 6.5                    | $\frac{a}{4T_x} = 0.16$    | $\pi/2$  | $\frac{1}{4T_x} = 0.025$                              |
| R, $f_x$         | 7.2                    | $\frac{a}{2T_x} = 0.35$    | $\pi/2$  | $\frac{1}{4T_x} = 0.025$                              |
| R, $f_y$         | 7.2                    | $\frac{a}{4T_x} = 0.18$    | $\pi/2$  | $\frac{1}{4T_x} = 0.025$                              |
| G, $f_x$         | 6.5-7.2                | $\frac{a}{T_x} = 0.64$     | $\frac{a}{\Delta x} = 9.3$                                   | $\frac{1}{4T_x} = 0.025$                              |
| G, $f_y$         | 6.5-7.2                | $\frac{a}{T_x} = 0.64$     | $\frac{a}{\Delta y} = 9.3$                                   | $\frac{1}{8T_x} = 0.012$                              |

В таблице 2 представлены параметры пространственно-частотной характеристики шаблона на рис. 1, г.

Значения  $\frac{S_0(f_x)}{S_1(f_x)}$  и  $\frac{S_0(f_y)}{S_1(f_y)}$  показывают отношения мощностей центральной и первой боковой полосы, от которого зависит интенсивность редукции пространственных частот. Максимально разрешаемые пространственные частоты  $f_{mx}$  и  $f_{my}$  одинаковы для всех слоев. Но если бы слои одного цвета были бы разные, как цвет G в шаблоне на рис. 1, в, то в направлении с парным расположением пикселей, соотношения в два раза были бы хуже за счет расположения первой боковой полосы на частоте  $2\Omega_x$ , то есть вдвое ближе к центральной полосе. Таким образом, уже следует учитывать геометрический шум, заслуживающий отдельного исследования.

Максимальная пространственная частота, разрешаемая трехматричной системой определяется как  $f_m = 1/(2T_x)$ . В системах с мозаичными фильтрами пространственное разрешение в два раза хуже, максимальная разрешаемая частота  $f_m = 1/(4T_x)$ , чувствительность вдвое меньше, чем при использовании отдельной матрицы для каждого цвета. В системах с трехцветными пикселями матриц принципиально возможно обеспечение пространственного разрешения на уровне систем с мозаичными фильтрами в сочетании с повышенной пространственной (контрастной) чувствительностью одного из выбранных слоев.

Для комбинированных шаблонов в пространственно-частотном спектре изображения всегда присутствуют искажения, вызываемые конечным размером слоя.

Сравнительный анализ пространственно-частотных характеристик цветных фотоматриц показал, что шаблоны на основе комбинированных систем с одинаковыми размерами слоев одного цвета имеют лучшее пространственное разрешение и наиболее высокую пространственную (контрастную) чувствительность, чем шаблоны с различными размерами, по примеру

расположения слоев цвета G в шаблоне на рис. 1, в. Шаблоны с различными размерами слоев менее стабильны, что может приводить к геометрическим шумам и в этом не могут конкурировать с трехслойными системами. Однако комбинированные системы являются лучшей альтернативой шаблонам Байера при интерполяции цветов. А также снижают тепловые шумы в отличие от матриц Foveon X3 за счет уменьшения слоев, несмотря на добавление ИК-канала.

Таблица 2. Параметры ПЧХ R G B слоев матрицы

| Слой (цвет), ось | Размер слоя, $a$ , мкм | $S_0(f_x)$ ,<br>$S_0(f_y)$ | $\frac{S_0(f_x)}{S_1(f_x)}$ ,<br>$\frac{S_0(f_y)}{S_1(f_y)}$ | Частота<br>$f_{mx}$ ,<br>$f_{my}$ , МКМ <sup>-1</sup> |
|------------------|------------------------|----------------------------|--|---|
| B, $f_x$         | 6.5                    | $\frac{a}{2T_x} = 0.32$    | $\pi/2$  | $\frac{1}{4T_x} = 0.025$                              |
| B, $f_y$         | 6.5                    | $\frac{a}{4T_x} = 0.16$    | $\pi/2$  | $\frac{1}{4T_x} = 0.025$                              |
| G, $f_x$         | 6.5                    | $\frac{a}{2T_x} = 0.32$    | $\pi/2$  | $\frac{1}{4T_x} = 0.025$                              |
| G, $f_y$         | 6.5                    | $\frac{a}{2T_x} = 0.32$    | $\pi/2$  | $\frac{1}{4T_x} = 0.025$                              |
| IR, $f_x$        | 7.2                    | $\frac{a}{2T_x} = 0.35$    | $\pi/2$  | $\frac{1}{4T_x} = 0.025$                              |
| IR, $f_y$        | 7.2                    | $\frac{a}{4T_x} = 0.18$    | $\pi/2$  | $\frac{1}{4T_x} = 0.025$                              |
| R, $f_x$         | 7.2                    | $\frac{a}{2T_x} = 0.35$    | $\pi/2$  | $\frac{1}{4T_x} = 0.025$                              |
| R, $f_y$         | 7.2                    | $\frac{a}{4T_x} = 0.18$    | $\pi/2$  | $\frac{1}{4T_x} = 0.025$                              |

Подобные вопросы являются проблемами стратегии научно-технического развития страны при переходе к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта. А также к приоритетному направлению информационно-телекоммуникационные систем.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00012.*

Литература:

1. Zhbanova V.L. Features Of Digital Colorimetry Application in Modern Scientific Research // Light & Engineering. 2021. Vol. 29, No. 3. pp. 146-158. doi: 10.33383/2021-028.
2. Жбанова В.Л., Мешалкин В.П., Длин М.И., Бобков В.И. Патент на полезную модель №175334, "Матричный фотоприемник", РФ, опубликован 30.11.2017.
3. Zhbanova V.L., Parvulyusov Yu.B., Solomatin V.A. Multispectral matrix silicon photodetectors with the IR range registration // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1679. №022039; doi:10.1088/1742-6596/1679/2/022039.
4. Solomatin V.A., Parvulyusov Yu.B., Zhbanova V.L. Spatial-frequency characteristics of photo matrices for colour image // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1679. №022038; doi:10.1088/1742-6596/1679/2/022038.

*С.И. Зиенко, д.т.н., проф.; В.Л. Жбанова, к.т.н., доц.;  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МАТРИЧНЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ**

Анализ спектральных характеристик матричных фотоприемников достаточно перспективное направление исследований в науке и технике. Качественный анализ может позволить предсказать технические возможности приемника, оценить искажения входного сигнала и его пространственно-частотного спектра [1-3]. Подобная тематика относится к вопросам реализации систем и методов передачи информации, приема и обработки сигналов, а также к технологиям обработки, анализа и распознавания изображений и сигналов, машинному зрению, что является стратегическими направлениями развития науки и техники. В качестве исследуемых приемников были выбраны Agilent, Foveon X3, Sony, Kodak [1]. Наибольший интерес вызывают спектральные характеристики относительно новой многослойной технологии матрицы Foveon X3, которая имеет пологие R, G и B кривые с широкими зональными пересечениями соседних областей цвета. Для проведения объективного анализа за эталонные значения были приняты параметры спектральной характеристики глаза человека.

Спектры чувствительности различных по типу матричных фотоприемников в частотной области, представлены на рис. 1. Спектры получены путем перехода от длин волн к частоте (в диапазоне 380...770 нм), по методике, описанной выше. В данном случае начальная энергия  $E_0=1.61$  эВ (1240/770). Жирными точками на рис. 1 показаны экспериментальные значения спектральных кривых. Из сопоставления спектров матричных фотоприемников можно видеть, что они по форме огибающих заметно отличаются друг от друга. Огибающие содержат все признаки компонентного состава. Для разложения огибающей кривой спектра на элементарные составляющие (1, 2, 3) использовали аналитическую функцию (1). Параметры спектров представлены в таблице.2. Характерно, что спектры матричных фотоприемников также как и глаз человека обладают СШП свойствами. У них показатель широкополосности меняется от 0.33 до 0.66. Сравнение численного и аналитического решения показывает их хорошее совпадение. Процесс релаксации импульсной (временной) характеристики во времени помимо быстрой стадии (1) имеет медленную стадию затухания (2). За счет ее происходит заметное увеличение длительности  $g(t)$ . Оценка на уровне 0.03 от амплитуды равной единице показывает, что в зависимости от типа матричного фотоприемника (см. рис. 1), по сравнению с быстрой стадией длительность затухания возрастает в 2.5...5 раз. Последнее создает мешающий фон и является дополнительным источником шумов исследуемых матричных фотоприемников даже при ярком свете.

На рис. 2 приведены функция взаимодействия  $\Delta Pr$  (кривая 1) для матричных фотоприемников. Кривая функции взаимодействия (1) принимает как положительное, так и отрицательное значение, последнее приводит к тому,

что среднее значение мгновенной мощности функции взаимодействия уменьшается по величине [3]. Как показало исследование подобные зависимости имеют также и другие фотоприемники (Agilent, Kodak, Foveon). Между тем обратный выброс функция взаимодействия сигналов глаза человека имеет весьма малую величину.

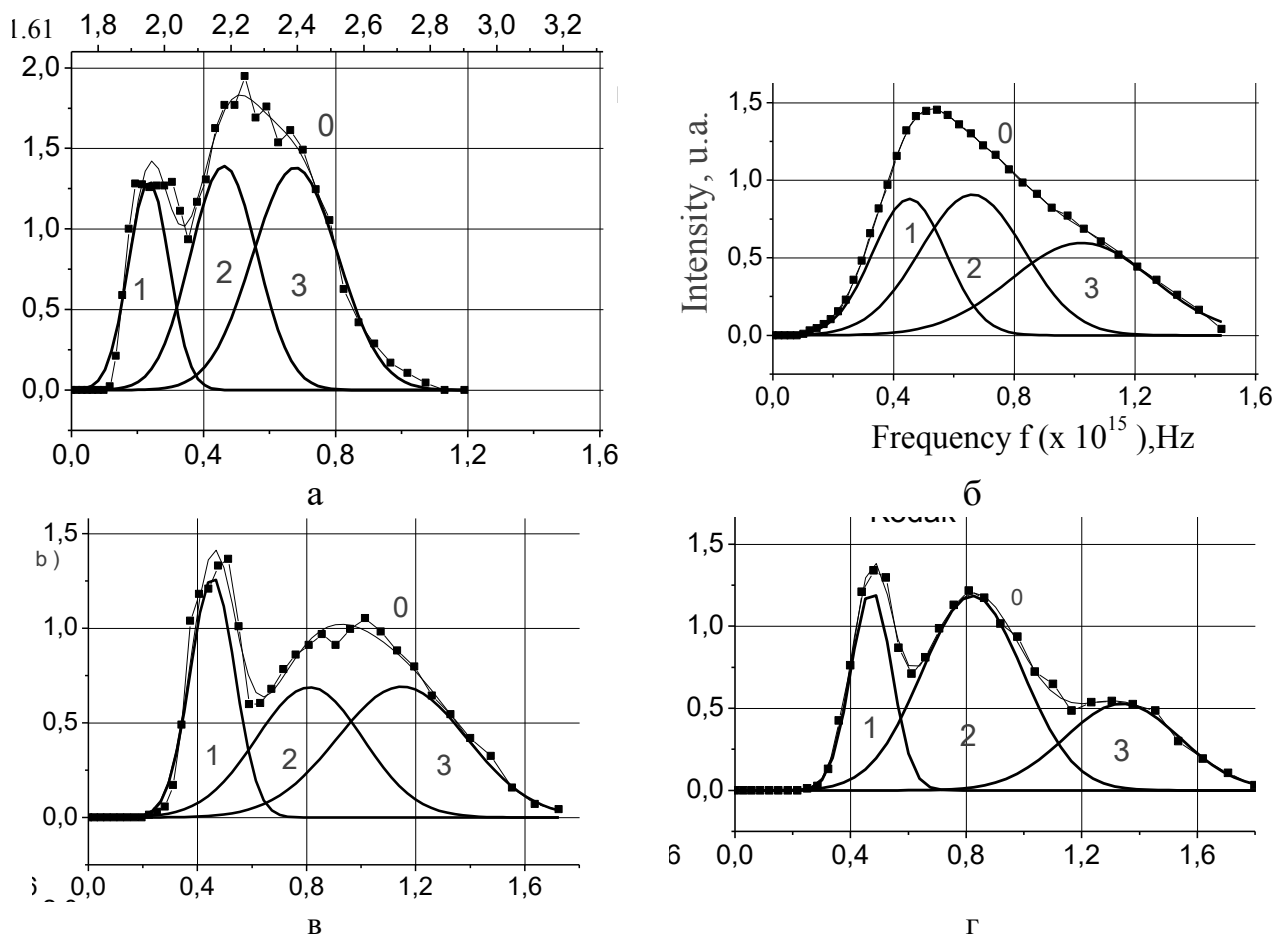


Рис. 3. Спектры чувствительности разных по типу фотоприемников. Жирные точки соответствуют экспериментальным значениям, тонкими линиями показаны огибающая кривая 0 и компоненты спектра 1, 2, 3: а – Agilent; б – Foveon X3; в – Sony; г – Kodak

Из физических соображений, существование функции взаимодействия, можно объяснить электрон-фононным взаимодействием, которое приводит к переносу энергии между разными типами примесных центров полупроводника. Электрон-фононное взаимодействие отражает взаимодействие носителей заряда (электронов или дырок) с тепловыми колебаниями кристаллической решетки полупроводника (фононами).

Для оценки степени колебательности фотоприемников воспользуемся понятием затухания контура, который является количественной характеристикой колебательной системы. Для этого используем прямое преобразование Фурье [3]. Основные параметры фотоприемников приведены в таблице 1. Результаты расчета показывают, что затухание контура в наибольшей степени имеет место в фотоприемнике глаз человека ( $\delta=0.83$ ). Для оценки колебательности вместо затухания употребляют обратную величину – добротность контура  $Q=1/\delta$ . Добротность показывает насколько напряжение на конденсаторе или индуктивности

по величине превышает амплитуду напряжения на входе колебательного контура. Для глаза человека добротность имеет небольшую величину  $Q \approx 1.2$ , здесь превышение напряжения составляет всего  $\sim 20\%$ .

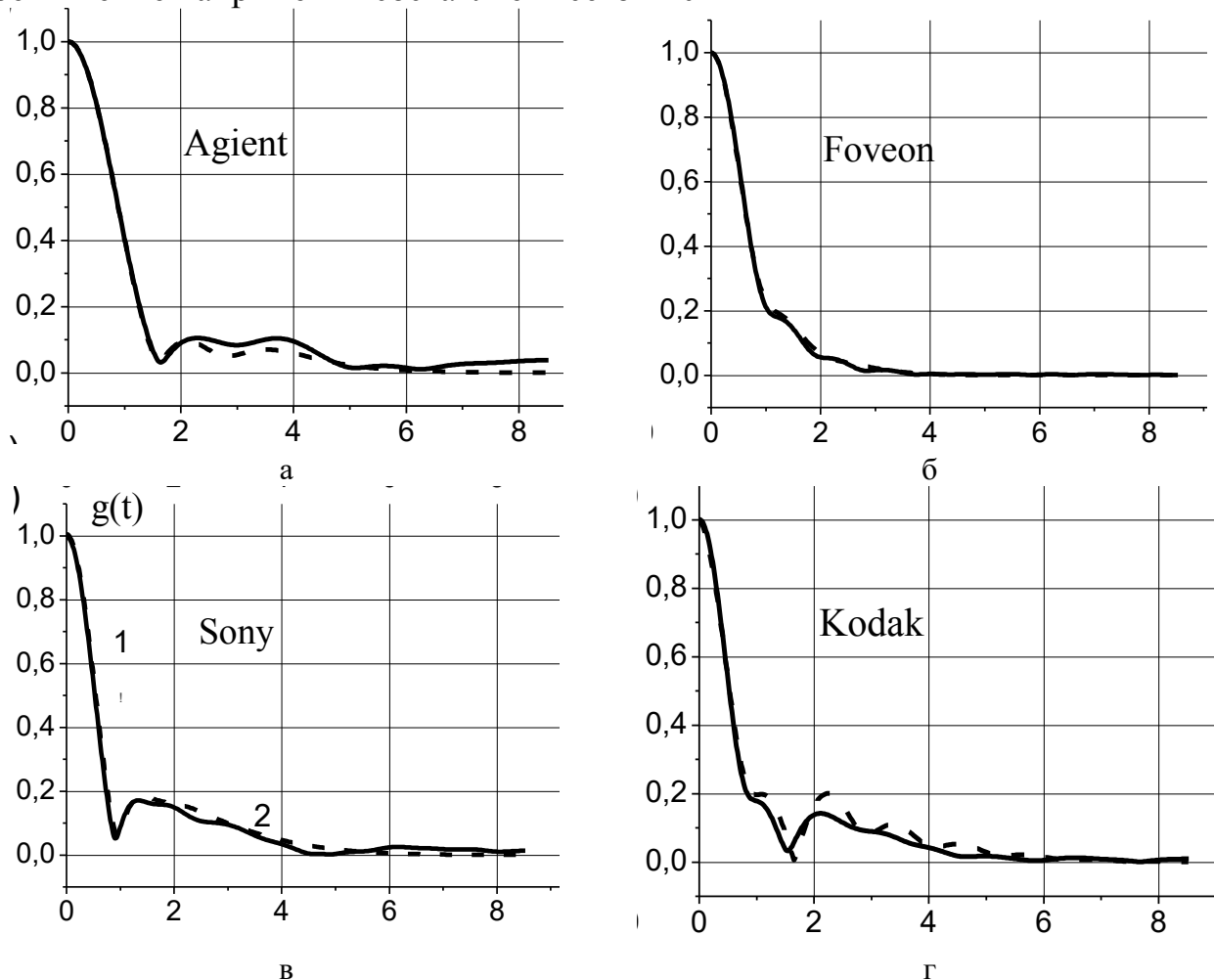


Рис. 4. Импульсные (временные) характеристики разного типа матричных фотоприемников: а – Agilent; б – Foveon X3; в – Sony; г – Kodak

Количественной характеристикой быстроты затухания колебаний является декремент затухания  $\beta$ , который в линейной системе характеризует число периодов  $T$  в течение которых происходит затухание колебаний. Декремент затухания связан с добротностью соотношением [3].

Таблица 1. Основные частотные характеристики фотоприемников

| Тип приемника | Ширина АЧХ, $\times 10^{15}$ Гц | Частота резонанса, $f_r \times 10^{15}$ Гц | Затухание контура, $\delta$ | Добротность, $Q$ | Декремент затухания, $\beta$ |
|---------------|---------------------------------|--|-----------------------------|------------------|------------------------------|
| Глаз          | 0.23                            | 0.55                                       | 0.83                        | 1.20             | 3.40                         |
| Agilent       | 0.08                            | 0.52                                       | 0.30                        | 3.33             | 10.35                        |
| Kodak         | 0.10                            | 0.83                                       | 0.24                        | 4.16             | 13.00                        |
| Sony          | 0.10                            | 0.83                                       | 0.24                        | 4.16             | 13.00                        |
| Foveon X3     | 0.23                            | 0.71                                       | 0.64                        | 1.56             | 4.64                         |

Энергетические потери фотоприемников. Из сравнения данных, представленных в таблице 2, можно видеть, что из исследованных фотоприемников глаз человека имеет наибольшее значение энергии потерь, равное,  $\sim 0.78$  эВ и связано это с большей величиной тепловых потерь  $E_r = 0.33$  эВ. Численные значения КПД, представленные в таблице 2, рассчитывали по формуле:  $\eta = E_s/E$ . Коэффициент демпфирования  $z$  определяет степень согласованности сопротивления нагрузки с внутренним сопротивлением источника сигнала. Для определения коэффициента  $z$  введем понятия фиктивных сопротивлений, которые отражают потери энергии на генерацию носителей заряда в полупроводнике –  $R_s$  и рассеяние энергии в решетке материала виде тепла –  $R_r$ . Их значения полагаем пропорциональными энергии  $E_s$  и  $E_r$  – соответственно. При этом внутренним сопротивлением источника сигнала является сопротивление –  $R_r$ , нагрузкой  $R_s$ . Следовательно,  $z = R_s/R_r$ . Анализ данных, представленных в таблице 2, показывает, что все исследованные устройства имеют коэффициент  $z > 1$ . Из них наименьшее значение коэффициента  $z$  имеют фотоприемник Foveon X3 (1.27) и глаз человека (1.36).

Таблица 2. Энергетические параметры глаза человека и матричных фотоприемников

| Тип приемника | Энергия потерь, эВ |       |       | КПД $\eta$ | Коэффициент демпфирования $z$ |
|---------------|--------------------|-------|-------|------------|-------------------------------|
|               | $E$                | $E_s$ | $E_r$ |            |                               |
| Глаз          | 0.78               | 0.45  | 0.33  | 0.57       | 1.36                          |
| Agilent       | 0.68               | 0.48  | 0.20  | 0.70       | 2.40                          |
| Kodak         | 0.44               | 0.37  | 0.07  | 0.84       | 5.28                          |
| Sony          | 0.46               | 0.31  | 0.15  | 0.67       | 2.00                          |
| Foveon X3     | 0.50               | 0.28  | 0.22  | 0.56       | 1.27                          |

Из теории известно, что оптимальным вариантом является случай, когда внутреннее сопротивление источника сигнала равно сопротивлению нагрузки. В такой ситуации  $z = 1$ , а КПД составляет 50%. Здесь надо иметь в виду, что в слаботочной электронике главная задача состоит в осуществлении оптимальных условий, заключающихся в получении согласованной нагрузки. Особенно, когда речь идет о передачи сигналов очень высоких частот по линии передачи с распределенными параметрами. Поэтому экономическое значение КПД уходит на задний план. Таким образом, режим согласованной нагрузки в рассмотренных устройствах в полной мере не выполняется.

В результате исследования были получены следующие результаты:

1. Получены аналитические соотношения, с помощью которых выполнен расчет импульсных (временных) характеристик исследованных устройств. Установлено, что, во временной и частотной области, свойства глаза человека и матричных фотоприемников заметно отличаются друг от друга.

2. Обнаружено сильное влияние электрон-фононного взаимодействия в полупроводнике Foveon X3 на образование шумов в матричных фотоприемниках. У глаза человека это явление выражено значительно меньше.

3. Выявлено, что по степени колебательности обычные матричные фотоприемники заметно уступают глазу человека.

4. Установлено, что все исследованные устройства имеют коэффициент демпфирования более единицы. Из них наименьшее значение коэффициента  $\xi$  имеет фотоприемник Foveon X3 (1.27) и глаз человека (1.36), режим согласованной нагрузки ( $\xi = 1$ ) в рассмотренных устройствах в полной мере не выполняется.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00012.*

Литература:

1. Richard F. Lyon, Paul M. Hubel. Eyeing the Camera: into the Next Century // IS&T Reporter «The window on imaging». 2002. Vol. 17, №6.
2. Zhbanova V.L., Parvulyusov Yu.B., Solomatin V.A. Multispectral matrix silicon photodetectors with the IR range registration. Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1679. №022039; doi:10.1088/1742-6596/1679/2/022039.
3. Зиенко С.И., Жбанова В.Л. Фурье-анализ спектральных характеристик матричного фотоприемника в частотной и временной области // Прикладная физика. 2021. № 3. pp. 39-46. (doi: 10.33383/2021-028)

*С.И. Зиенко, д.т.н., проф.; Р.Д. Констанденков, студ  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ОСОБЕННОСТИ КРИВОЙ ВИДНОСТИ ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА**

*Проведено сравнение теоретических и расчетных кривых видностей дневного и ночного зрения человека.*

**Ключевые слова:** глаз, кривая видности, характеристика, спектр, световая эффективность, зрение.

Кривая видности глаза человека – спектральная характеристика глаза, определяющая относительную яркость эквивалентных по мощности потоков электромагнитного излучения в стандартных условиях.

Для расчета кривых видностей глаза человека были выбраны данные математические модели [1]:

Для дневного зрения:

$$v_{\text{д}}(\lambda) = e^{-\left(\frac{\lambda - 0,559}{0,06}\right)^2} \quad (1)$$

Для ночного зрения:

$$v_{\text{н}}(\lambda) = e^{-\left(\frac{\lambda - 0,5025}{0,05}\right)^2} \quad (2)$$

Расчет производился на видимом участке электромагнитного излучения (380 - 770 нм),  $\Delta\lambda=10$  нм. Результаты представлены в таблице 1.

Построили графики зависимостей  $v_{\text{д}}(\lambda)$  и  $v_{\text{н}}(\lambda)$ , дневного и ночного зрения человека соответственно. Результат представлен на рисунке 1.

Таблица 1 – Расчетные данные дневной и ночной относительных спектральных эффективностей

| $\lambda$ , нм | $v_D$ , % | $v_H$ , % |
|----------------|-----------|-----------|
| 380            | 0,014     | 0,247     |
| 390            | 0,036     | 0,633     |
| 400            | 0,089     | 1,496     |
| 410            | 0,210     | 3,263     |
| 420            | 0,467     | 6,571     |
| 430            | 0,983     | 12,22     |
| 440            | 1,957     | 20,96     |
| 450            | 3,687     | 33,20     |
| 460            | 6,571     | 48,55     |
| 470            | 11,08     | 65,54     |
| 480            | 17,66     | 81,67     |
| 490            | 26,65     | 93,94     |
| 500            | 38,02     | 99,75     |
| 510            | 51,33     | 97,78     |
| 520            | 65,54     | 88,47     |
| 530            | 79,17     | 73,90     |
| 540            | 90,46     | 56,98     |
| $\lambda$ , нм | $v_D$ , % | $v_H$ , % |
| 550            | 97,78     | 40,56     |
| 560            | 99,97     | 26,65     |
| 570            | 96,69     | 16,16     |
| 580            | 88,47     | 9,049     |
| 590            | 76,57     | 4,677     |
| 600            | 62,69     | 2,231     |
| 610            | 48,55     | 0,983     |
| 620            | 35,57     | 0,400     |
| 630            | 24,65     | 0,150     |
| 640            | 16,16     | 0,052     |
| 650            | 10,02     | 0,017     |
| 660            | 5,880     | 0,005     |
| 670            | 3,263     | 0,001     |
| 680            | 1,713     | 0         |
| 690            | 0,851     | 0         |
| 700            | 0,400     | 0         |
| 710            | 0,178     | 0         |
| 720            | 0,075     | 0         |
| 730            | 0,030     | 0         |
| 740            | 0,011     | 0         |
| 750            | 0,004     | 0         |
| 760            | 0,001     | 0         |
| 770            | 0         | 0         |



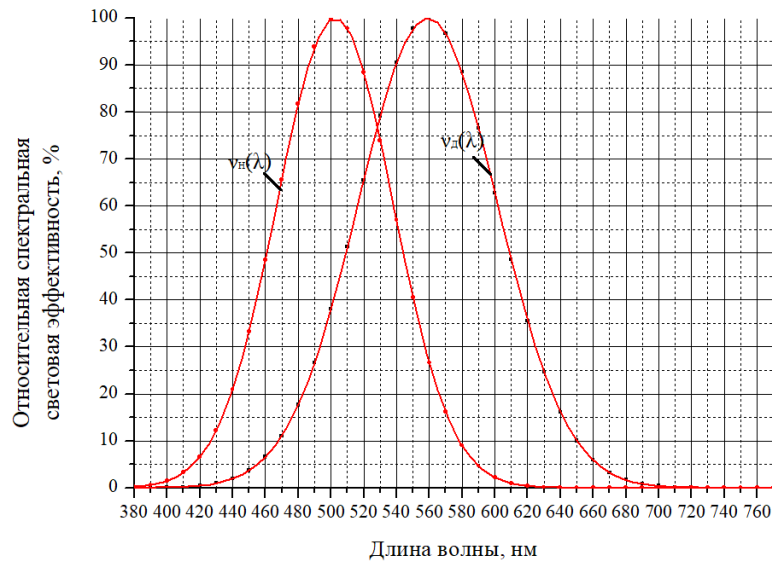


Рисунок 1 – Кривые видности, рассчитанные по математическим моделям:  $v_d(\lambda)$  – дневного зрения,  $v_n(\lambda)$  – ночного зрения.

По теоретическим данным [2] построили графики теоретических кривых видностей дневного и ночного зрения глаза человека. Результат представлен на рисунке 2.

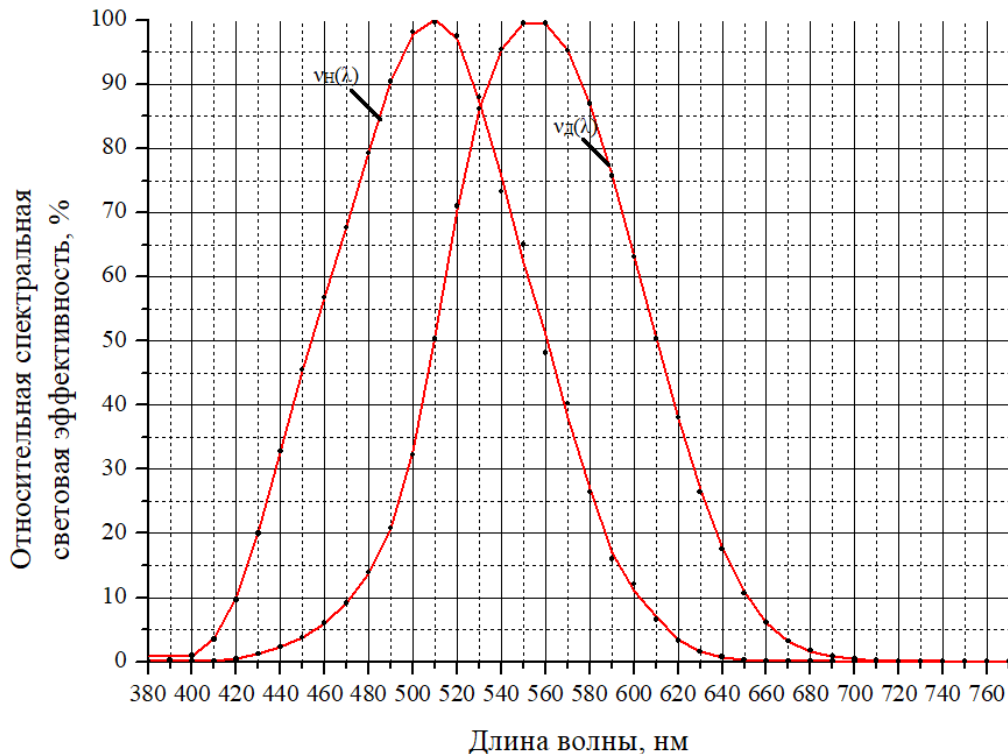


Рисунок 2 – Графики зависимости теоретических относительных спектральных эффективностей ночного и дневного зрения человека от длины волны: 1 – кривая видности ночного зрения человека, 2 – кривая видности дневного зрения человека.

Произвели наложение теоретических и расчетных кривых видностей дневного и ночного зрения глаза человека. Результат представлен на рисунке 3.

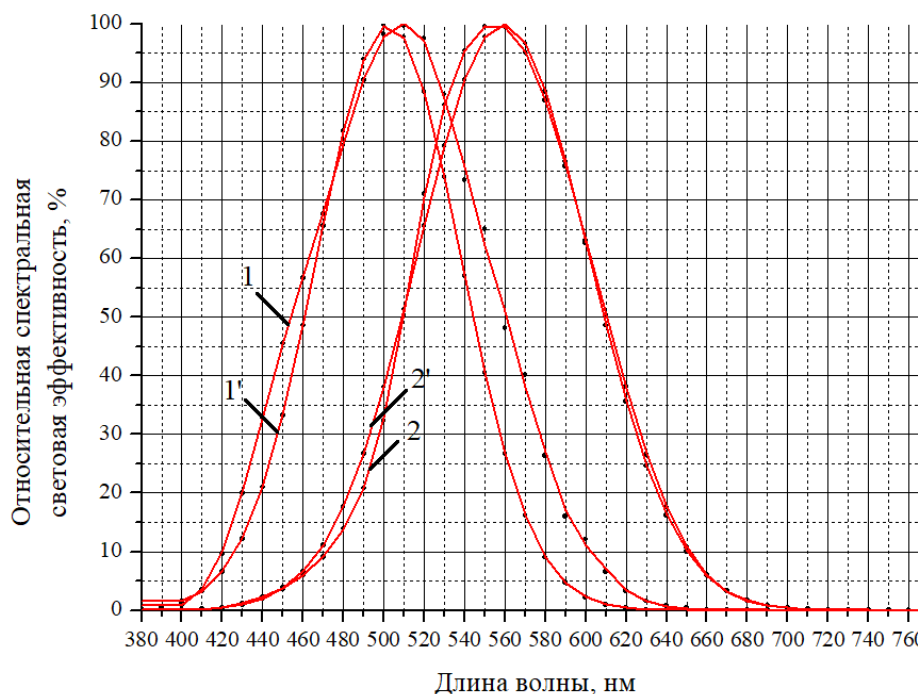


Рисунок 3 – Результат наложения теоретической и экспериментальной зависимостей дневного и ночного зрения человека от длины волны: 1,2 – теоретические кривые видности для дневного и ночного зрения соответственно, 1',2' – расчетные кривые видности для дневного и ночного зрения соответственно.

Исходя из рисунка 3, можно определить максимумы теоретических кривых видности для дневного и ночного зрения – 555 и 510 нм соответственно. Для расчетных кривых этот показатель составляет 560 и 501 нм. Ширина спектра расчетной и теоретической дневных кривых видности совпадает и составляет порядка 290 нм, в тоже время для кривой ночного зрения ситуация иная (240 нм для теоретической и 220 для расчетной), погрешность составляет порядка 8,3%. Это позволяет отметить, что данная математическая модель кривой видности ночного зрения человека является недостаточно точной для использования в высокоточных исследованиях. Математическая модель кривой видности дневного зрения практически полностью совпадает с теоретической, что говорит о пригодности ее применения для исследования.

#### Литература:

1. Зайцева Е. В. Погрешности аппроксимаций усредненных кривых видности при определении освещённости оптического изображения / Е. В. Зайцева // Доклады ТУСУР. – 2010. – № 1(21). – Ч. 2. – С. 69–73.

2. Schubert F.E., Human Eye Sensitivity and Photometric Qualities. 2-е изд.: Cambridge University Press, 2006. 290-291 с.

## ОСОБЕННОСТИ МОНОХРОМНОГО И ДИХРОМНОГО ЗРЕНИЯ НАСЕКОМЫХ

Проведено сравнение теоретических и рассчитанных по математическим моделям кривых видностей монохромного и дихромного зрения насекомых.

**Ключевые слова:** насекомое, кривая видности, характеристика, спектр, световая эффективность, зрение.

Для расчета относительных спектральных чувствительностей воспользуемся данными математическими моделями [1]:

Для монохромной:

$$v_1(\lambda) = e^{-2\left(\frac{\lambda-498}{88}\right)^2} \quad (1)$$

Для дихромной:

$$v_2(\lambda) = 0,02 + \frac{0,98}{1 + e^{-10\left(\frac{\lambda-498}{88}\right)^2}} \quad (2)$$

Примем для расчета длину волны 380-770 нм,  $\Delta\lambda=10$  нм.

Расчетные данные сведем в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчетные данные для построения графика относительной спектральной чувствительности монохромного и дихромного зрения насекомых

| $\lambda$ , нм | $v_1$ , % | $v_{21}$ , % | $v_{22}$ , % |
|----------------|-----------|--------------|--------------|
| 380            | 1,7556    | 1,7556       | 88,318       |
| 390            | 3,3835    | 3,3835       | 73,644       |
| 400            | 6,1531    | 6,1531       | 51,000       |
| 410            | 10,559    | 10,559       | 26,356       |
| 420            | 17,097    | 17,097       | 11,682       |
| 430            | 26,121    | 26,121       | 4,6477       |
| 440            | 37,658    | 37,658       | 1,7626       |
| 450            | 51,228    | 51,228       | 0,6559       |
| 460            | 65,756    | 65,756       | 0,2423       |
| 470            | 79,644    | 79,644       | 0,0893       |
| 480            | 91,023    | 91,023       | 0,0329       |
| 490            | 98,159    | 98,159       | 0,0121       |
| 500            | 99,884    | 99,884       | 0,0044       |
| 510            | 95,906    | 95,906       | 0,0016       |
| 520            | 86,891    | 86,891       | 0,0006       |
| 530            | 74,283    | 74,283       | 0,0002       |
| 540            | 59,922    | 59,922       | 0,0001       |

Продолжение таблицы 1

| $\lambda$ , нм | $v_1$ , % | $v_{21}$ , % | $v_{22}$ , % |
|----------------|-----------|--------------|--------------|
| 550            | 45,611    | 45,611       | 0            |
| 560            | 32,759    | 32,759       | 0            |
| 570            | 22,202    | 22,202       | 0            |
| 580            | 14,198    | 14,198       | 0            |
| 590            | 8,5670    | 8,5670       | 0            |
| 600            | 4,8778    | 4,8778       | 0            |
| 610            | 2,6207    | 2,6207       | 0            |
| 620            | 1,3285    | 1,3285       | 0            |
| 630            | 0,6355    | 0,6355       | 0            |
| 640            | 0,2868    | 0,2868       | 0            |
| 650            | 0,1222    | 0,1222       | 0            |
| 660            | 0,0491    | 0,0491       | 0            |
| 670            | 0,0186    | 0,0186       | 0            |
| 680            | 0,0067    | 0,0067       | 0            |
| 690            | 0,0022    | 0,0022       | 0            |
| 700            | 0,0007    | 0,0007       | 0            |
| 710            | 0,0002    | 0,0002       | 0            |
| 720            | 0,0001    | 0,0001       | 0            |
| 730            | 0         | 0            | 0            |
| 740            | 0         | 0            | 0            |
| 750            | 0         | 0            | 0            |
| 760            | 0         | 0            | 0            |
| 770            | 0         | 0            | 0            |

Построили кривые видности  $v(\lambda)$  для монохромного и дихромного зрения насекомых.

Результаты представлены на рисунках 1,2.

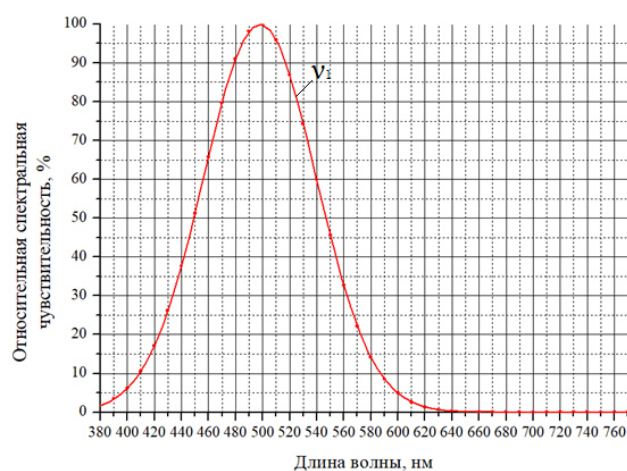


Рисунок 1 – График зависимости относительной спектральной чувствительности монохромного зрения насекомых от длины волны.

По графику видно, что максимум относительной спектральной чувствительности приходится на длину волны 499 нм.

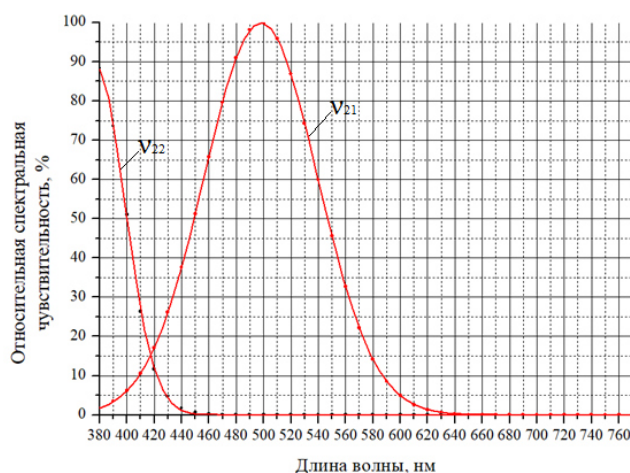


Рисунок 2 – График зависимости относительной спектральной чувствительности дихромного зрения насекомых от длины волны.

По графику видно, что максимум одной из кривых лежит за пределами видимой области. Из расчетов получаем 349 нм. Максимум второй кривой достигается при длине волны 500 нм.

Проведем сравнение экспериментальных и теоретических относительных спектральных чувствительностей путем наложения их графиков друг на друга.

Теоретические кривые видности монохромного и дихромного зрения насекомых [2] представлены на рисунках 3,4.

Наложение графиков представлено на рисунках 5,6.

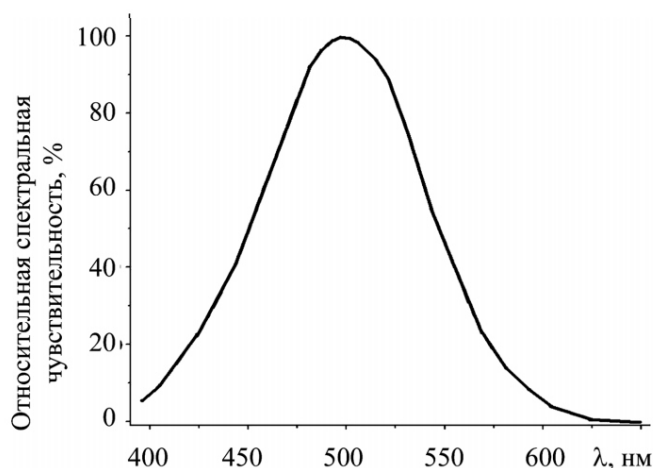


Рисунок 3 – График зависимости теоретической относительной спектральной чувствительности монохромного зрения насекомых от длины волны. [2]

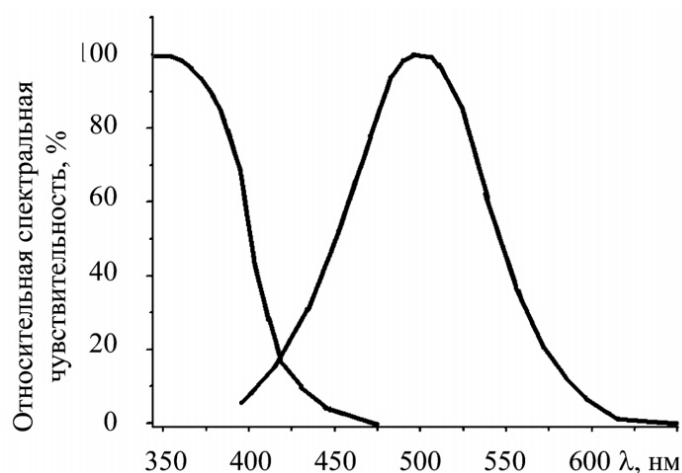


Рисунок 4 – График зависимости теоретической относительной спектральной чувствительности дихромного зрения насекомых от длины волны. [2]

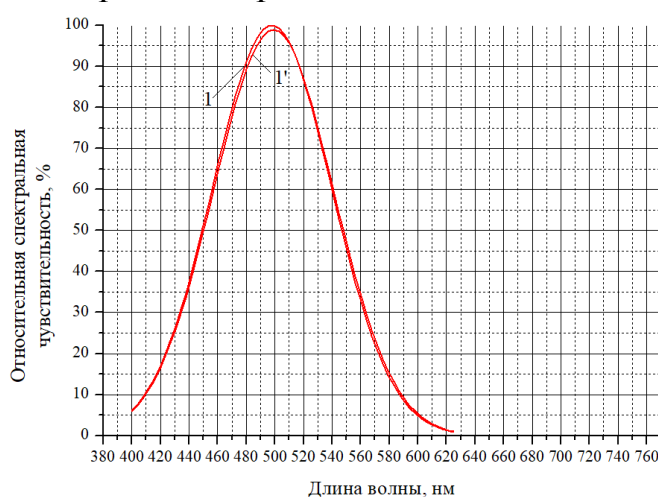


Рисунок 5 – Результат наложения теоретической и экспериментальной монохромной относительной спектральной чувствительности насекомых: 1 – экспериментальная кривая, 1' – теоретическая кривая.

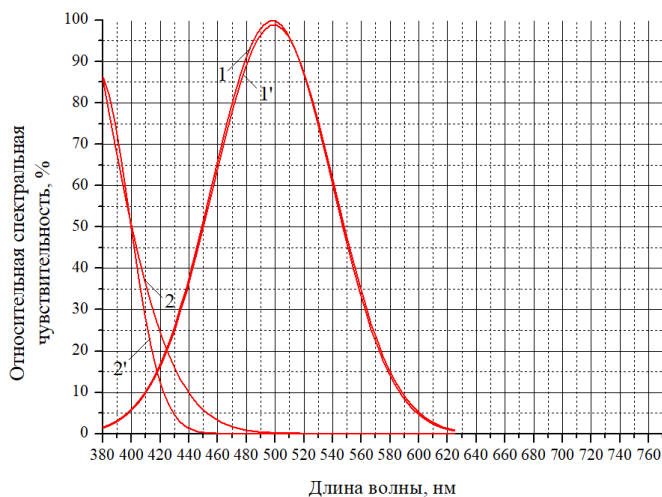


Рисунок 6 – Результат наложения теоретической и экспериментальной дихромной относительной спектральной чувствительности насекомых: 1,2 – экспериментальные кривые, 1',2' – теоретические кривые.

Из рисунка видно, что кривые практически полностью совпадают, исключением является части кривых 2,2' на длине волны 400-480 нм. Данную погрешность можно объяснить неточностью снятия характеристики с теоретической кривой. Так же стоит отметить, что для дихромного зрения по теоретическим данным на длинах волн 350-360 относительная спектральная световая эффективность равна 100%. Данное явление требует дальнейшего исследования.

Литература:

1. Ю.А. Плешкова, А.М. Лихтер, Управление поведением насекомых с помощью оптической фильтрации, Пробл. управл., 2012, выпуск 6, 51–55 с.
2. Мазохин-Поршняков Г.А. Руководство по физиологии органов чувств насекомых. — М.: Изд-во МГУ, 1977. — 456 с.

*И.А. Иванова, маг.; С.А. Амелин, к.т.н., доцент  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### ПРОСТЕЙШИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ УГАРНОГО ГАЗА НА ОСНОВЕ МОДУЛЯ С ДАТЧИКОМ MQ-7

На сегодняшний день существует множество приборов, предназначенных для измерения концентрации различных газов и газовых смесей в окружающей среде. Все эти приборы имеют в своем составе чувствительный элемент, который может отличаться, в зависимости от измеряемых газов и условий эксплуатации, по типу измерения. Наиболее востребованными на сегодняшний день являются следующие датчики: термокаталитический, термокондуктивный, полупроводниковый, электрохимический, гальванический, интерферометрический, фотоионизационный, пиролитический и фотометрический. В данной статье будет рассмотрен датчик MQ-7, основанный на полупроводниковом типе измерения. Обработка данных с датчика будет производиться при помощи микроконтроллера *Atmega16*.

Принцип работы датчика основан на изменении сопротивления тонкопленочного слоя диоксида олова  $SnO_2$  при контакте с молекулами определяемого газа. Чувствительный элемент датчика состоит из керамической трубки с покрытием  $Al_2O_3$  (оксид алюминия) и нанесенного на неё чувствительного слоя диоксида олова. Внутри трубки проходит нагревательный элемент, который нагревает чувствительный слой до температуры, при которой он начинает реагировать на определяемый газ. Чувствительность к разным газам достигается варьированием состава примесей в чувствительном слое.[3] Структура датчика MQ-7 показана на рисунке 1.

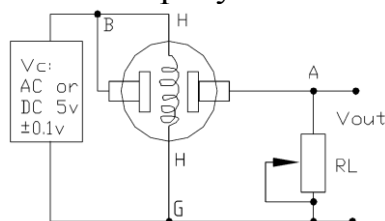


Рисунок 1— Внутренняя структура датчика MQ-7

В датчике *MQ-7* будут использоваться 3 внешних вывода:

- Сигнальный (*S*) — выходной сигнал сенсора (*V<sub>out</sub>* на рис. 1). Подключается к аналоговому входу микроконтроллера (входу АЦП).
- Питание (*B* на рис. 1) — питание датчика. Соединяется с положительным выводом источника питания микроконтроллера.
- Земля (*G*) — соединяется с выводом *GND* микроконтроллера.

При увеличении концентрации примесного газа сопротивление сенсора  $R_S$  уменьшается. Поскольку сопротивление сенсора включено в верхнее плечо делителя напряжения (рис. 1), а на делитель (как и на нагревательный элемент) подано напряжение питания, то напряжение на нижнем плече делителя  $V_{OUT}$  будет увеличиваться.

Это напряжение может быть преобразовано в цифровую форму с помощью АЦП микроконтроллера *ATmega16*, затем программно обработано для получения концентрации примеси в соответствующих единицах. Для получения концентрации в *ppm* необходимо провести логарифмическую аппроксимацию по графику чувствительности датчика *MQ-7* и вывести выражение для расчета.

После включения питания необходимо откалибровать датчик *MQ-7*. Для этого необходимо в течение 5 минут осуществлять прогрев датчика, а затем зафиксировать сопротивление датчика на чистом воздухе. Далее, в бесконечном цикле программы происходит постоянное считывание данных с АЦП микроконтроллера и пересчет полученного значения в *ppm* с помощью полученного аппроксимирующего выражения.

Нагреватель датчика (выводы *H*) подключается к выводам напряжения питания +5V и *GND* (рис. 2, а). Этим обеспечивается постоянный прогрев датчика до температуры, при которой он может реагировать на наличие определённых газовых примесей (в нашем случае угарного газа). Один из выводов сенсора (элемента, меняющего своё сопротивление при наличии газовых примесей) подключается к плюсовому выводу внешнего питания, второй, соединённый с постоянным резистором нижнего плеча делителя — ко входу АЦП канала 0 (*PA0*) микроконтроллера. В результате образуется резистивный делитель с переменным сопротивлением верхнего плеча (сопротивлением сенсора  $R_S$ ), схема которого представлена на рисунке 2, б.

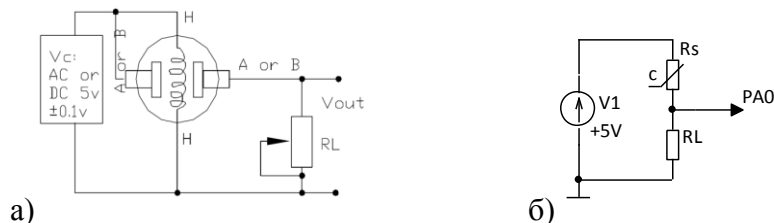


Рисунок 2 — Структура газоанализаторных датчиков серии *MQ* (а) и эквивалентная схема датчика (б)

В технической документации на используемый датчик *MQ-7* [3], имеется экспериментальная зависимость отношения  $R_S/R_0$  от концентрации газовой



примеси в *ppm*.  $R_S$  — это сопротивление сенсора при различных концентрациях газа,  $R_0$  — сопротивление сенсора при 100 *ppm* CO в чистом воздухе (рис. 3).

Таким образом, чтобы получить концентрацию требуемого газа, необходимо решить следующие задачи:

1. Зафиксировать значение  $R_0$  путем калибровки датчика после прогрева.
2. Определить отношение  $R_S/R_0$ .
3. Вычислить по аппроксимирующей зависимости (рис. 3) концентрацию газовой примеси (CO).

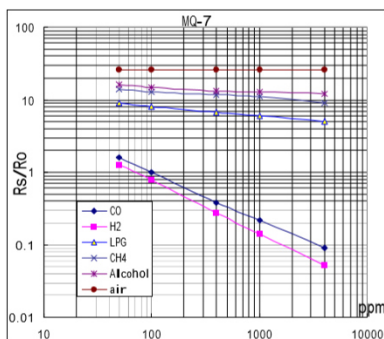


Рисунок 3 — Зависимость отношения  $R_S/R_0$  от концентрации различных газов датчика MQ-7

Отношение сопротивления сенсора  $R_S$  при 100 *ppm* CO в чистом воздухе к сопротивлению  $R_0$  при отсутствии CO находится по графику (см. рис. 3):

$$\frac{R_s}{R_0} = 1$$

Схема измерения и преобразования (рис. 4) дает возможность косвенным образом рассчитать при калибровке значение сопротивления  $R_0$ , которое затем можно использовать в процессе измерения. Сопротивление  $R_L$  заранее не известно.

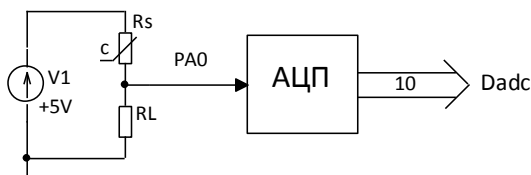


Рисунок 4 — Схема измерения и преобразования данных

Получая преобразованное значение с АЦП в чистом воздухе (рис. 4) после прогрева датчика можно определить связь между сопротивлением сенсора  $R_s$  и сопротивлением  $R_L$ :

$$R_s = \frac{1024 - D_{ADC}}{D_{ADC}} \cdot R_L \quad (1.1)$$

Сопротивление сенсора при отсчетных условиях (концентрация CO 100 *ppm*):

$$R_0 = \frac{1024 - D_{ADC0}}{D_{ADC0}} \cdot R_L \quad (1.2)$$

В процессе измерения и обработки следует определить отношение формул 1.1 и 1.2:

$$\frac{R_s}{R_0} = \frac{(1024 - D_{ADC}) \cdot D_{ADC0}}{D_{ADC} \cdot (1024 - D_{ADC0})} \cdot \frac{R_L}{R_L} = \frac{(1024 - D_{ADC}) \cdot D_{ADC0}}{D_{ADC} \cdot (1024 - D_{ADC0})} \quad (1.3)$$

Согласно (1.3) задача сводится к нахождению преобразованного кода напряжения датчика  $D_{ADC}$  при измерении концентрации. Отношение же  $\frac{1024 - D_{ADC0}}{D_{ADC0}}$  можно определить заранее при калибровке датчика после прогрева (до захода в вечный цикл). Разделив (1.1) на (1.2) можно получить заранее известное отношение, равное 1:

$$\frac{R_s}{R_0} = \frac{(1024 - D_{ADC}) \cdot D_{ADC0}}{D_{ADC} \cdot (1024 - D_{ADC0})} = 1 \quad (1.4)$$

Пусть:

$$P_0 = \frac{(1024 - D_{ADC0})}{D_{ADC0}} \quad (1.5)$$

Тогда:

$$\frac{R_s}{R_0} = \frac{(1024 - D_{ADC})}{D_{ADC} \cdot P_0} = 1 \quad (1.6)$$

Отсюда:

$$P_0 = \frac{(1024 - D_{ADC})}{D_{ADC} \cdot 1} \quad (1.7)$$

Таким образом, калибровка датчика состоит в нахождении кода АЦП напряжения с датчика в чистом воздухе  $D_{ADC0}$  и затем в расчёте по нему значения  $P_0$ .

Далее в процессе циклических измерений в вечном цикле отношение  $R_s/R_0$  определяется по формуле (получаемой подстановкой (1.7) в (1.6)):

$$\frac{R_s}{R_0} = \frac{(1024 - D_{ADC})}{D_{ADC} \cdot P_0} \quad (1.8)$$

Далее по найденному отношению  $R_s/R_0$  следует определить концентрацию угарного газа. Отметим, что логарифм отношения  $R_s/R_0$  зависит линейно от логарифма концентрации (согласно рис. 3).

График зависимости отношения  $R_s/R_0$  от концентрации показан на рисунке 5.

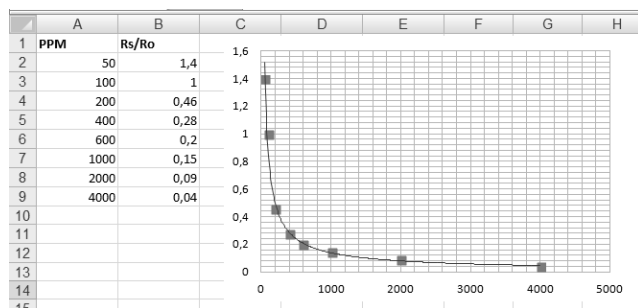


Рисунок 5 — График зависимости отношения сопротивлений  $R_s/R_0$  от концентрации

Используя данные, взятые для построения графика на рисунке 5, построим график зависимости  $\lg(R_s/R_0)$  от  $\lg(ppm)$  (рис. 6).

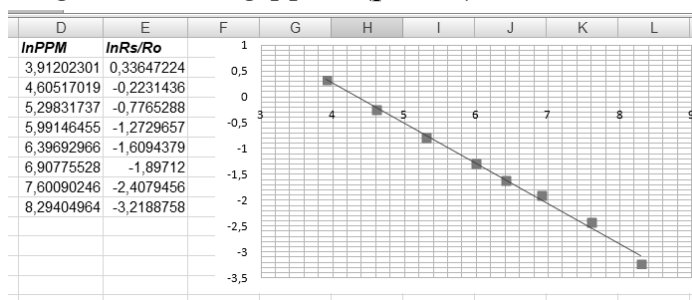


Рисунок 6 — Зависимость логарифма отношения сопротивлений  $R_s/R_0$  от логарифма концентрации примеси

По графику, изображенному на рисунке 6, находим уравнение прямой линии:

$$\ln\left(\frac{R_s}{R_0}\right) = A \cdot \ln(\text{conc}) + B = -0.5333 \cdot \ln(\text{conc}) + 2.4560$$

Итак, с помощью построения линии тренда в *MS Excel* получено значение коэффициентов  $A$  и  $B$  зависимости  $\ln(R_s/R_0) = A \cdot \ln(\text{conc}) + B$ . Отсюда формула для определения концентрации  $CO$  в ppm:

$$\text{conc} = e^{\left(\frac{\ln\left(\frac{R_s}{R_0}\right) - B}{A}\right)}, [\text{ppm}]$$

Таким образом, используя датчик *MQ-7* можно собрать простейший бытовой датчик измерения угарного газа. Полупроводниковые датчики надежны и обладают хорошей чувствительностью к сверхнизким концентрациям газов, которые сложно фиксировать другими типами датчиков. Однако в промышленности такие датчики не применяются, поскольку не обладают достаточной точностью измерения отдельных газов, а также из-за медленного процесса очистки после идентификации газа.

#### Литература

1. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. 528 с. [Электронный ресурс] URL: <https://serurvis.3dn.ru/skhema.pdf>

2. EasyAVR5A user manual. MikroElektronika. Software and hardware solution for embedded world. V101. [Электронный ресурс] URL: [http://www.mikroe.com/downloads/get/28/easyavr5a\\_manual\\_v101.pdf](http://www.mikroe.com/downloads/get/28/easyavr5a_manual_v101.pdf) своб.
3. Technical data MQ-7 GAS SENSOR [Электронный ресурс] URL: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf> своб.

*В.А. Клауга, маг., К.П. Клямеров, маг., С.А. Амелин, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ВНУТРИПЕРИОДНОГО СЖАТИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ НА ПЛИС**

Обеспечение безопасности страны в воздушно-космическом пространстве – крайне важная и всегда актуальная задача. Для решения этой задачи разрабатываются все более совершенные системы обнаружения, локализации и сигнализации воздушно-космического нападения, обеспечивающие полноту, своевременность, упорядоченность поступающей информации.

Своевременность получения информации является следствием формирования объединенного информационного поля и наиболее полной автоматизации процесса добычи, сбора и обработки информации. Полнота информации основана на использовании разнообразных систем и средств разведки с взаимно дополняющими друг друга характеристиками.

Упорядоченность достигается за счет систематизации всех ресурсов информационного поля и их оптимального размещения по различным уровням управления.

Радиолокационные комплексы являются одним из основных компонентов, обеспечивающих полноту получаемой информации. Современные первичные РЛС способны различать различные объекты, от крылатой ракеты до стаи птиц на аэродроме. Высокая точность и быстродействие системы локатора достигается за счет качественной работы каждого из его компонентов. Устройство внутрипериодного сжатия на ПЛИС, являясь одним из важных структурных элементов локатора, необходимо для увеличения вероятности нахождения цели и наиболее продуктивного использования радиолокатора.

Сжатие импульсов представляет собою процесс передачи сигнала, имеющего большую длительность, в закодированном виде и соответствующий вид обработки принятого сигнала, благодаря чему возможно получить относительно узкий импульс. Сигнал большой длительности позволяет улучшить энергетические характеристики системы радиолокации, тем самым повышая вероятность обнаружения цели, не уменьшив разрешающую способность по дальности, в отличие от систем, принцип работы которых основан на использовании коротких импульсов.

Использование при передаче сигналов, рассчитанных на длинные импульсы, позволяет повысить результативность использования возможностей аппаратуры радиолокационных систем в части обеспечения средней мощности. Тем самым допустимым является не формировать сигналы с высокой импульсной мощностью.

Среднюю мощность радиолокационной системы возможно увеличивать, не повышая частоты повторения импульсов (ЧПИ) тем самым не уменьшая интервал однозначного измерения дальности цели. При использовании данного метода возрастает разрешающая способность по доплеровской частоте в разрабатываемой системе. Также воздействие различных посторонних факторов, помех, структура которых отличается от используемых в системе кодированных сигналов, значительно уменьшается.

Разрабатываемое устройство осуществляет внутрипериодное сжатие радиолокационных сигналов с отправкой результатов по интерфейсу SerialRapidIO. Для возможности применения в современных локаторах устройство должно быть разработано на ПЛИС для обеспечения максимального быстродействия и обладать следующими характеристиками:

- входной сигнал принимается в цифровом виде и представляет из себя пачку КФМ/ЛЧМ радиоимпульсов с изменяемым типом сигнала и количеством отсчетов в периоде и количеством периодов – 64;
- информация об очередной пачке радиоимпульсов предварительно принимается устройством по интерфейсу UART;
- по окончании внутрипериодного сжатия радиолокационного сигнала устройство должно инициировать сигнал окончания операции внешнему устройству, которое в свою очередь должно инициировать чтение сжатой пачки импульсов из памяти устройства.

Структурная схема предлагаемой разработки представлена на рисунке 1.

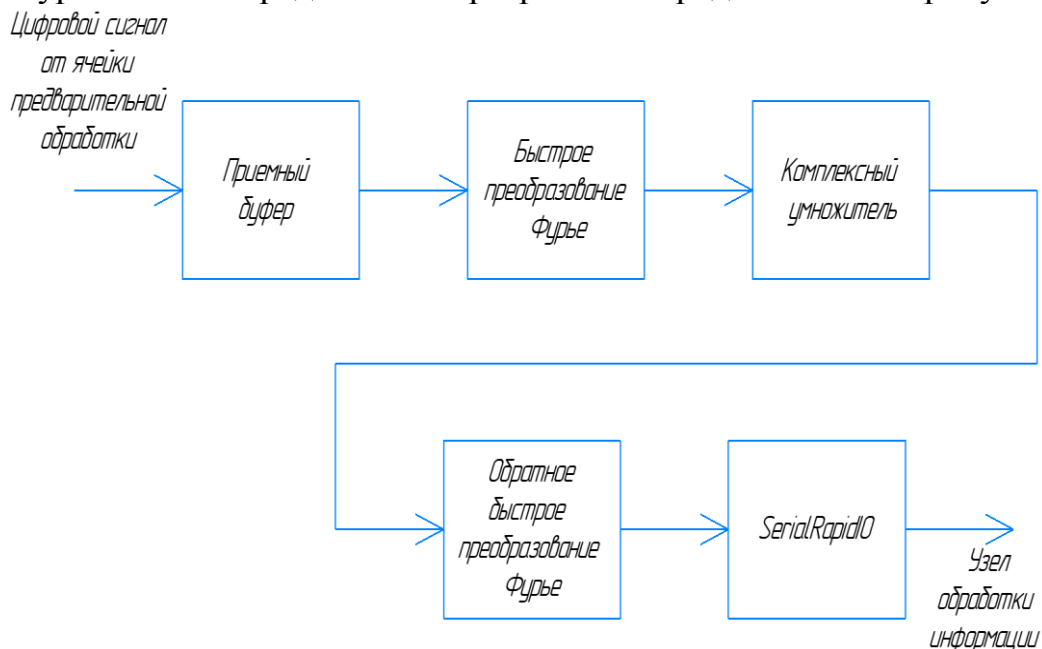


Рисунок 20 — Структурная схема устройства внутрипериодного сжатия радиолокационных сигналов на ПЛИС

Кодо-фазно модулированные импульсы (их отличительной характеристикой является скачкообразное изменение фазы внутри импульса по

определенному закону), также как и линейно-частотно модулированные импульсы (вид частотной модуляции, при которой изменение частоты несущего сигнала происходит по линейному закону) являются наиболее распространенными стандартными видами модуляции.

Данные для обработки разрабатываемым устройством поступают в цифровом виде от ячейки предварительной обработки по стандартному интерфейсу приема-передачи UART.

Протоколы общения разрабатываемого устройства должны предусматривать прием информации от сторонних устройств, а также как передачу относительно коротких команд управления, так и запросов на передачу/чтение большого объема данных из памяти за как можно меньшее время.

Сжатие сигнала времени в специальных устройствах – фильтрах, согласованных с этими сигналами возможно и необходимо применять для обработки сложных сигналов, коими являются почти все реальные сигналы. Тем самым удастся совместить большую энергию излучения, свойственную длинному зондирующему импульсу, а также высокое разрешение целей по дальности, свойственное короткому сжатому сигналу.

Для корректного осуществления сжатия сигнала на ПЛИС в приемный буфер приступает сигнал с радиолокатора, предварительно нормированный, аппаратно отфильтрованный и преобразованный в цифровой сигнал.

Используется быстрое преобразования Фурье, так как алгоритм этого преобразования допускает разложение матрицы ДПФ на простые сомножители и позволяет по сравнению с ДПФ добиться выигрыша по операциям умножения в  $2N/\log_2 N$  раз, что ускоряет обработку и уменьшает количество элементов, требуемых для цифровой фильтрации. После прохождения комплексного умножителя и обратного преобразования Фурье, сигнал по интерфейсу SerialRapidIO подается на узел дальнейшей обработки информации.

Последовательный интерфейс «быстрого ввода-вывода» SerialRapidIO был выбран, так как это современный интерфейс мультипроцессорных систем, в которых необходимо предусмотреть высокую скорость передачи данных. Также этот интерфейс предусматривает удобный протокол связи между равноправными абонентами и минимизирует программные издержки. Он широко распространен и используется для обмена данными как между микросхемами в пределах одной платы, так и между платами в пределах устройства.

Разрабатываемая система применима во многих современных радиолокационных системах и позволяет сжать по времени кодо-фазно модулированные и линейно-частотно модулируемые сигналы на выходе согласованных фильтров, что даёт возможность улучшить разрешающую способность РЛС по дальности и отношение сигнал/шум.

#### Литература

1. Смит, С.В. Научно-техническое руководство по цифровой обработке сигналов /С. Смит // СПб: АВТЭК. – 2001. – с. 681.

2. Кестер, У. Цифровая обработка сигналов / У. Кестер. – М.: 2005 – 297с.
3. Титце У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк; пер. с нем.; под ред. А.Г. Алексеенко. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
4. Хоровиц П. Искусство схемотехники 7-ое издание / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ.; под ред. Т.Г. Хохлова. – М.: Мир, 2009. – 704 с.
5. Марков С. Цифровые сигнальные процессоры и программируемые логические интегральные схемы. — М.: фирма МИКРОАРТ, 2010. — 144 с.

*В.А. Клауга, маг., К.П. Клямеров, маг., С.А. Амелин, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЦЕХОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ**

Неотъемлемой частью почти любого из существующих производственных процессов реального сектора экономики является работа в специально оборудованных для нужд соответствующего производства цеховых помещениях. Поддержание оптимального микроклимата в таких помещениях является, порою, достаточно нетривиальной задачей из-за конфигурации помещения или особенностей производственного процесса.

Контроль параметров среды цехового помещения, несомненно, является актуальной и важной задачей, так как работодатель обязан предоставлять рабочие места, соответствующие СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда" и контролировать параметры окружающей среды, чтобы избежать ухудшения условий труда, и, как следствие, повышение риска травматичности производства, снижения эффективности работы наемных рабочих и ухудшения качества производимой продукции.

В данной статье предложен один из вариантов реализации системы контроля цеховых помещений, позволяющий эффективно мониторить и поддерживать приемлемое состояние микроклимата в цеховом помещении.

Разрабатываемая система обладает следующими параметрами и характеристиками:

- управление электроприводом отпирания/запирания окон (2 шт.), мощностью 300 Вт каждый, питающиеся от сети переменного напряжения 230 В;
- управление лампами освещения (12 шт.), мощностью 50 Вт каждая, питающиеся от сети переменного напряжения 230 В;
- управление независимыми расцепителями автоматических трехфазных выключателей (2 шт.), подключаемыми к сети переменного напряжения 230 В;
- управление вентилирующими механизмами (4 шт.), мощностью 100 Вт каждый, питающиеся от сети переменного напряжения 230 В.
- отправка диагностических сообщений на узел мониторинга.
- измерение уровня освещенности в диапазоне от 10 до 50000 Лк, концентрации углекислого газа от 200 до 1500 ppm, относительной влажности в диапазоне от 30% до 70%, а также температуры в диапазоне от -15 °С до +40 °С.

Все измерения должны проводиться с относительной погрешностью не более 5%.

- измерение уровня освещенности, концентрации углекислого газа, а также влажности и температуры в помещении.

Данная совокупность характеристик необходима для обеспечения своевременного проветривания помещения, поддержания нормального уровня освещенности влажности, температуры, газовой загрязненности помещения, обеспечения электробезопасности в случае неполадок оборудования и подачи информации о текущей обстановке в помещении оператору для принятия решения о необходимости проведения специальных мероприятий по приведению измеряемых показателей к оптимальному состоянию. Структурная схема предлагаемой разработки представлена на рисунке 1.

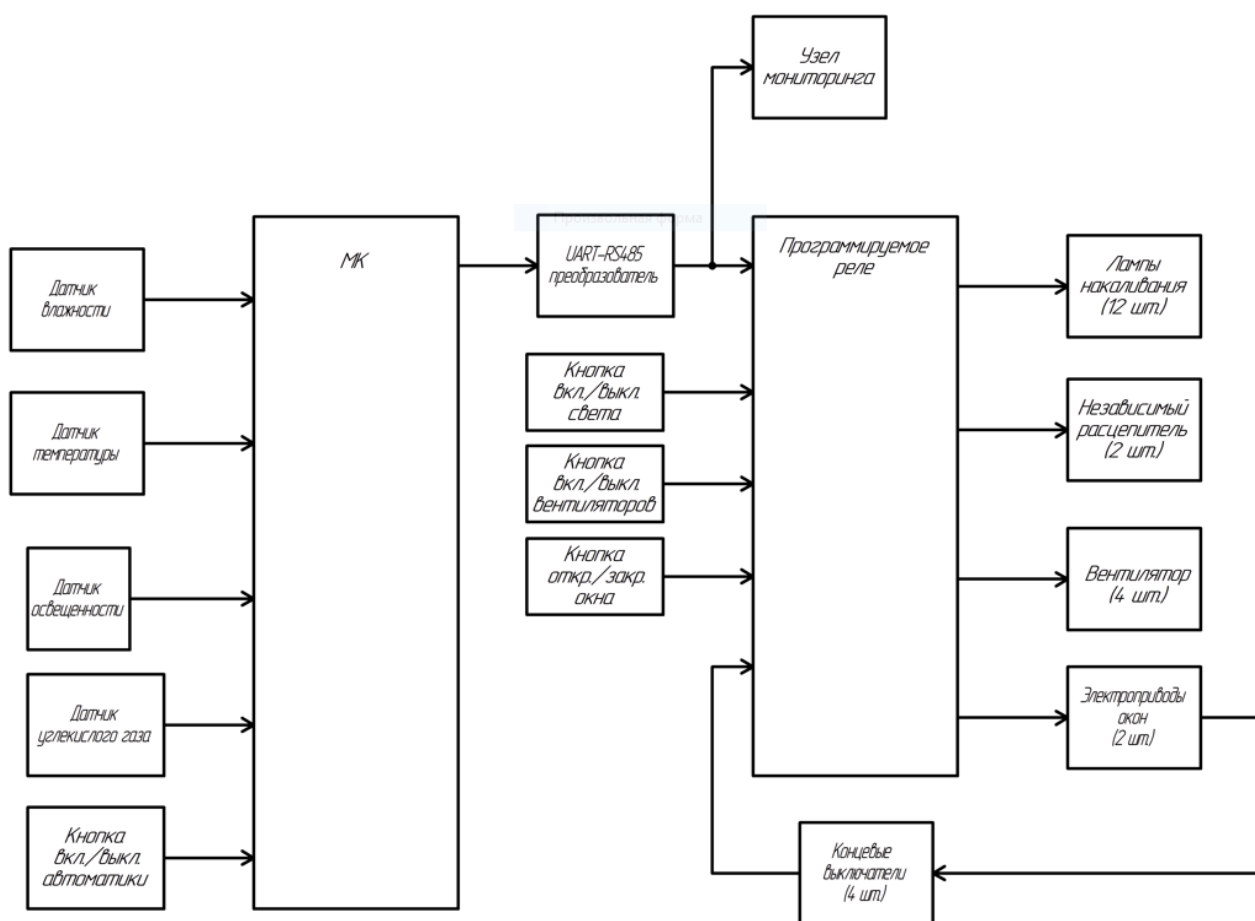


Рисунок 21 — Структурная схема устройства контроля цеховых помещений

Для корректного контроля параметров окружающей среды микроклимата в состав разрабатываемой системы необходимо включить ряд датчиков, равномерно распределенных по помещению. Минимально необходимыми элементами мониторинга окружающего пространства разрабатываемого устройства являются датчик влажности, датчик температуры, датчик освещенности, датчик углекислого газа.



Система работает следующим образом: информация о состоянии окружающей среды, собираемая посредством установленных датчиков, передается на микроконтроллер, где обрабатывается в соответствии с заранее заданным алгоритмом, определяя, какие параметры микроклимата помещения не соответствуют нормам СП 2.2.3670-20. Далее обработанную микроконтроллером информацию необходимо предоставить оператору устройства, а также передать соответствующие сигналы аппаратуре, предназначенной для регулирования параметров окружающей среды. Для наиболее простой интеграции разрабатываемого устройства в систему любого предприятия будет использоваться общепромышленный интерфейс RS-485. В RS-485 для передачи и приёма данных используется витая пара. Передача данных осуществляется с помощью дифференциальных сигналов, что обеспечивает высокую устойчивость к синфазной помехе. Разница напряжений одной полярности означает логическую единицу, разница другой полярности означает логический ноль. Для передачи данных от микроконтроллера (который производит передачу данных по протоколу *UART*) необходима микросхема преобразователя интерфейсов (рис. 2).

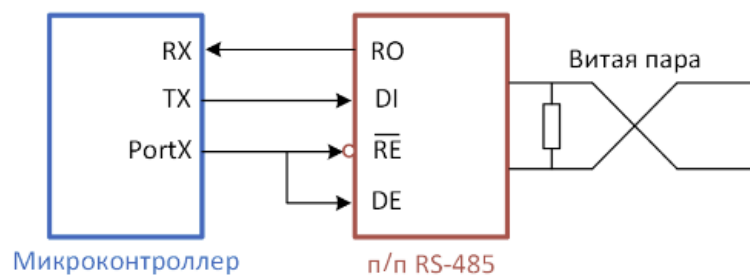


Рисунок 2 — Схема подключения приемо-передатчика к микроконтроллеру

На рисунке 3 показано основное преимущество передачи данных по RS-485 – высокая устойчивость к синфазной помехе.

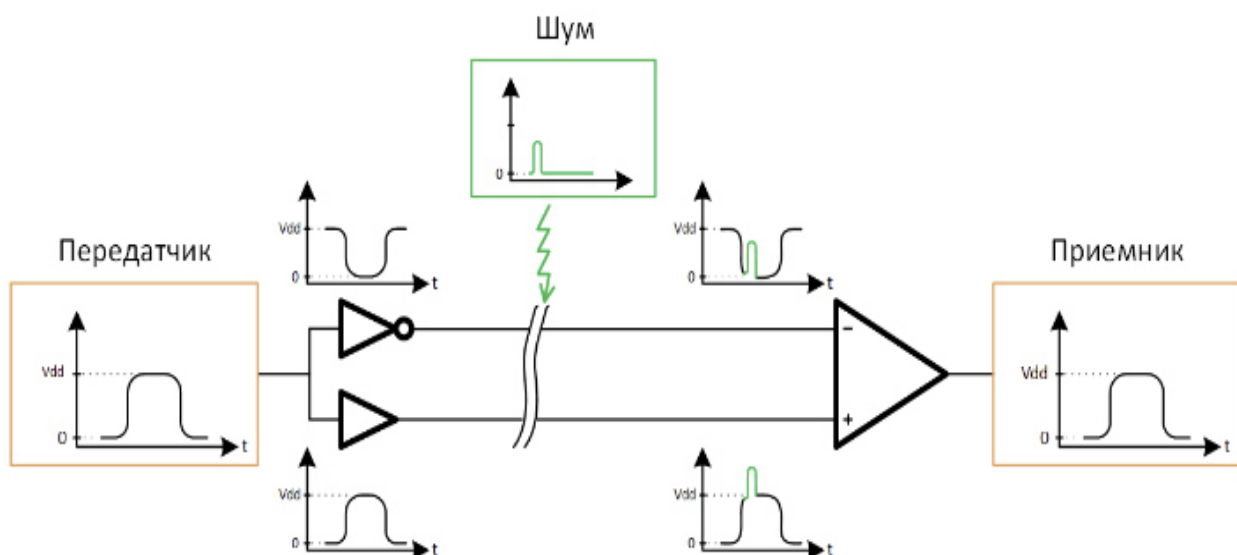


Рисунок 3 — Алгоритм работы микросхемы приемо-передатчика

Передаваемые при помощи этого интерфейса данные будут отображаться на узле мониторинга, что позволит оператору с легкостью оценить текущую обстановку в цеховом помещении. Также, при помощи программируемого реле, система будет управлять доступными устройствами для регулировки микроклимата помещения.

Разрабатываемая система будет иметь возможность как автоматического управления, не требующей участия человека в непосредственном воздействии на ее элементы (лампы, расцепители, вентиляторы, электроприводы окон), так и ручного. Чтобы переключить систему в режим ручного управления, необходимо предусмотреть узел управления включения/выключения автоматики. Узел будет представлять собой кнопку с фиксацией. Когда кнопка не нажата, воздействие на элементы регулировки в ручном режиме невозможно, в случае же, если кнопку нажали, воздействия допустимо производить только в ручном режиме при помощи кнопок, подключенных к программируемому реле.

Кроме того, ГОСТ 27.003-90 обязывает разработчиков предусмотреть возможность работы с системой в ручном режиме управления, чтобы предостеречь пользователя, и позволить системе продолжать работать, несмотря на выход автоматики из строя.

Предлагаемая разработка позволит обеспечить своевременное проветривание помещения, поддержание приемлемых показателей освещенности влажности, температуры, газовой загрязненности помещения, обеспечение электробезопасности в случае неполадок оборудования и подачу информации о текущей обстановке в помещении оператору для принятия решения о необходимости проведения специальных мероприятий по приведению измеряемых показателей к оптимальному состоянию.

#### Литература

1. Дьяконов В. П. Микропроцессорная техника в проектах «умных домов» / В. П. Дьяконов. — М. : ДМК Пресс, 2009. — 384 с., ил.
2. Готтлиб И. М. Источники питания. Инверторы, конверторы, линейные и импульсные стабилизаторы / И. М. Готтлиб. — М.: Постмаркет, 2002. — 323 с.
3. Титце У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк; пер. с нем.; под ред. А.Г. Алексеенко. — М.: Мир, 1982. — 512 с.
4. Хоровиц П. Искусство схемотехники 7-ое издание / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ.; под ред. Т.Г. Хохлова. — М.: Мир, 2009. — 704 с.

*К.П. Клямеров, маг.; С.В. Дроздецкий, асс.  
(Филиал ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ДВУХТАКТНОГО ПОЛУМОСТОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

В процессе разработки любого электронного устройства остро встает вопрос подачи энергии для осуществления его работы. Так как часто разработчикам устройств нужно фиксированное и стабильное напряжение питания, величина которого достаточно сильно отличается от сетевого, необходимо использовать различные стабилизаторы, делители напряжения. Однако, наиболее универсальным решением являются двухтактные

преобразователи напряжения. В данной статье рассмотрена разработка двухтактного преобразователя с силовым контуром, выполненном по полумостовой схеме.

Полумостовой преобразователь напряжения с гальванической развязкой относится к классу двухтактных преобразователей, технические характеристики (размеры трансформатора, сглаживающего фильтра, а также КПД) значительно лучше, чем у однотактных преобразователей с гальванической развязкой [1].

Силовой контур преобразователя представлен на рисунке 1.

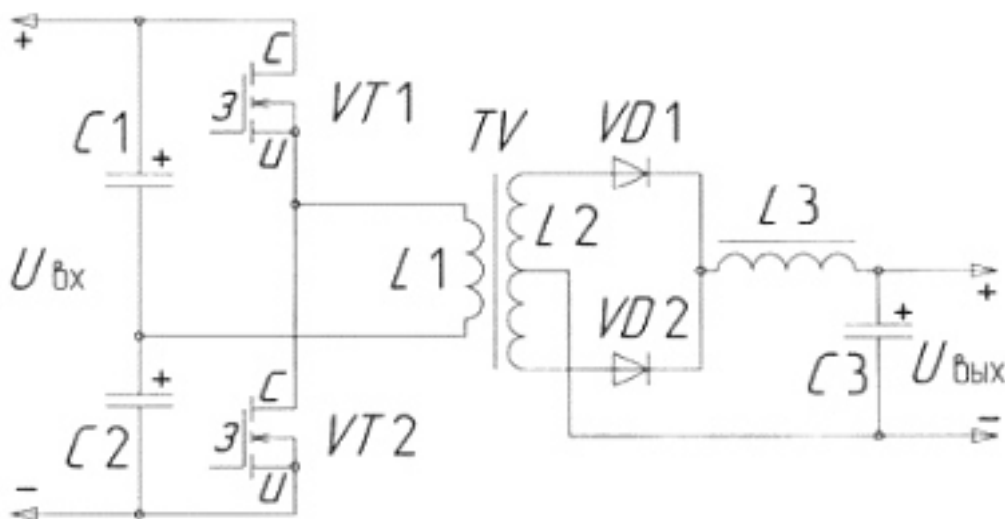


Рисунок 1 – Силовой контур двухтактного полумостового преобразователя

Энергия переходит в нагрузку на протяжении двух полупериодов цикла. Благодаря такой схеме, преобразователь способен выдавать на выход большую мощность. Во время, когда верхний ключ  $T1$  замкнут, на первичную обмотку  $L1$  передаётся положительное напряжение, величина которого составляет  $U_{вх}/2$  (напряжение на конденсаторах делится вдвое). На вторичной полуобмотке появляется положительное напряжение, кратное коэффициенту трансформации, диод  $VD1$  открывается и ток через  $LC$ -фильтр протекает в нагрузку. Нижний же транзистор открывается после полного закрытия верхнего, для чего необходимо выдержать паузу [2].

На первичную обмотку приходит напряжение противоположной полярности, на вторичной полуобмотке так же возникает напряжение противоположной полярности, открывается диод  $VD2$  и ток через  $LC$ -фильтр протекает в нагрузку.

Когда оба ключа разомкнуты, индуктивность передаёт в нагрузку энергию, накопленную ранее. Ключевым достоинством полумостового преобразователя является низкое обратное напряжение, которое приложено к обоим ключевым транзисторам в состоянии отсечки, по уровню равному напряжению питания преобразователя.

Благодаря этому допустимо использовать полумостовые преобразователи в случае высокого питающего напряжения. Допустимо включать полумостовые

преобразователи без нагрузки не опасаясь повреждения радиодеталей, составляющих преобразователь. Частота пульсации равна удвоенной частоте преобразования. Кроме того, в данного типа преобразователях трансформаторы работают в условиях с симметричным перемагничиванием [1].

Магнитная индукция  $B$ , в сердечнике трансформатора с симметричным перемагничиванием, может изменяться в пределах от отрицательно  $-V_{max}$  до положительной  $+V_{max}$  максимальной индукции [1].

В разрабатываемом преобразователе будет использована отрицательная обратная связь с системой управления по напряжению (рис. 2).

В схеме с ОС по напряжению значение выходного напряжения поступает на усилитель согласования, т.е. напряжение резистора  $R$  поступает на звено коррекции, далее на неинвертирующий вход компаратора, на инвертирующий вход поступает пилообразный сигнал, задающий частоту коммутации. Таким образом компаратор вырабатывает сигнал ШИМ для управления ключами. Коэффициент заполнения ШИМ зависит от сигнала на выходе звена коррекции.

Система управления по выходному напряжению быстро реагирует на изменение выходного напряжения, поэтому преобразователь с такой системой управления хорошо обрабатывает изменение нагрузки. А вот обработка изменений входного напряжения происходит не очень хорошо. Это связано с тем, что изменение входного напряжения сначала должно проявиться на выходе преобразователя после чего система управления скомпенсирует провал или выброс выходного напряжения.

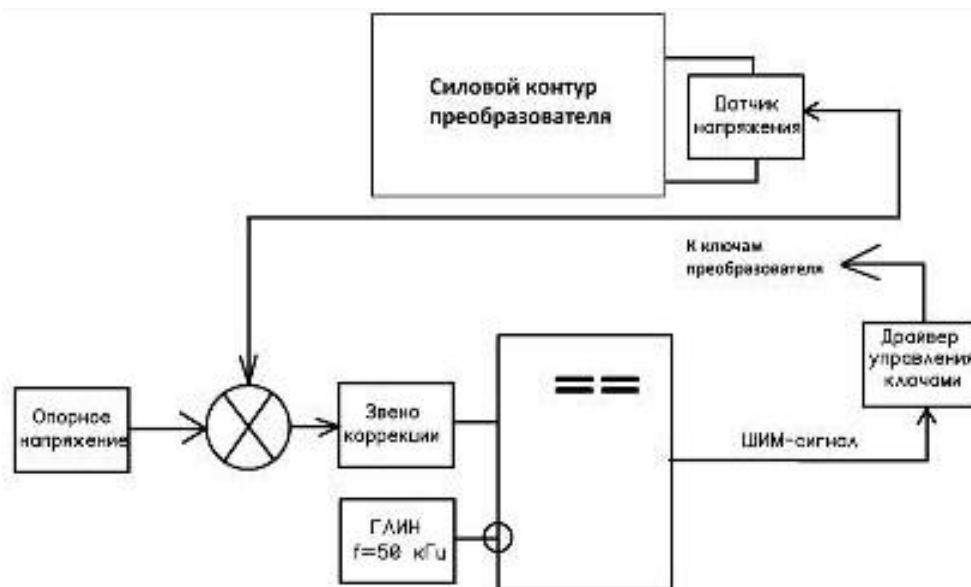


Рисунок 2 – Функциональная схема преобразователя с системой управления по выходному напряжению

Для реализации двухтактного полумостового преобразователя выбирается ШИМ-контроллер  $TL494$ , потому что у этой микросхемы очень развиты цепи управления, что позволяет на ее базе строить преобразователи практически под любые требования

Параметры разрабатываемого преобразователя представлены в таблице 1.

Таблица 2. — Параметры разрабатываемого преобразователя

| Тип преобразователя      | Вид системы управления | Входное и выходное напряжение, В | Диапазон мощности на выходе, Вт | Частота коммутации, кГц |
|--------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Двухтактный полумостовой | по вых. напряжению     | 20-30<br>30                      | 20-30                           | 50                      |

Результат расчета трансформатора, проведенного в программе *All in One* представлен на рисунке 3.

The screenshot displays the RingFerriteExtraSoft software interface for transformer calculation. It is divided into several sections:

- Исходные данные (Initial Data):** Includes frequency (50 kHz), duty cycle (0.45), dead time (1.000 μs), Rds(on) (0.02 Ohm), saturation voltage (0.070 V), window fill coefficient (0.3), current density (6 A/mm²), ambient temperature (25 °C), and number of cores (1).
- Схема преобразователя (Converter Schematic):** Set to 'Полумостовая' (Half-bridge).
- Результаты расчета (Calculation Results):**
  - Максимальная индукция в магнитопроводе: 0.143 Т
  - Габаритная мощность трансформатора: 171.9 Вт
  - Потребляемая нагрузкой мощность: 30.0 Вт
  - Индуктивность первичной обмотки: 84.9 мкГн
  - Макс. ток намагничивания первичной обмотки: 0.516 А
  - Амплитуда тока первичной обмотки: 4.016 А
  - Ток потребления: 1.255 А
  - Число витков первичной обмотки: 6
  - Диаметр провода первичной обмотки: 0.83 мм
  - Число проводов в первичной обмотке: 1
  - Число слоев в первичной обмотке: 0.162
  - Плотность тока в первичной обмотке: 5.928 А/мм²
  - Длина первичной обмотки: 0.234 м
  - Сопротивление первичной обмотки (DC): 7.558 мОм
  - Отношение Rskip/Rdc первичной обмотки: 1.0910
  - Мощность потерь в первичной обмотке: 0.078 Вт
  - Допустимый диаметр проводов не более: 0.850 мм
- Выходные характеристики преобразователя (Output Characteristics):** Shows 3 outputs with nominal voltages of 30V, 0V, and 0V.
- Магнитопровод (Core):** Material: N87 Epcos. Results include core loss (0.503 W) and temperature rise (17.1 °C).
- Оптимизация (Optimization):** Shows 6 turns in the primary winding.

Рисунок 3 – Результат расчета трансформатора в программе

Также были произведены расчеты элементов обвязки ШИМ-контроллера *TL494* и цепи гальванической развязки, передающей информацию о выходном напряжении, выдаваемом преобразователем на вход контроля напряжения обратной связи ШИМ-контроллера. В качестве оптрона была выбрана микросхема *PC817*.

В представленной на рисунке 4 модели [3] входное изменение напряжения от 20 до 30 В обеспечивается источником постоянного напряжения  $V_{in}$ . Параметры модели трансформатора: индуктивность первичной обмотки 84.9 мкГн; индуктивность вторичной обмотки 1040.7 мкГн; коэффициент связи 0,99.

Изменение выходной мощности от 20 до 30 Вт достигается за счет изменения сопротивления нагрузки  $R_{load}$  от 45 до 30 Ом соответственно.

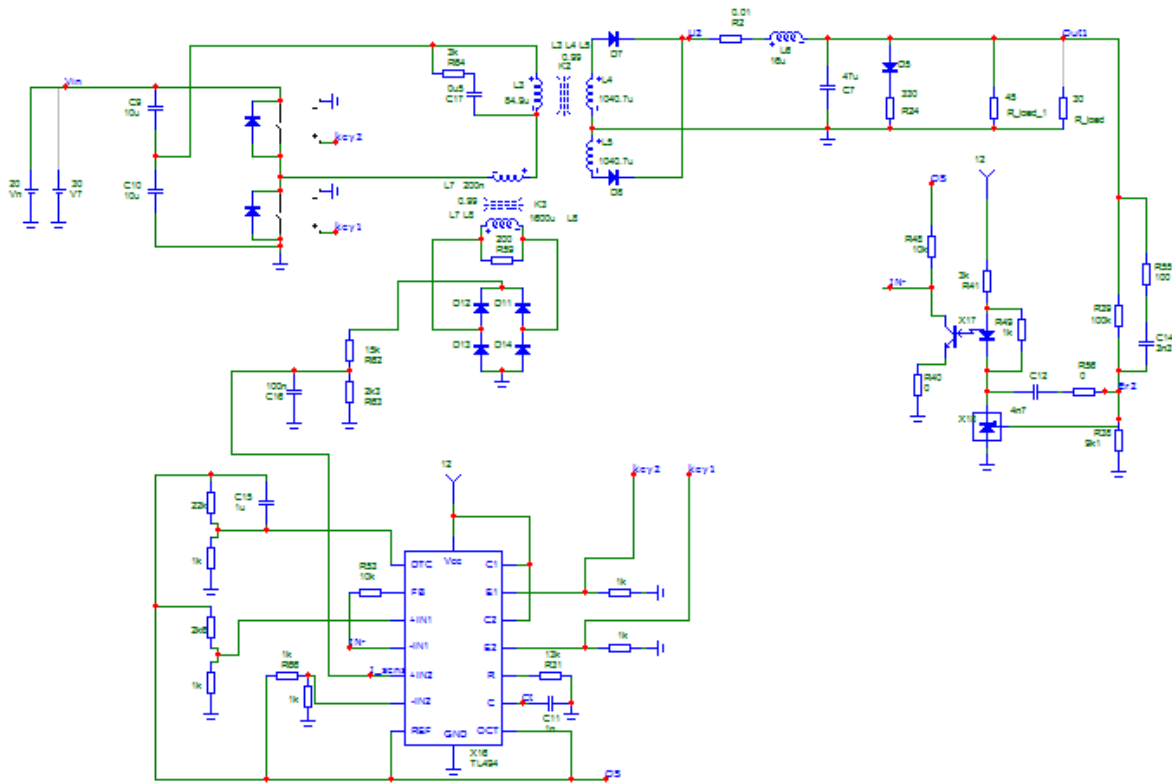


Рисунок 4 – Схема моделирования преобразователя с замкнутой цепью ОС

На рисунках 5–7 показаны результаты моделирования работы преобразователя в среде *Microcap 9* при различных нагрузках.

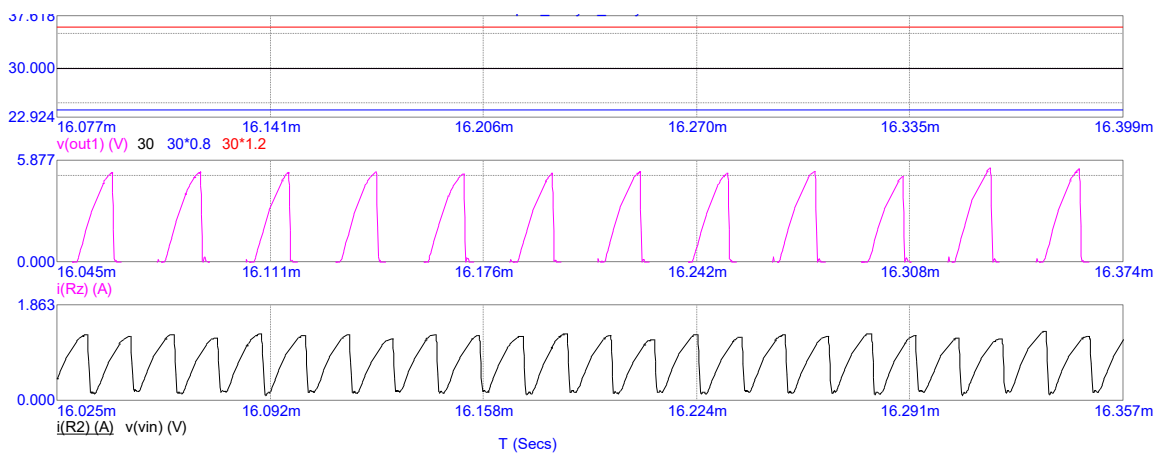


Рисунок 5 – Результат моделирования преобразователя с замкнутой цепью СУ (1 – график напряжения на выходе, 2,3 – токи первичной и вторичной обмоток трансформатора)

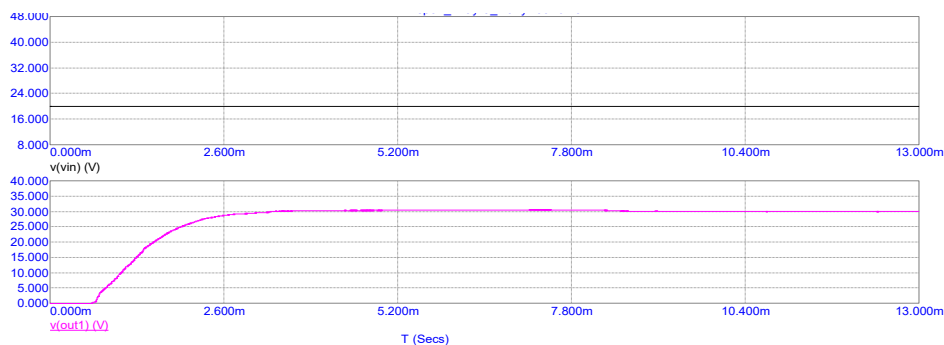


Рисунок 6 – Графики входного и выходного напряжения при  $R_{нагр} = 45 \text{ Ом}$

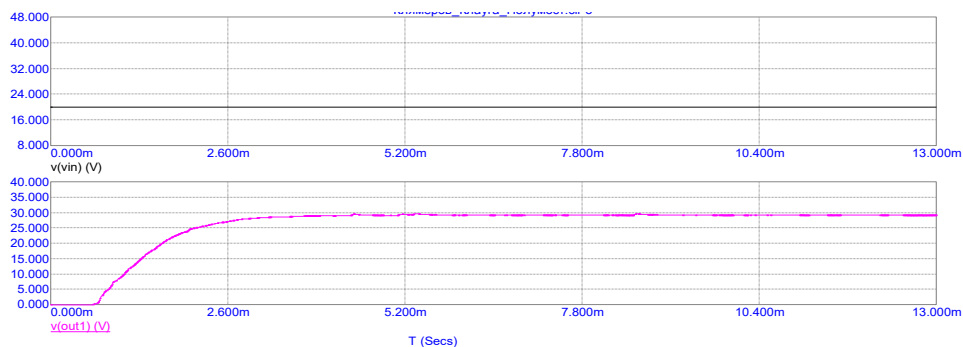


Рисунок 7 – Графики входного и выходного напряжения при  $R_{нагр} = 30 \text{ Ом}$

Разработанный двухтактный преобразователь обладает защитой по току, отрицательной обратной связью по напряжению. Достоинством этой схемы является низкое обратное напряжение, приложенное к каждому ключевому транзистору в состоянии отсечки. Также его возможно включать без нагрузки (при этом не будет опасного повреждения компонентов), трансформатор работает с симметричным перемагничиванием. Этот преобразователь прост в реализации и может выдавать большую мощность в нагрузку. Духтактный преобразователь допустимо проектировать без ограничительной обмотки, отсутствует необходимость развязывать цепь управления ключами от входного напряжения

Наличие двух конденсаторов в делителе напряжения является существенным недостатком данного типа преобразователей. При перегрузке по току возможно разрушение компонентов ИИП, если не предусмотреть систему защиты. Также, при использовании мостовой топологии (в отличие от полумостовой), достигим больший КПД.

#### Литература

1. Макашов Дмитрий Обратногоходовой преобразователь, 2006. – 46 с.;
2. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. — 528 с., ил.
3. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Амелина М.А., Амелин С.А – Электрон. текстовые дан. – СПб. : Лань, 2014. – 632 с. – Режим доступа: URL [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=53665](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=53665)

## **УПРАВЛЕНИЕ СТЕНДОМ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОКОТРОЛЛЕРА**

Полезные ископаемые нашей планеты с каждым годом все истощаются и самое главное не возобновляются. По этой причине стоит рассмотреть вариант с переходом на альтернативные источники энергии, неисчерпаемые ресурсы. К альтернативным источникам энергии можно отнести:

- солнечный свет (рис. 1);
- движение воды;
- ветер.

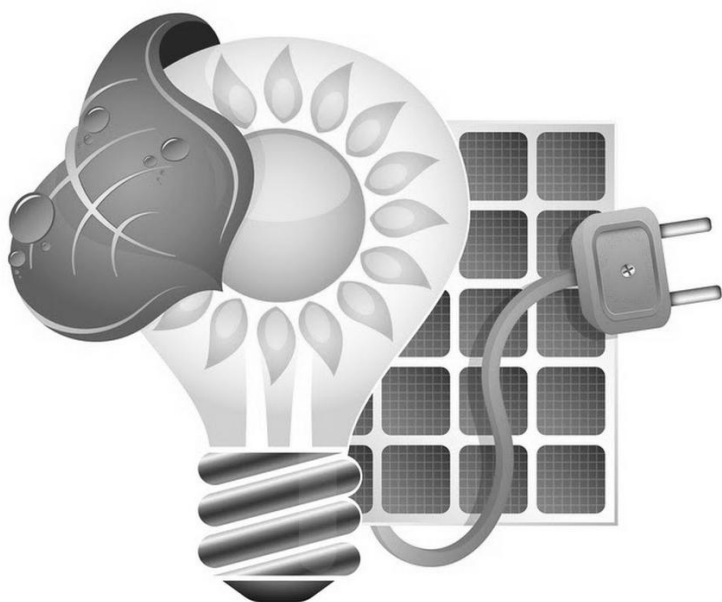


Рисунок 1 — Солнечная энергия

Для наглядной демонстрации работы альтернативных источников энергии студентам, разрабатывается лабораторный стенд, состоящий из 3 модулей (рис. 2):

- солнечная батарея;
- генератор ветра;
- водяная турбина.

Сама же данная разработка состоит из следующих компонентов:

- переменный резистор;
- лампочка;
- солнечная батарея;
- индикатор заряда;
- генератор;
- воздушный кулер;
- водяная турбина;



- резервуар с водой;
- *arduino nano*[3];
- *bluetooth*-модуль *HC-06*;

Питание стенда осуществляется от сети переменного напряжения 230 В. Так как в стенде все устройства должны питаться от 5 В постоянного тока, в стенде установлен понижающий AC/DC преобразователь. Запуск каждого модуля регулируется при помощи платы *Arduino nano*[3].

Первый модуль «солнечная батарея» состоит из: переменного резистора, лампочки, солнечной батареи, индикатора заряда. Для регулирования яркости света лампочки используется переменный резистор. Лампочка в свою очередь освещает солнечную батарею, которая преобразует направленное свечение света в электрическую энергию. Далее на дисплее отображается индикация заряда. В зависимости от яркости свечения лампочки происходит электрический заряд солнечной батареи[4].

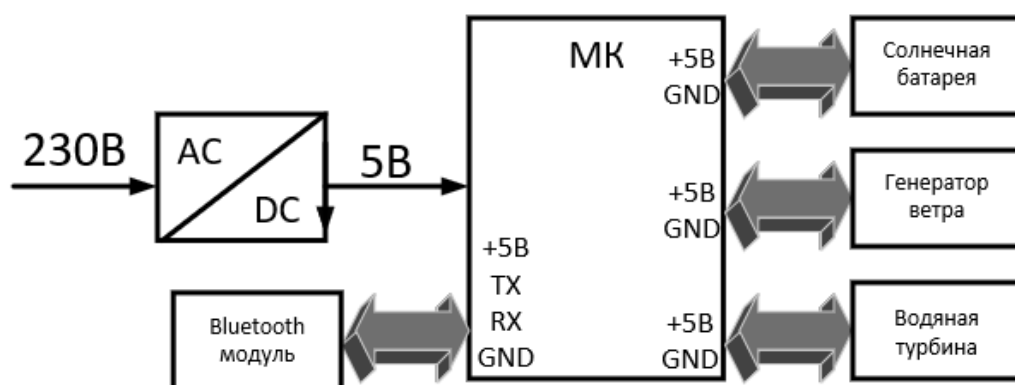


Рисунок 2 — Функциональная схема устройства

Второй модуль — «генератор ветра», состоит из двух кулеров и индикатора заряда. С генератора подается напряжение на кулер 1, который приводит в движение кулер 2 путем направленного воздуха. Скорость кулера 1 можно регулировать с помощью генератора на таймере 555. Запуск второго модуля осуществляется отдельной кнопкой[4].

Третий модуль «водяная турбина» включает в себя резервуар с водой, механическую помпу, водяную турбину и индикатор заряда в виде лампочки (рис. 3).

Один из студентов путем механического воздействия на помпу создает давление, которое способствует протеканию воды по трубке, соединенной с водяной турбиной. Посредством водного давления на лопасти создается вращение турбины, которое преобразуется в электрическую энергию и загорается индикатор заряда, подсоединенный к турбине, а вода по трубке возвращается в резервуар[4].



Рисунок 3 — Водяная турбина

Индикаторы заряда устанавливаются на каждый из модулей. На первый модуль индикатор устанавливается в виде дисплея. На два других модуля будут установлены 5 В лампочки.

Стенд принимает команды с телефона, с которым он соединен по *Bluetooth*. После успешного подключения с телефоном, стенд готов к использованию (рис. 4).

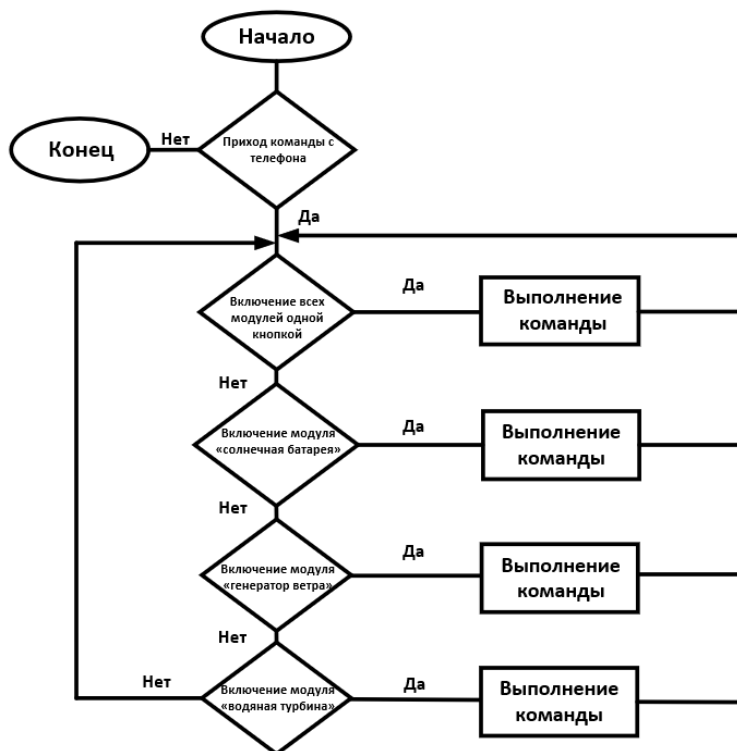


Рисунок 4 — Алгоритм работы устройства

В дальнейшем планируется следующая доработка стенда: ведётся выбор компонентов, проведение соответствующих расчетов, установка электронасоса,

разработка схема защиты, разработка защиты от механических повреждений со стороны студентов, установка на каждый модуль вольтметров и амперметров для снятия показаний, установить радиомодуль, поскольку он будет лучше проводить сигнал через бетонные завалы, по сравнению с *Bluetooth*-модуль.

#### Литература

1. Кашкаров А. П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции / Кашкаров А. П. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 143с.
2. Сибикин Ю. Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Сибикин Ю. Д. – М.: КноРус, 2010. – 227с.
3. IARDUINO.RU Всё для радиолюбителей [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://iarduino.ru/> свободный (дата обращения 23.09.2021).
4. Смолин В.А.; Ковалёв В.А. (Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске) СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ// Сборник трудов X национальная научно-техническая конференция с международным участием «ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ-2020» С. 113-116.

*К.В. Комачев, студ.; А.А. Каткова, стар. преподаватель  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ**

В наше время все больше злоумышленников, которые могут проникнуть на территорию чужой собственности. Так как проблема с каждым днем становится все актуальнее, то для ее решения разрабатывают все возможные системы охранной сигнализации.

Целью данной научной работы является разработка охранной сигнализации.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- 1) Разработка технического задания;
- 2) Выбрать модули для разработки устройства;
- 3) Выполнить сборку и отладку устройства.

Для решения данного вопроса будет использован звукозаписывающий модуль ISD1820.

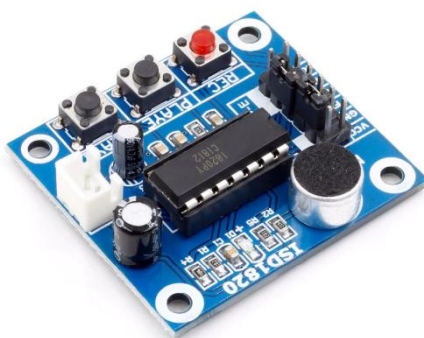


Рисунок 1 — Звукозаписывающий модуль ISD1820.

ISD1820 - электронное устройство для записи и воспроизведения короткого голосового сигнала, устанавливается в различные механизмы, такие как: в машинах и холодильных камерах при совмещенной работе с таймером есть возможность реализовать звуковое оповещение «Дверь открыта», на охраняемых объектах усовершенствовать подачу различных сообщений, например «Вы проникли на охраняемую зону, покиньте территорию».

Наличие микрофона обеспечивает возможность записи речи. Совмещая устройство с другими модулями можно оповещать об изменении параметров – например, ток, напряжение.

Характеристики модуля ISD1820:

1. VCC: 3 – 5 В;
2. Запись и воспроизведение 10 с;
3. Дальность расстояния записи 0,2 м;
4. Динамик 0,5 Вт, 8 Ом;
5. Размер 38 x 42,5 мм.

У данного модуля есть несколько режимов работы:

1. Как звукозаписывающее устройство.
2. Как звуковоспроизводящее устройство.

На плате модуля расположен разъем SP1 для использования внешнего динамика. Звук, который записан на устройство, возможно прослушать и перезаписать. Записанная звуковая дорожка хранится во внутренней памяти микросхемы ISD1820PY. Благодаря звукозаписывающей микросхеме модуль ISD 1820 возможно использовать как рекордер для записи нескольких звуковых сообщений в разные микросхемы. После чего установить несколько устройств в более сложный прибор, воспроизводящий записанные сообщения в зависимости от происходящих ситуаций.

Следующий режим – транслирование, используется в качестве усиления для мегафона и для различных микрофонных узлов устройств. Автоматическая регулировка усиления и полосовой фильтр повышает качество звука, чем при использовании обычного усилителя.

Рассмотрим работу устройства:

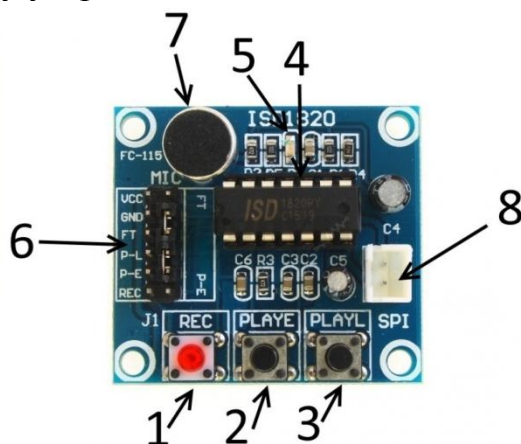


Рисунок 2 — Назначение контактов и настройка ISD1820

При воздействии на кнопку REC (1) осуществляется звукозапись сообщения с микрофона (7), при звукозаписи происходит индикация светодиодом (5). Сообщение записывается длительностью не более 10 секунд. При использовании кнопки PLAYE (2) воспроизводится голосовое сообщение, которые были записаны, при взаимодействии с кнопкой PLAYL (3) происходит воспроизведение сообщения до отжатия данной кнопки. Для подключения внешнего динамика используется разъем (8). 12-пиновый разъем используется для подключения микроконтроллера.

Назначение контактов:

1. VCC - питание модуля;
2. GND - заземление;
3. FT - Вывод с микрофона на динамик;
4. P-L - Воспроизведение сообщения во время действия сигнала;
5. P-E - Воспроизведение сообщения по сигналу;
6. REC - Запись голосового сообщения с микрофона по сигналу;
7. Джампер FT - Перенаправляет вывод с микрофона на динамик;
8. Джампер P-E - Циклическое воспроизведение сообщения.

Данное устройство можно подключить к различным микроконтроллерам, одним из таких является Arduino. Приведем пример подключения звукозаписывающего модуля ISD1820 к Arduino UNO.

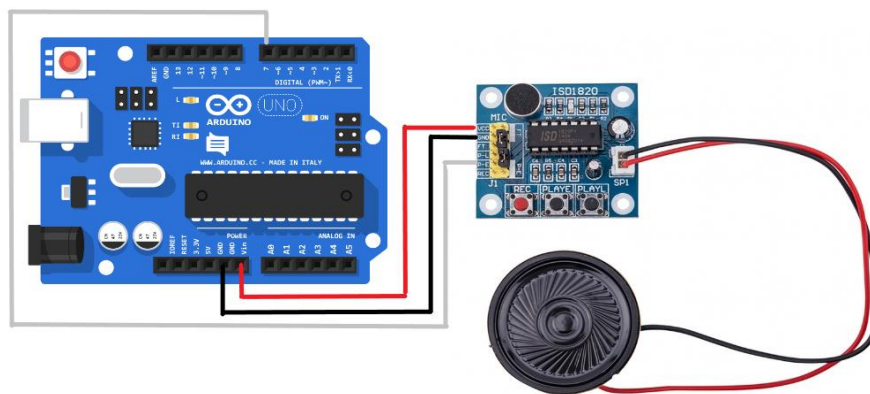


Рисунок 3 — Схема соединений подключения модуля ISD1820 к плате Arduino.

Запишем на устройство голосовое сообщение для воспроизведения, например: «Внимание, внимание». При подачи питания на плату Arduino будет воспроизводиться звуковое оповещение.

Приступим к разработке на основе микроконтроллера Arduino, для наглядности составим структурную схему устройства.

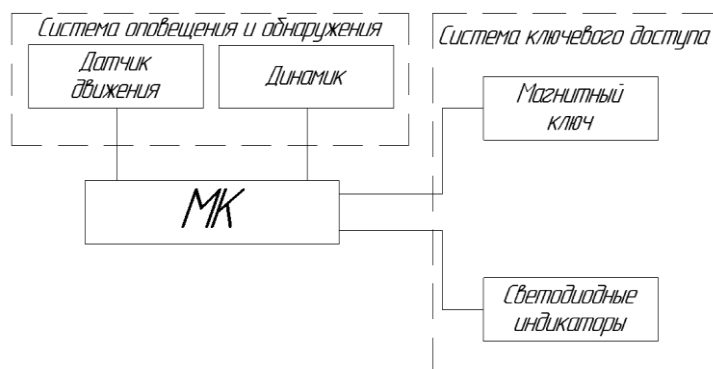


Рисунок 4 — Структурная схема разрабатываемого устройства

Запрограммировав микроконтроллер, после обнаружении движения с помощью устройства HC-SR501, воспроизводится звуковое сообщение “Предъявите пропуск”. После этого необходимо приложить магнитный ключ. Данная система является достаточно универсальной, чтобы использовать ее в различных охранных компаниях.

Литература:

1. IARDUINO.RU Всё для радиолюбителей [Электронный ресурс]. URL: <http://iarduino.ru/>

(дата обращения: 8.10.2021)

2.

Звукозаписывающий модуль ISD1820 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.database.com/towerpro/isd1820>

(дата обращения: 8.10.2021).

*В.А. Костенков, к. т. н., доц.; С.С. Якутина, студ.  
(МГТУ ГА г. Москва)*

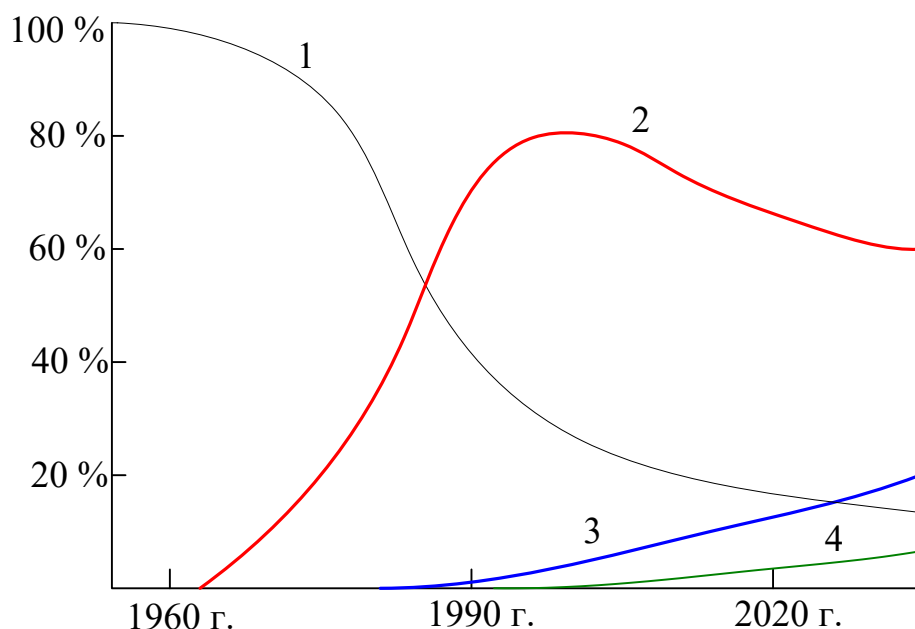
## **НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА**

Потенциальные возможности радиоэлектронного оборудования воздушных судов, аэропортов, воздушных трасс и его эксплуатация в большой степени определяются уровнем используемой элементной базы. В современном радиоэлектронном оборудовании воздушного транспорта применяются почти все существующие типы электронных приборов.

В современной электронике можно выделить следующие конструктивно-технологических направления:

- дискретные электронные приборы;
- приборы микроэлектроники (интегральные микросхемы);
- приборы функциональной электроники;
- приборы органической электроники.

До середины XX века для создания радиоэлектронного оборудования (РЭО) использовались только дискретные электронные приборы. С конца 60 годов стремительно стала увеличиваться доля применения интегральных микросхем (ИМС). С 80-х годов началось все большее применение приборов функциональной электроники, а с начала XXI века приборов органической электроники (рис. 1).



Использование приборов электроники в различные периоды времени:

1 – дискретные электронные приборы; 2 – приборы микроэлектроники (ИМС); 3 – приборы функциональной электроники; 4 – приборы органической электроники.

Рисунок 1.

К дискретным электронным приборам относятся: пассивные элементы; полупроводниковые, электровакуумные, газоразрядные, фотоэлектронные, светоизлучающие приборы и др. Наибольшее внимание в настоящее время уделяется совершенствованию полупроводниковых приборов.

Для дискретных элементов как правило требуется: увеличение граничной частоты; выходной мощности; надежности; уменьшения стоимости. Этого можно добиться путем улучшения конструкции, технологии изготовления и совершенствованием технологического оборудования, повышением чистоты получения полупроводников, применением новых материалов.

Используемые новые материалы:

материалы с высокой подвижностью носителей зарядов;  
кремниевые гетероструктуры;  
широкозонные полупроводники.

К широкозонным относят полупроводники с шириной запрещенной зоны  $E_g$  более 2,3-2,4 эВ. В собственном полупроводнике, при отсутствии внешних воздействий, концентрация свободных носителей  $n_i$  определяется двумя основными параметрами – шириной запрещенной зоны  $E_g$  и температурой  $T$ . Концентрация свободных носителей  $n_i$  определяется соотношением [1]:

$$n_0 = p_0 = n_i = \sqrt{N_C N_V} \cdot e^{-\frac{E_g}{2kT}} \quad (1)$$

где  $N_{C(V)}$  – эффективная плотность состояний в зоне проводимости (валентной зоне).

Из соотношения (1) следует, что чем больше ширина запрещенной зоны, тем меньше собственная концентрация при той же температуре. Температурная граница использования полупроводника  $T_{гр}$  – температура, при которой значение собственной концентрации  $n_i$  сравнивается со значением концентрации основных носителей, определяемой легирующей концентрацией  $N_D$ . В таблице 1 приведены характеристики для кремния и широкозонных материалов.

Таблица 1 – Характеристики полупроводниковых материалов

| Материал, характеристики                           | Si                  | SiC(4H)             | GaN                  |
|--|---------------------|---------------------|----------------------|
| Ширина запрещенной зоны, эВ                        | 1,1                 | 3,0                 | 3,4                  |
| Концентрация свободных носителей, см <sup>-3</sup> | $1,6 \cdot 10^{10}$ | $1,1 \cdot 10^{-4}$ | $9,2 \cdot 10^{-10}$ |
| Граничная температура, °С                          | 270                 | 900                 | 1300                 |

Использование элементной базы на основе широкозонных полупроводников, в гражданской авиации позволит улучшить следующие характеристики радиоэлектронного оборудования [2]:

- повысить коэффициент полезного действия;
- расширить температурный диапазон использования;
- повысить надежность работы при снижении стоимости;
- увеличить ресурс работы;
- повысить стойкость к радиационному излучению, что особенно важно для высотных полетов гражданской авиации.

На данный момент в России есть возможность выпускать интегральные микросхемы (ИМС) по нормам 65 нм. Разработанные в нашей стране процессоры «Эльбрус» и «Байкал» по 28 нм и 16 нм техпроцессу производятся на заводах тайваньской компании TSMC. Но эти процессоры могут использоваться различными госорганами для импортозамещения, т.к. являются доверенными процессорами, прошедшими сертификацию в России.

Согласно «Стратегии развития электронной промышленности на период до 2030 года» в РФ должны быть построены заводы для производства ИМС по техпроцессу 28 нм, 14-12 нм и 7-5 нм.

Оборудование для производства ИМС по техпроцессу (10, 7, 4 нм) выпускает в наше время только нидерландская компания ASML, используя жёсткий ультрафиолет. При этом стоимость оборудования очень высокая, до \$100 млрд. под конкретный процессор.



Но компания Mapper Lithography, так же из Нидерландов, использует другую – безмасочную технологию производства: многолучевую электронную литографию, в которой используется 13 000 электронных лучей одновременно и рисунок на полупроводниковую пластину переносится напрямую с компьютера. Стоимость такого оборудования будет в 2-3 раза меньше, установки фотолитографии, а производительность значительно выше. В данную кампанию более 40 миллионов евро инвестировало «Роснано». Технология электронной литографии разрабатывалась совместно с Институтом физики микроструктуры РАН в Нижнем Новгороде. Ключевые элементы, используемые в данной технологии – электронные линзы производятся у нас в стране. В 2019 году активы Mapper Lithography приобрела компания ASML, которая используя полученные наработки, в том числе и российские, развивает данную технологию для широкого использования.

Таким образом, роль России в развитии технологий производства современной элементной базы может значительно возрасти, тем более что во времена СССР страна занимала 28% рынка микроэлектроники.

Литература:

1. Гуртов В.А. Твердотельная электроника. ПетрГУ, 2005. – 492 с.
2. Радиационная стойкость широкозонных полупроводников. Физика и техника полупроводников, 2002, том 36, вып. 11.

*А.А. Лысенков, маг.; М.А. Амелина, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **УСТРОЙСТВО ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НА БАЗЕ ПРОГРАМИРУЕМОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ**

Перед разработкой устройства цифровой обработки сигналов на базе ПЛИС были рассмотрены уже существующие аналоги, а также разобраны их достоинства и недостатки. Одним из наиболее часто встречаемых недостатков является скорость обработки сигналов, что существенно влияет на условия применения устройств.

В разрабатываемом устройстве порядок цифровой обработки сигналов следующий: на вход аналого-цифрового преобразователя подаётся аналоговый сигнал, далее оцифрованный сигнал поступает на вход ПЛИС в виде параллельного кода. В программируемой логической интегральной схеме происходит сохранение кода в массив. После того, как был передан последний отсчет и сохранен в массив запускается алгоритм цифрового ФНЧ, реализация которого успешно выполнена на ПЛИС, после чего на модуль передачи данных подаётся отсчеты обработанных данных той же разрядности и происходит передача данных на внешнее устройство по интерфейсу *UART*.

Для обеспечения бесперебойной работы всего выше перечисленного, так как все действия должны происходить последовательно, необходима система

управления, которая позволяет контролировать выполнение каждого процесса и по окончании запускать следующий.

Для передачи полученных данных на другие устройства, которые поддерживают передачу по интерфейсу *USB*, в разрабатываемом устройстве находится преобразователь интерфейса *UART* в интерфейс *USB*.

На основании всего изложенного выше была создана структурная схема устройства (рис. 1). На данном этапе для точного понимания всех функциональных связей между составными частями устройства, необходимо выбрать ПЛИС, которая будет удовлетворять всем требованиям для выполнения поставленной задачи. Проанализировав рынок, была подобрана ПЛИС производства фирмы *Xilinx*, данная фирма имеет в своём ассортименте множество серий микросхем различного назначения, а также удобную систему автоматизированного проектирования. Для разрабатываемого устройства была выбрана ПЛИС серии *Spartan-6*, которая предназначена для всестороннего использования. ПЛИС серии *Spartan-6* можно использовать для реализации контроллеров высокоскоростных интерфейсов, встраиваемых микропроцессорных систем, а также для высокопроизводительных устройств цифровой обработки сигналов. Из серии *Spartan-6* выберем относительно недорогую микросхему *XC6SLX9*, имеющую 9152 логические ячейки и максимальное число портов ввода-вывода, равное 200, что более чем достаточно для корректной работы разрабатываемого устройства.

#### Узел цифровой обработки сигнала

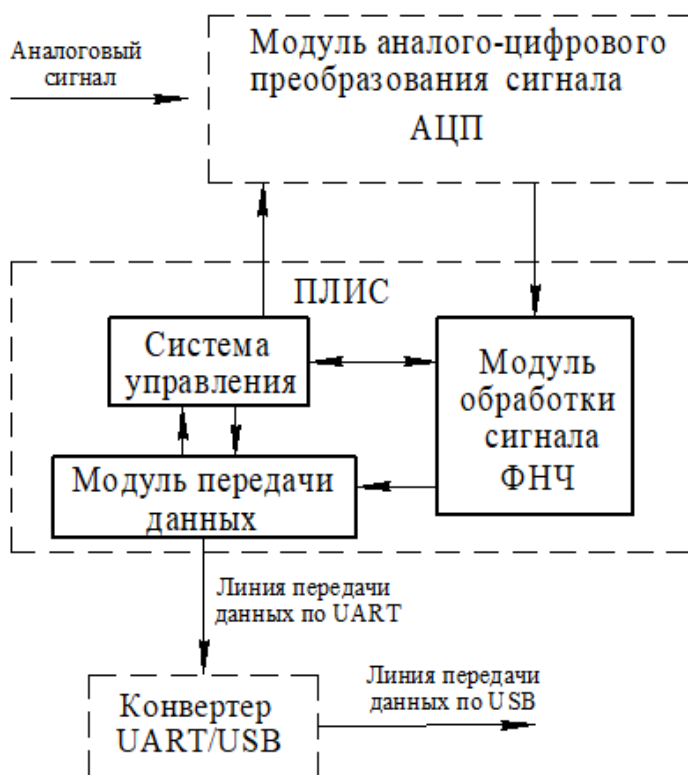


Рисунок 1 – Структурная схема разрабатываемого устройства

Тактирование ПЛИС осуществляется с помощью внешнего тактового генератора частотой 50 МГц. Для выполнения условий задания ВКР,

разрядность выходных отсчетов должна быть не менее восьми бит. Основываясь на статье «МЕТОДИКА ВЫБОРА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ АЦП ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЦОС» [1], можно сделать вывод, что для реализации устройства наилучшим образом подойдет конвейерная АЦП, имеющая разрядность не менее восьми бит, структурная схема такого аналого-цифрового преобразователя представлена на рис. 2, а временные диаграммы работы на рис. 3.

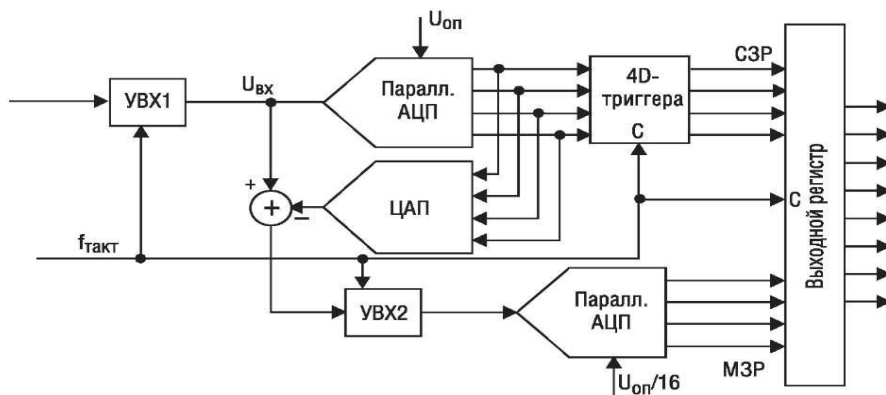


Рисунок 2 – Структурная схема конвейерного АЦП

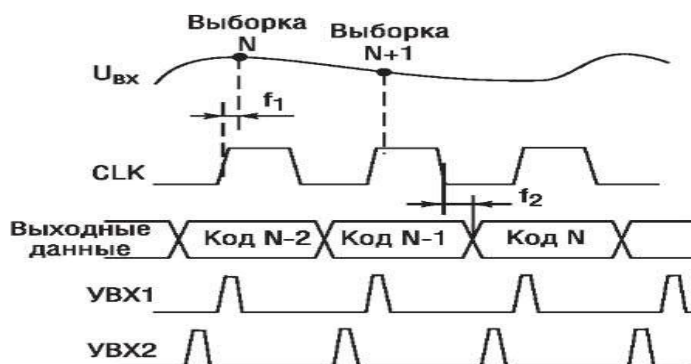


Рисунок 3 – Временные диаграммы работы конвейерного АЦП

Также необходимо выбрать частоту дискретизации сигнала, которая будет определяться промежутком времени, через который производятся выборки сигнала. Примем частоту дискретизации  $f_s = 50 \text{ МГц}$ . Выбранную частоту дискретизации могут обеспечить многие современные микросхемы АЦП. Сигнал с данной частотой будет подаваться со стороны ПЛИС и обеспечивать аналого-цифровое преобразование.

Также необходимо выбрать скорость, с которой данные будут передаваться по интерфейсу *UART*. Среди стандартных скоростей выберем одну из наибольших скоростей 921600 бод. Передатчик *UART* на такой скорости может быть реализован на выбранной ПЛИС.

Таким образом, учитывая функциональные связи между составными частями устройства. Создадим его функциональную схему (рис. 4).

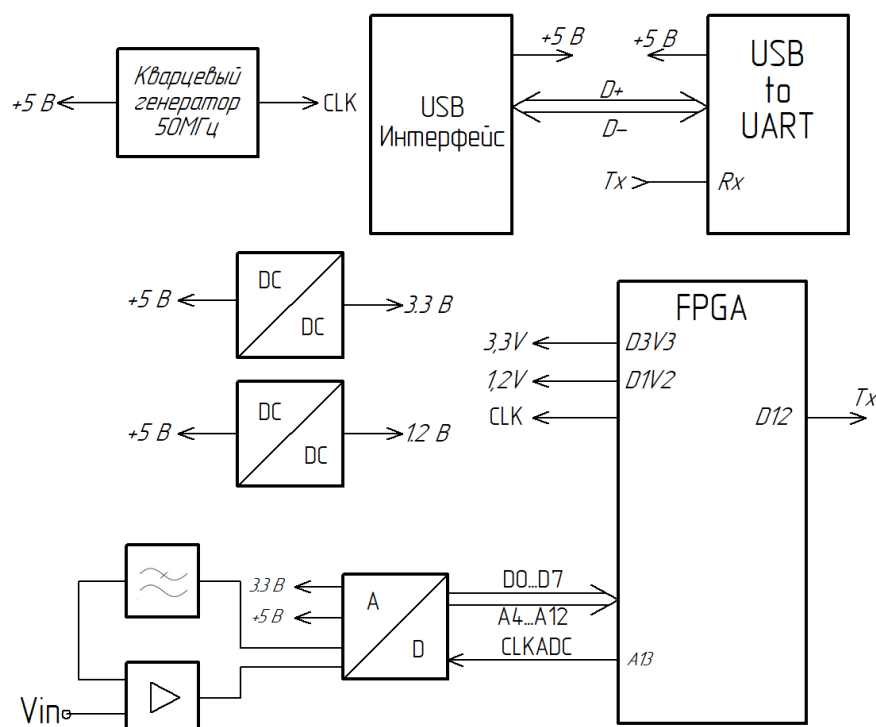


Рисунок 4 – Функциональная схема разрабатываемого устройства

#### Литература

1. Лысенков А.А. Методика выбора интегральных схем АЦП для решения задач ЦОС // филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. – 2021. – с. 145-147.
2. ПЛИС (FPGA) и микроконтроллер. В чем разница? URL: <http://micro-proger.ru/2016/03/17/plis-fpga-i-mikrokontroller-v-chem-raznica/> (дата обращения 07.04.2021).
3. Стешенко В.Б. ПЛИС фирмы ALTERA: элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 576
4. Тарасов И.Е. Программируемые логические схемы и их применение в схемотехнических решениях : учебное пособие / И.Е. Тарасов, Е.Ф. Певцов. – М. : МГТУ МИРЭА, 2012. – 184 с.
5. Торгаев С.Н. Практическое руководство по программированию STM-микроконтроллеров : учебное пособие / С.Н. Торгаев, М.В. Тригуб, И.С. Мусоров, Д.С. Чертихина. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 111 с.
6. Шарп Д. Microsoft Visual C#. Подробное руководство. 8-е изд. — СПб. : Питер, 2017. — 848 с.
7. Якимов Е.В. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие / Е.В. Якимов. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 168 с.

*А.А. Лысенков, студ.; М.А. Амелина к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **КОМПЛЕКС СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЛОГО ПОМЕЩЕНИЯ**

В современном мире каждая сфера человеческой жизнедеятельности претерпевает быстрые изменения, это связано с развитием технологий и массовой цифровизацией. Нынешние оборудования в разы превосходят те, что были двадцать лет назад. Однако, помимо развития устройств, которые приносят

пользу и облегчают труд человека, развиваются устройства у злоумышленников, поэтому необходимо модернизировать и улучшать системы защиты.

Каждая компания заботится о безопасности помещения и находящегося внутри оборудования, а также многие люди устанавливают системы защиты и в свои квартиры, чтобы быть спокойными во время путешествий или долгих командировок. Система защиты должна включать в себя комплекс устройств с различными принципами работы, а также должна быть возможность автономной работы всей системы, чтобы при отключении света система продолжала свою работу. Перед проектированием собственной системы были рассмотрены достоинства и недостатки аналогов.

Рассмотрим структурную схему устройства мониторинга и контроля безопасности помещения (рис. 1).

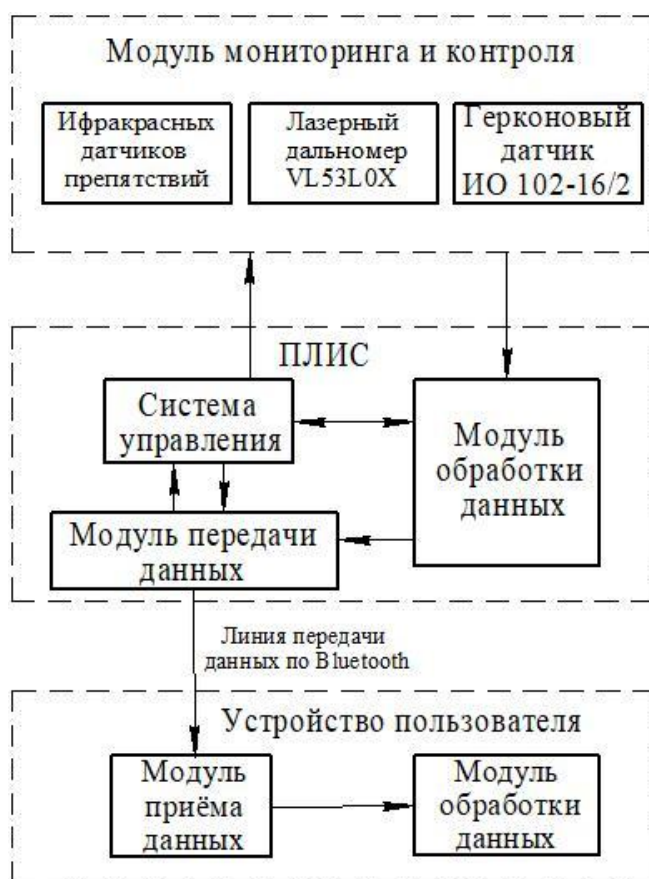


Рисунок 1 – Структурную схему устройства

Количество всех датчиков регулируется в зависимости от типа помещения и его размеров. В качестве сердца устройства была выбрана ПЛИС, так как она позволяет с легкостью организовать параллельный сбор информации со всех блоков датчиков, что значительно усложнит работу злоумышленникам. Каждый датчик подключается к Wi-Fi модулю или имеет свой встроенный передатчик, по которому и будет передаваться информация на программируемую логическую интегральную схему. Помимо этого, устройство должно иметь аккумулятор,

который позволит работать системе защиты автономно в течение некоторого времени.

Рассмотрим подробнее каждый блок датчиков. Первый блок будет состоять из инфракрасных датчиков препятствий (рис. 2). Принцип работы которых заключается в том, что модуль сенсора датчика имеет излучатель и детектор в инфракрасном диапазоне.



Рисунок 2 – Инфракрасных датчиков препятствий

Инфракрасный светодиод излучает в пространство ИК излучение, а приёмник улавливает, отраженное от предметов излучение, однако поверхность предметов бывает разной, в связи с этим отражаться излучение может с искажениями, поэтому блок можно модернизировать, используя лазерные датчики расстояния (рис. 3), которые позволяют получать точные результаты в независимости от цвета и поверхности тела.

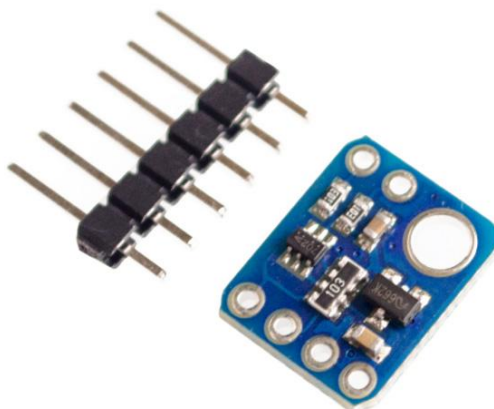


Рисунок 3 – Лазерный дальномер VL53L0X

Второй блок будет состоять из герконовых датчиков (рис. 4), которые позволят контролировать закрытие окон и дверей помещения. Данный датчик расшифровывается как «герметичный контакт» и имеет достаточно простую конструкцию в виде двух разомкнутых или замкнутых контактов, которые меняют своё состояние под воздействием магнитного поля.





Рисунок 4 – Герконовый датчик ИО 102-16/2

Для того, чтобы вся система могла работать без сбоев необходимо правильно выбрать ПЛИС, которая будет удовлетворять всем требованиям для выполнения поставленной задачи. Проанализировав рынок, была подобрана ПЛИС производства фирмы *Xilinx*, данная фирма имеет в своём ассортименте множество серий микросхем различного назначения, а также удобную систему автоматизированного проектирования. Для разрабатываемого устройства была выбрана ПЛИС серии *Spartan-6*, которая предназначена для всестороннего использования. ПЛИС серии *Spartan-6* можно использовать для реализации контроллеров высокоскоростных интерфейсов, встраиваемых микропроцессорных систем, а также для высокопроизводительных устройств цифровой обработки сигналов. Из серии *Spartan-6* выберем относительно недорогую микросхему *XC6SLX9*, имеющую 9152 логические ячейки и максимальное число портов ввода-вывода, равное 200, что более чем достаточно для корректной работы разрабатываемого устройства.

Для мониторинга и контроля за помещением пользователю будет предложено программное обеспечение, которое в случае опасности подаст сигнал на любое устройство, в случае если пользователь не всегда имеет постоянный доступ к сети, разработанное устройство будет также посылать сигнал на удаленный хостинг, по которому служба безопасности сможет незамедлительно отреагировать на опасность проникновения в помещение.

#### Литература

1. Зотов В. Моделирование цифровых устройств, проектируемых на основе ПЛИС фирмы *Xilinx*, средствами ISIM в САПР ISE Design Suite. // КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ. – 2013. – №2. – с. 64-74.
2. Коберниченко В.Г. Основы цифровой обработки сигналов : учебное пособие / В.Г.Коберниченко. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018 – 156 с.
3. Лысенков А.А. Разработка модуля передачи данных по интерфейсу UART на базе программируемой логической интегральной схемы //ВА ВПВО ВС РФ имени маршала советского союза А.М.Василевского. – 2021. – с. 71-74
4. FPGA или микроконтроллер URL: [https://fpga-systems.ru/publ/raznoe/poznavatelnoe/fpga\\_ili\\_mikrokontroller\\_chno\\_zhe\\_vybrat/16-1-0-119](https://fpga-systems.ru/publ/raznoe/poznavatelnoe/fpga_ili_mikrokontroller_chno_zhe_vybrat/16-1-0-119) (дата обращения 07.04.2021).
5. Steven W. Smith Digital Signal Processing : The Scientist and Engineer's Guide / Steven W. Smith. – California Technical Publishing, 1999. – 688 с.

## **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА АКУСТИЧЕСКОЙ ПАРКОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

В современном мире большинство новых автомобилей оборудованы системой помощи парковки транспортного средства "парктрониками", однако в большинстве своём такие системы имеют лишь звуковое оповещение о приближении автомобиля к препятствию, но данного оповещения очень часто бывает недостаточно, так как оно срабатывает примерно за 70-100см от препятствия, и дальше уже приходится ориентироваться самому, многие компании предлагают решение этой проблемы путем добавления камеры заднего вида и вывода отображения на экран в автомобиле, но далеко не каждый автолюбитель может позволить себе такое решение, да и не во всех машинах есть возможность установки монитора.

Разрабатываемое устройство позволяет решить данную проблему путем передачи информации не только в виде звукового сигнала, но и на смартфон пользователя в специально разработанное приложение. При включении приложения, оно подключается к устройству и начинает передавать по Bluetooth данные со всех лазерных датчиков, которые установлены по периметру машины. Датчики ставятся не только сзади транспортного средства, но и по бокам, а также спереди. Таким образом пользователь может увидеть расстояние до препятствий со всех сторон своего автомобиля без каких-либо усилий, а точность этих датчиков и скорость передачи данных позволяет припарковать автомобиль вплоть до одного сантиметра от препятствия. Помимо этого, в приложении можно настроить оповещение на нужном нам расстоянии от препятствия или выбрать функцию, при котором оповещение будет включаться автоматически с шагом, который подходит для пользователя. Структурная схема устройства представлена на (рис. 1).

Рассмотрим принцип работы лазерного датчика и на основе этого определим необходимо число датчиков, которое нужно установить по периметру автомобиля для того, чтобы со всех сторон не было глухих зон. Принцип работы лазерного датчика аналогичен с ультразвуковым датчиком. Сначала излучатель выпускает световой сигнал, с заранее известной скоростью, далее сигнал отражается и приходит обратно на приёмник, где фиксируется время между отправкой и приёмом сигнала, полученный результат делится на два и получается точное время до препятствия, зная скорость и то, что она постоянная, рассчитывается расстояние до объекта.



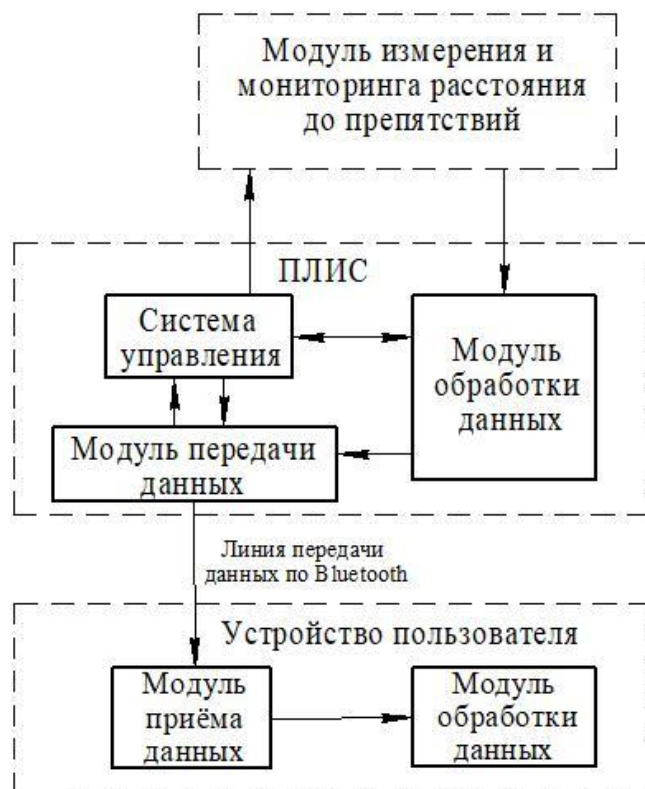


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

В среднем угол обзора лазерных датчиков составляет 20-30 градусов в обе стороны от датчика, что суммарно составляет 40-60 градусов. Следовательно, чтобы у устройства акустической парковочной системы транспортного средства не было слепых зон, для легкового автомобиля без прицепа необходимо расположить 8 датчиков по схеме, которая представлена на рисунке 2. По данному рисунку видно, что все области вокруг машины просматриваются и анализируются датчиками.

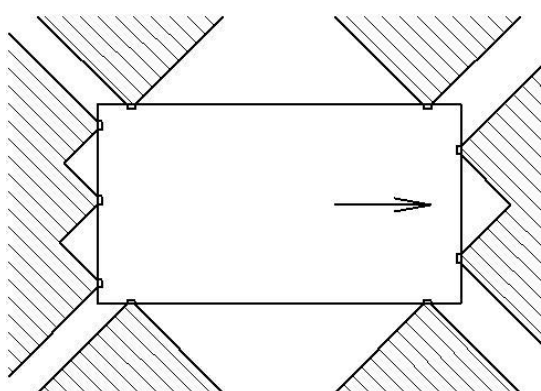


Рисунок 2 – Схема области видимости датчиков

В качестве основного мозга данной системы можно взять программируемую логическую интегральную схему так, как она обладает возможностью выполнять много параллельных процессов одновременно, что идеально подойдет для сбора большого количества информации с датчиков, её обработки и последующей передачи на устройство пользователя в реальном времени.

Рассмотрим алгоритм работы устройства, для наглядности на рисунке 3 представлена его блок схема.

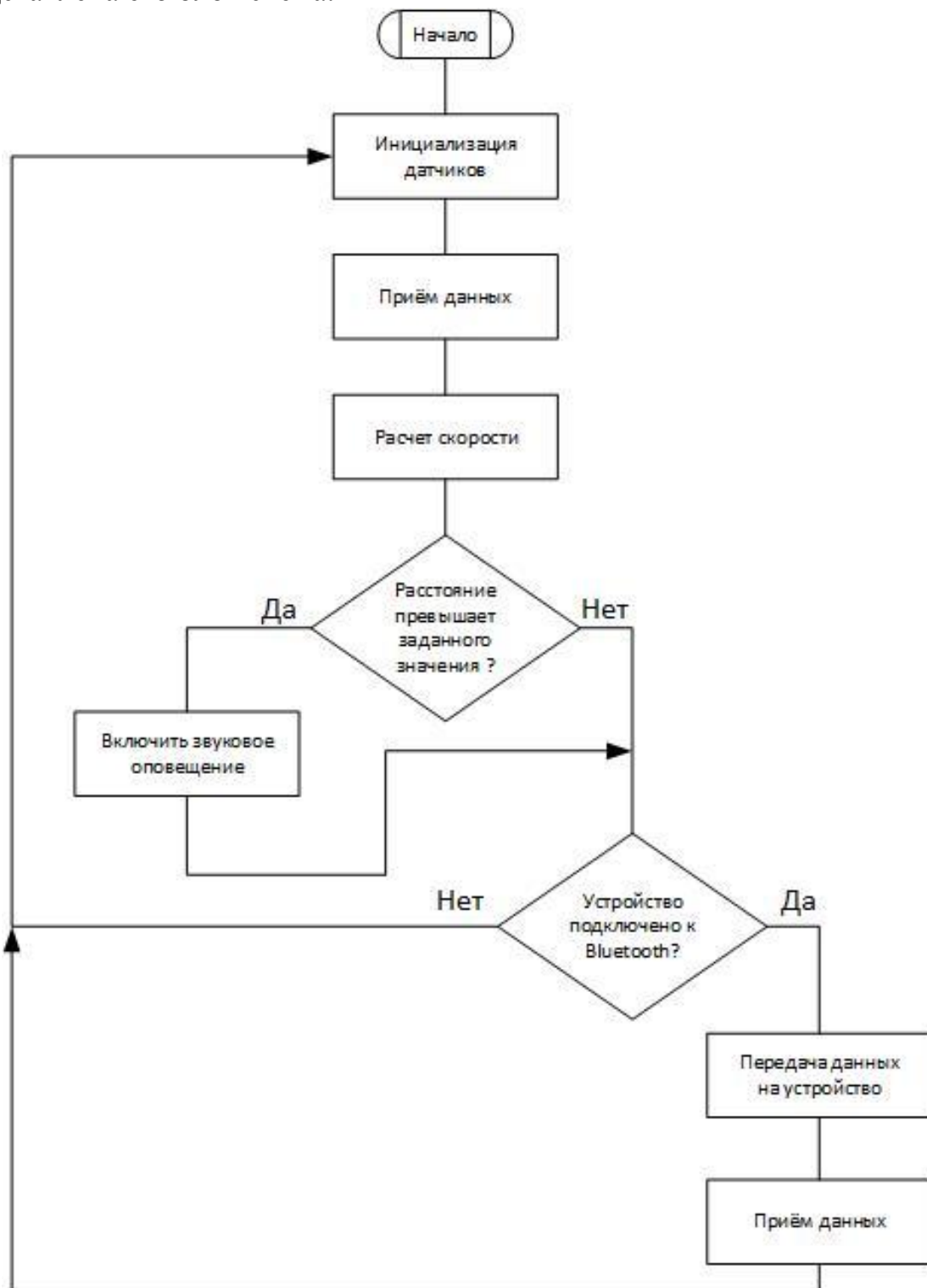


Рисунок 3 – Блок-схема устройства

При включении питания в автомобиле устройство включается и находится в ждущем режиме, как только пользователь входит в приложение, устройство переходит в рабочий режим и начинает считывать данные с датчиков обрабатывать их и отправлять на устройство пользователя. Так же если водитель включает заднюю передачу, устройство акустической парковочной системы включается автоматически и работает только звуковые оповещения. При

обработки данных с датчиков они сравниваются с параметрами, который пользователь задал в приложении и, если расстояние до препятствия входит в заданный диапазон, включается звуковое оповещение с нарастающим, по мере сокращения расстояния, звуком.

В дальнейшем устройство может быть модернизировано, путем добавления камеры и выводом отображения с неё на мобильное устройство пользователя в отдельное окно.

#### Литература

1. Зотов В. Моделирование цифровых устройств, проектируемых на основе ПЛИС фирмы Xilinx, средствами ISIM в САПР ISE Design Suite. // КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ. – 2013. – №2. – с. 64-74.
2. Коберниченко В.Г. Основы цифровой обработки сигналов : учебное пособие / В.Г.Коберниченко. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018 – 156 с.
3. Лысенков А.А. Разработка модуля передачи данных по интерфейсу UART на базе программируемой логической интегральной схемы //ВА ВПВО ВС РФ имени маршала советского союза А.М.Василевского. – 2021. – с. 71-74
4. FPGA или микроконтроллер URL: [https://fpga-systems.ru/publ/raznoe/poznavatelnoe/fpga\\_ili\\_mikrokontroller\\_chno\\_zhe\\_vybrat/16-1-0-119](https://fpga-systems.ru/publ/raznoe/poznavatelnoe/fpga_ili_mikrokontroller_chno_zhe_vybrat/16-1-0-119) (дата обращения 07.04.2021).
5. Steven W. Smith Digital Signal Processing : The Scientist and Engineer's Guide / Steven W. Smith. – California Technical Publishing, 1999. – 688 с.

*А.И. Ляпин, к.ф.-м.н., доцент; Е.В. Пивоварова, ст. преп.; А.В. Хомченко д.ф.-м.н.  
(«Белорусско-Российский университет», г. Могилев)*

### **К ВЫВОДУ ЗАКОНА ОМА ДЛЯ НЕОДНОРОДНОГО УЧАСТКА ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФОРМЕ**

В большинстве учебников и учебных пособий по курсу общей физики для вузов в разделе «Электричество» рассматриваются понятия разности потенциалов, напряжения и электродвижущей силы (ЭДС). Очевидно, что эти понятия (термины) лежат в основе электротехники.

Анализ учебного материала по физике показывает, что у авторов нет единого подхода при определении этих терминов. Одни авторы отождествляют понятия разности потенциалов и напряжения. Другие, отождествляя названные понятия, уточняют, что термин «напряжение» чаще применяется к цепям с электрическим током. Здесь можно заметить, что и разность потенциалов и напряжение определяются работой по перемещению единицы заряда в электрическом поле. То есть в обоих случаях имеет место ток. В зарубежных учебных материалах практически не используется понятие напряжения. Например, в Оксфордском словаре напряжением (voltage) названы разность потенциалов и ЭДС, измеряемые в вольтах. Сказанное означает, что обсуждаемый материал методически недоработан.

Попыткой математически строго определить указанные понятия является вывод формулы закона Ома для неоднородного участка цепи в интегральной форме [1, 2]. В более ранней работе [3] используется операция суммирования.

При выводе выбирается неоднородный участок цепи с током, представленный гальваническим элементом (рисунок 1).

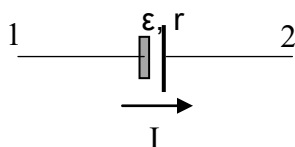


Рисунок 1 Неоднородный участок электрической цепи постоянного тока

Допускается, что на этом участке действует электрическое поле с напряженностью  $\vec{E}_{\text{эл}}$  и поле «сторонней силы» с напряженностью  $\vec{E}_{\text{стор}}$ . Здесь следует отметить неоднозначность этого допущения. Если со «сторонней силой» понятно, что она действует внутри источника, то о каком электрическом поле идет речь. Это может быть как поле разности потенциалов на электродах источника (напряжение на его зажимах), так и поле, созданное дополнительным источником. Очевидно, что это два случая, которые приведут к разным результатам.

Чтобы обосновать такое утверждение, здесь мы вынуждены, хотя бы кратко, повторить известный материал. В начале записывается формула закона Ома в дифференциальной форме и ее интегрированием по длине участка получают следующее выражение

$$I \cdot \int_1^2 \frac{\rho \cdot d\vec{l}}{S_{\perp}} = \int_1^2 \vec{E}_{\text{эл}} \cdot d\vec{l} + \int_1^2 \vec{E}_{\text{стор}} \cdot d\vec{l}. \quad (1)$$

Затем, введя обозначения интегралов, записывают выражение закона Ома для неоднородного участка цепи в следующей форме

$$I \cdot R_{1-2} = (\varphi_2 - \varphi_1) \pm \varepsilon, \quad (2)$$

где  $R_{1-2}$  – полное сопротивление участка,  $R_{1-2} = R + r$ .

Назвав произведение тока и сопротивления на участке цепи напряжением, авторы [1–3] заключают, что напряжение определяется работой суммарного поля электростатических и сторонних сил по перемещению единицы заряда на данном участке.

Далее, исключив в (2) ЭДС, получают закон Ома для однородного участка цепи, а замкнув концы участка, приходят к закону Ома для неразветвленной замкнутой цепи с источником ЭДС. Следует отметить, что приведенные здесь рассуждения и формулы используются в более поздних учебных пособиях.

Относительно формулы (2) можно сделать некоторые замечания: во-первых, разность потенциалов  $(\varphi_2 - \varphi_1)$  на рассматриваемом участке создана некоторым дополнительным источником; во-вторых, рассматриваемый участок

состоит из однородного и неоднородного участков; и в третьих, формализм вывода выражения (2) приводит к неоднозначному результату.

Для пояснения понятия ЭДС, необходимо выбрать конкретный источник и при выводе формул учесть принцип его действия.

Ниже приводится вывод закона Ома для неоднородного участка цепи постоянного тока в интегральной форме с учетом отмеченных выше замечаний. На рисунке 2 показана используемая при выводе электрическая цепь.

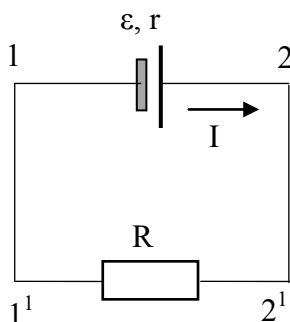


Рисунок 2 К выводу закона Ома для неоднородного участка цепи постоянного тока в интегральной форме

В этом случае имеют место неоднородный «1–2» и однородный «1<sup>1</sup>–2<sup>1</sup>» участки. Рассмотрим отдельно эти участки.

В гальваническом элементе за счет «сторонней силы» (химической реакции) возникает разность потенциалов между электродами, то есть электрическое поле. «Сторонняя сила» создает и поддерживает разность потенциалов. Важно подчеркнуть, что «сторонняя сила» действует (и совершает работу) против силы, создаваемого ею электрического поля.

Таким образом, на неоднородном участке одновременно существуют поля электрической и «сторонней» сил.

Далее, повторяя приведенный выше вывод, получим выражение, подобное формуле (2), но описывающее именно неоднородный участок:

$$I \cdot r = \varepsilon - (\varphi_2 - \varphi_1). \quad (3)$$

Перепишем (3) в виде

$$(\varphi_2 - \varphi_1) = \varepsilon - I \cdot r. \quad (4)$$

Мы просто и непротиворечиво получили известную формулу, из которой можно прийти к известным фактам: разность потенциалов на электродах источника (напряжение на его зажимах) меньше его ЭДС на значение падения потенциала на внутреннем сопротивлении; у ненагруженного источника ( $I = 0$ ) разность потенциалов на его электродах максимальна и равна ЭДС; работа сторонней силы идет на преодоление внутреннего сопротивления и поддержание разности потенциалов на электродах.

Также можно получить формулу для однородного участка «1<sup>1</sup>-2<sup>1</sup>».

На этом участке действует только электрическое поле. Поэтому в формуле (2) второй интеграл правой части равен нулю и интегрированием получим формулу закона Ома для однородного участка в интегральной форме

$$(\varphi_2 - \varphi_1) = I \cdot R. \quad (6)$$

Так как разности потенциалов на рассматриваемых неоднородном и однородном участках одинаковы, то приравняв (5) и (6), получим формулу закона Ома для неразветвленной замкнутой цепи с источником ЭДС

$$I \cdot R = \varepsilon - I \cdot r.$$

Последнюю формулу можно получить интегрированием по замкнутому контуру «1-2-2<sup>1</sup>-1<sup>1</sup>-1».

Таким образом, предложен вывод формулы закона Ома для неоднородного участка цепи постоянного тока, лишенный неопределенностей.

#### Литература

1. Трофимова, Т. И. Курс физики: учебное пособие для вузов / Т. И. Трофимова. – М.: Изд. центр «Академия». 2007. – 560 с.
2. Детлаф, А. А., Яворский, Б. М. Курс физики: уч. пособие для вузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М.: «Высшая школа». – 2004. – 607 с.
3. Фриш, С. Э. и Тиморева, А. В. Курс общей физики. Т.2. / С. Э. Фриш, А. В. Тиморева. – Л.: Физматгиз. 1962. – 516 с.

*М.Е. Малышкина, асс., В.В. Малышкин, асс., М.Н. Ермоченков, студ.  
(ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», филиал в г. Смоленске)*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ РЕАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

В статье производится расчёт и исследуется зависимость интенсивности излучения от вещества и длины волны.

**Ключевые слова:** интенсивность излучения поверхности, излучательная способность.

Интенсивностью излучения поверхности является произведение излучательной способности этой поверхности на интенсивность излучения абсолютно черного тела.

Излучательная способность – величина, которую можно найти в справочнике для большинства материалов, но и в случае отсутствия, ее можно измерить с помощью простых устройств, таких как Куб Лесли в сочетании с приемником теплового излучения, таким как болометр или фотодиод. Прибор сравнивает тепловое излучение от испытуемой поверхности с тепловым излучением почти идеального черного тела. Приемники излучения регистрируют повышение температуры при воздействии теплового излучения. Для измерения излучательной способности при комнатной температуре

приемники должны полностью поглощать тепловое излучение в инфракрасном диапазоне длин волн от 0,74 до 2000 мкм.[2]

Для того чтобы найти излучательную способность необходимо рассчитать интенсивность излучения абсолютного черного тела. Выполним расчеты для трех произвольно выбранных длин волн инфракрасного диапазона спектра:

$$\lambda_1 = 3,2 \cdot 10^{-2}, \lambda_2 = 2,7 \cdot 10^{-2}, \lambda_3 = 1,5 \cdot 10^{-2}.$$

Интенсивность излучения абсолютно чёрного тела рассчитывается по формуле:

$$I_{\lambda_0} = C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}. \quad (1)$$

Значения температуры принять –  $T = 293 \text{ К}$ .

$$\lambda_1: I_{\lambda_{10}} = 3,7413 \cdot 10^{-6} \cdot (3,2 \cdot 10^{-2})^{-5} e^{-\frac{1,438 \cdot 10^{-2}}{3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 293}} = 111,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$\lambda_2: I_{\lambda_{20}} = 3,7413 \cdot 10^{-6} \cdot (2,7 \cdot 10^{-2})^{-5} e^{-\frac{1,438 \cdot 10^{-2}}{2,7 \cdot 10^{-2} \cdot 293}} = 260,26 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$\lambda_3: I_{\lambda_{30}} = 3,7413 \cdot 10^{-6} \cdot (1,5 \cdot 10^{-2})^{-5} e^{-\frac{1,438 \cdot 10^{-2}}{1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 293}} = 4910,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Далее рассчитаем интенсивность излучения для алюминиевой фольги, меди полированной, серебра полированного, бетона, асфальта и кирпича на соответствующих длинах волн.

Интенсивность излучения различных материалов рассчитывается по формуле:[1]

$$I_{\lambda_{11}} = \varepsilon \cdot I_{\lambda_{10}}, \quad (2)$$

Таблица 1 – Значения излучательной способности для различных материалов [3]

| Материал             | Излучательная способность, $\varepsilon$ |
|----------------------|--|
| Серебро полированное | 0,02                                     |
| Алюминиевая фольга   | 0,03                                     |
| Медь полированная    | 0,04                                     |
| Бетон                | 0,71                                     |
| Асфальт              | 0,88                                     |
| Кирпич               | 0,90                                     |

Для серебра полированного:

$$I_{\lambda_{11}} = 0,02 \cdot 111,33 = 2,23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$I_{\lambda_{21}} = 0,02 \cdot 260,26 = 5,20 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$I_{\lambda_{31}} = 0,02 \cdot 4910,7 = 98,21 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Для алюминиевой фольги:

$$I_{\lambda_{12}} = 0,03 \cdot 111,33 = 3,34 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$I_{\lambda_{22}} = 0,03 \cdot 260,26 = 7,80 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$I_{\lambda_{32}} = 0,03 \cdot 4910,7 = 147,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Для меди полированной:

$$I_{\lambda_{13}} = 0,04 \cdot 111,33 = 4,45 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$I_{\lambda_{23}} = 0,04 \cdot 260,26 = 10,41 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$I_{\lambda_{33}} = 0,04 \cdot 4910,7 = 196,43 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Для бетона:

$$I_{\lambda_{14}} = 0,71 \cdot 111,33 = 79,04 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$I_{\lambda_{24}} = 0,71 \cdot 260,26 = 184,78 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$I_{\lambda_{34}} = 0,71 \cdot 4910,7 = 3486,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Для асфальта:

$$I_{\lambda_{15}} = 0,88 \cdot 111,33 = 97,97 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$I_{\lambda_{25}} = 0,88 \cdot 260,26 = 229,03 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$I_{\lambda_{35}} = 0,88 \cdot 4910,7 = 4321,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Для кирпича:

$$I_{\lambda_{16}} = 0,90 \cdot 111,33 = 100,20 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$I_{\lambda_{26}} = 0,90 \cdot 260,26 = 234,23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$I_{\lambda_{36}} = 0,90 \cdot 4910,7 = 4419,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Построим график зависимости интенсивности излучения вещества от длины волны.



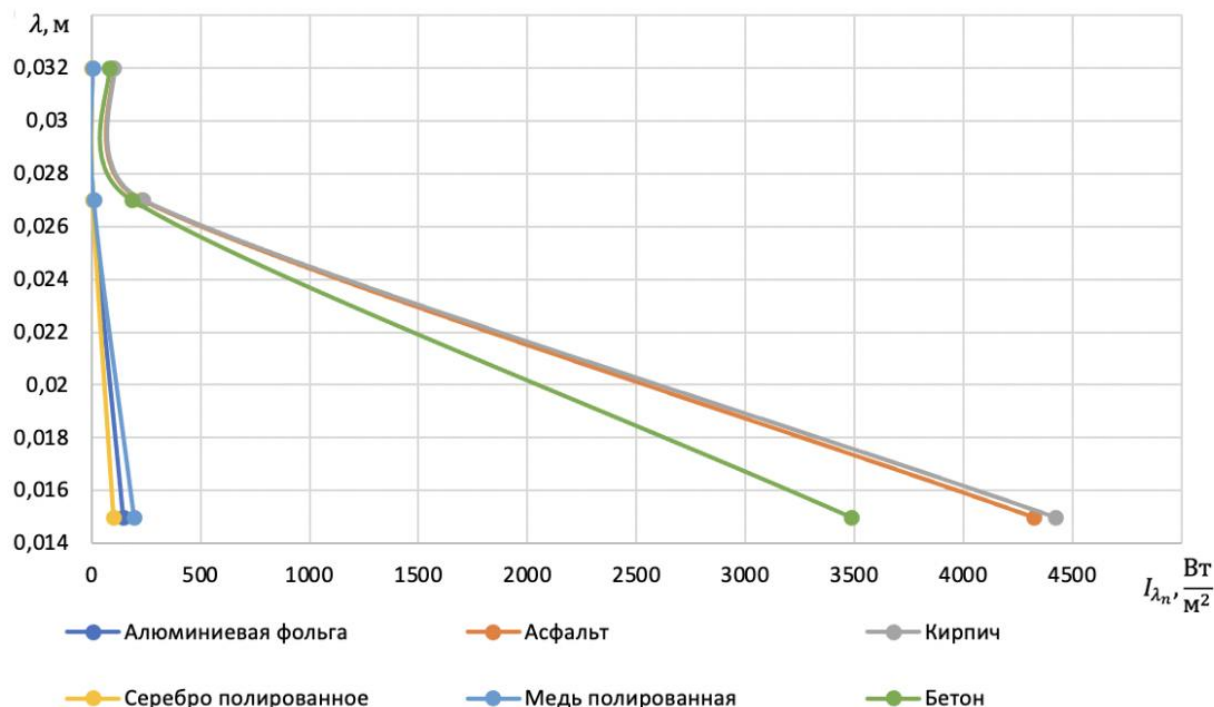


Рисунок 1 – График зависимости интенсивности излучения вещества от длины волны

Из рисунка 1 видно, что точки для длин волн  $\lambda_1 = 3,2 \cdot 10^{-2}$ ,  $\lambda_2 = 2,7 \cdot 10^{-2}$ , практически совпадают, а на длине волны  $\lambda_3 = 1,5 \cdot 10^{-2}$  бетона, асфальта и кирпича интенсивность излучения значительно выше, чем у алюминиевой фольги, полированной меди и серебра, это обуславливается тем, что у данных материалов, в следствие малого объема и полированной поверхности падающее излучение почти полностью отражается.

#### Библиографический список

1. Тимофеев Ю.М. Моделирование и мониторинг геосфер: учебное методическое пособие / Ю.М. Тимофеев, А.В. Васильев. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 2007. – 152 с.
2. Интенсивность излучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/radiation.intensity> Дата обращения: 10.09.2021
3. Излучательная способность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wiki2.wiki/wiki/Emissivity> Дата обращения: 15.09.2021

*Р.А. Могилевец, студ.; А.С. Рыжиков, студ.; д.т.н, проф. И.В. Якименко  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ДШИ 200-1-1

Шаговый электродвигатель (ШД) — синхронный бесщёточный электродвигатель, который имеет несколько пар обмоток. Ток в нем подается поочередно на обмотки статора, что в свою очередь вызывает движение ротора. Ротор в этом электродвигателе совершает дискретные перемещения на определенный угол, которые и называются шагами, при последовательной подаче тока на обмотки статора.

При решении задач с использованием шагового электродвигателя возникает острая необходимость в организации системы управления (СУ). [2] Исходя из определения система должна поочередно подавать ток на противоположные обмотки электродвигателя. Данная работа рассматривает один из возможных способов организации СУ шаговым электродвигателем.

Для выполнения данной задачи принято использовать драйвер. Это устройство, при помощи которого сигналы управления заставляют двигатель вращаться. В области управления стандартом для ШД считаются сигналы:

1. Шага — STEP
2. Направления вращения — DIR
3. Включения драйвера — ENABLE

Управление ШД намного сложнее чем коллекторным обычным двигателем. [3] В отличие от коллекторного двигателя присутствует необходимость переключения напряжения в обмотках (с контролем тока), соответственно для управления шаговым двигателем необходимо использовать специальное устройство, а именно драйвер ШД. Они позволяют в соответствии с сигналами управления управлять движением ротора ШД и электронным образом делить на более мелкие микрошаги физический шаг. К драйверу ШД подключается сам шаговый двигатель (его обмотки), источник питания и сигналы управления.

Для организации данной системы управления используется драйвер ШД A4988 (рисунок 1).

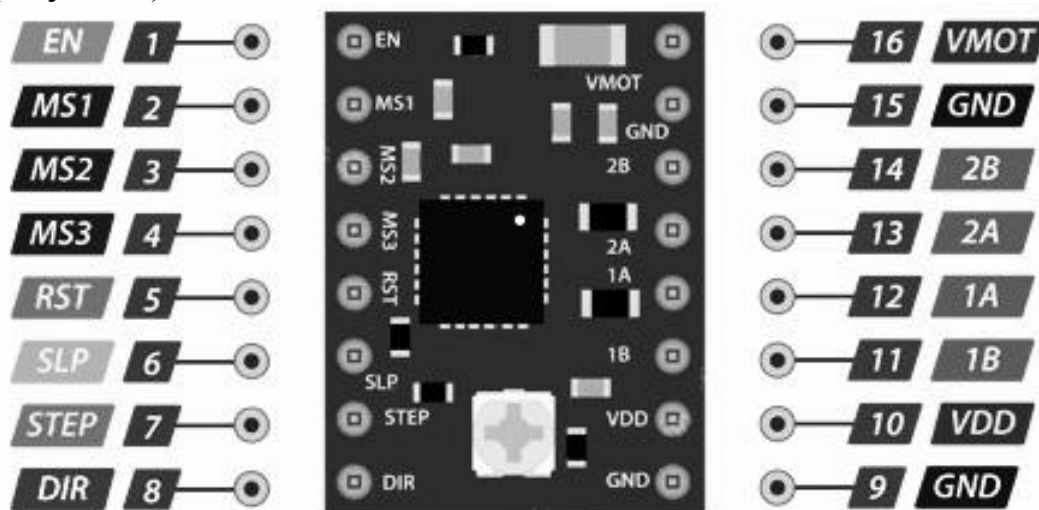


Рисунок 1 — Драйвер A4988

Модуль драйвера ШД собран на чипе A4988. Данный чип обладает хорошими характеристиками, при этом имея довольно малый размер.

Драйвер обладает довольно высокой мощностью (порядка 70 Вт) и предназначен для управления только одним биполярным ШД (до 2 А на обмотку).

В схеме драйвера можно найти транслятор, который встроен в нее для удобства пользования. Использование этого схемотехнического решения привело к уменьшению количества управляющих контактов, что в свою очередь равномерно распределило контакты (в количестве двух шт.) на контакты управляющие шагами и управляющие направлением вращения.

С помощью драйвера можно добиться различного разрешения шага, а именно половина шага, четверть шага, восьмая шага, шестнадцатая шага.

Для управления драйвером ШД необходим микроконтроллер. Эта необходимость сформирована тем, что сам по себе драйвер не обладает встроенной возможностью создания и хранения программы управления. Для этого используется отдельный микроконтроллер, заложенный функционал которого предоставляет возможность не только создания и правильного функционирования этой программы, но и управления как одним, так и несколькими драйверами, что может потребоваться в организации системы управления с несколькими шаговыми электродвигателями. [1]

Рассмотрено несколько вариантов плат с микроконтроллерами и их характеристики, одна из которых выбрана для организации СУ, а именно Arduino Nano. Выбор этой платы с микроконтроллером связан с тем, что она имеет необходимое количество цифровых входов, которые используются для управления драйвером, а также обладает энергонезависимой памятью, в которой микроконтроллер ATmega168 способен хранить код программы, т.к. обладает постоянной, оперативной памятью и памятью, управляемой библиотекой EEPROM.

Таким образом, была рассмотрена одна из возможных организаций системы управления электродвигателем ДШИ 200-1-1. В рассмотренной системе драйвер поочередно подает ток на обмотки ШД, а микроконтроллер хранит в памяти программу управления и исходя из нее управляет работой драйвера ШД. Также была разработана структурная схема СУ (рисунок 2).

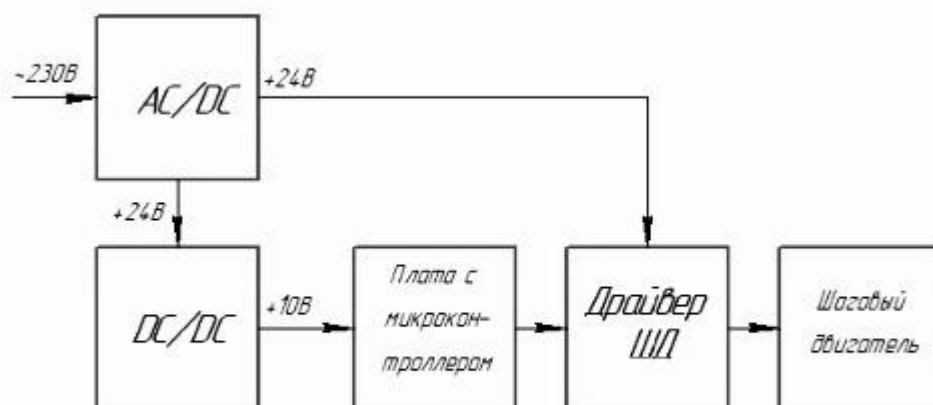


Рисунок 2 — Структурная схема СУ

#### Литература

1. Болл С. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. – М.: Додэка-XXI, 2010. – 354 с.
2. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. – 528 с.
3. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А. Силовая электроника. – М.: Издательство МЭИ, 2007 – 632 с.

## ПРУЖИННЫЙ МАЯТНИК КАК ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Модельные представления широко применяются в курсе физики и позволяют с помощью уравнений описать основные черты того или иного физического явления. Иногда удастся оценить по порядку величины параметры этого явления.

Одной из таких моделей является пружинный маятник (рис.1а), состоящий из груза, в котором сосредоточена вся масса маятника  $m$ , и невесомой пружины

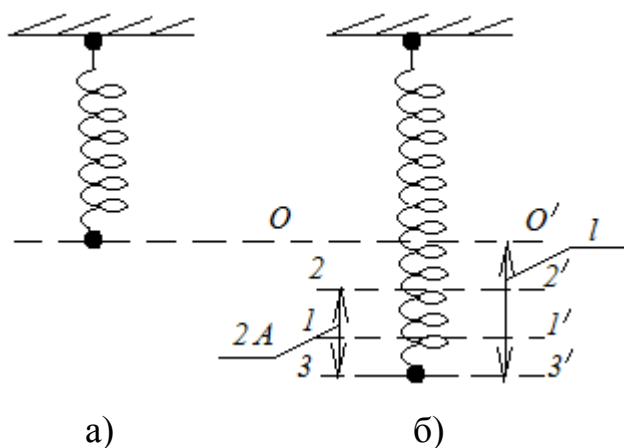


Рис.1

с коэффициентом упругости  $k$ . Силы трения при этом обычно не учитывают. Верхний конец пружины прикреплен к опоре. Если отклонить груз от положения равновесия (уровень 1-1'), то он станет совершать свободные колебания относительно уровня  $O-O'$ , что соответствует положению нижнего конца нерастянутой пружины.

Здесь  $l$ - статическое удлинение

пружины под действием груза массой  $m$ , поэтому

$$mg = kl \quad (1)$$

Обычно рассматривают такие колебания пружины маятника, когда их амплитуда  $A$  намного меньше статического отклонения  $l$ , т.е.  $A \ll l$ .

В этом случае пружину считают идеально упругой, когда практически строго выполняется закон Гука(1).

Запишем закон сохранения энергии для смещения маятника  $x$  вниз от положения равновесия нагруженного маятника (уровень 1-1')

$$\frac{1}{2}k(l+x)^2 + \frac{1}{2}mv^2 - mgx = \text{const} \quad (2)$$

Дифференцируя уравнение по времени  $t$  и учитывая формулу(1), после несложных выкладок получим уравнение

$$m\ddot{x} + kx = 0$$

или  $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$ , (3)

где

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4)$$

циклическая частота колебаний маятника.

Сам груз маятника совершает гармонические колебания по закону

$$x = A \sin(\omega t + \varphi), \quad (5)$$

где  $A$  – амплитуда колебаний, а  $\varphi$  – начальная фаза колебаний, которые зависят от способа возбуждения колебаний.

Период колебаний

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (6)$$

Раскроем правую часть уравнения (2) для максимального отклонения маятника вниз, когда  $x=A$

$$\frac{1}{2}k(l+x)^2 + \frac{1}{2}mv^2 - mgx = \frac{1}{2}k(l+A)^2 - mgA$$

После упрощения и простых выкладок получим

$$\frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kA^2 \quad (7)$$

т.е. закон сохранения энергии приобретает простую форму записи.

Реальный пружинный маятник имеет период колебаний несколько больший, чем дает формула (6), из-за того, что масса пружины не равна нулю.

Был проведен простой эксперимент с пружинным маятником с массой груза  $m=200$  г и упругостью  $k=32$  н/м. Статическое отклонение пружины составляло  $l=60$  см, амплитуда колебаний равнялась  $A=5,0$  мм. Масса пружины была равна  $M=37$  г.

Расчетный период оказался равным  $T_p=0,50$  с, а экспериментальный период –  $T_э=0,53$  с.

Назовем эффективной массой пружинного маятника  $m_э$  величину, которую можно вычислить с помощью соотношения

$$\frac{T_э}{T_p} = \sqrt{\frac{m_э}{m}}, \quad (8)$$

вытекающего из формулы (6) для периода колебаний пружинного маятника. Отсюда

$$\frac{m_э}{m} = \left(\frac{T_э}{T_p}\right)^2 \quad (9)$$

Эксперимент дал значение  $m_э/m=1,12$ , т.е. эффективная масса маятника оказалась всего на 12% выше массы груза.

Разность между  $m_э$ -  $m$  была в полтора раза меньше массы пружины  $M$ .

При этом масса пружины была примерно в пять раз меньше массы груза.

Используя модель пружинного маятника, оценим по порядку величины период вертикальных колебаний корабля.

Плавающий корабль погружается в воду до уровня, при котором выталкивающая сила Архимеда вытесненной жидкости и сила тяжести, действующая на корабль, уравновешены. Если по каким-либо внешним причинам, например, от волнения на море, корабль случайно погрузится на величину  $x$  (рис.2), то сила Архимеда увеличится и корабль будет выталкиваться к поверхности.

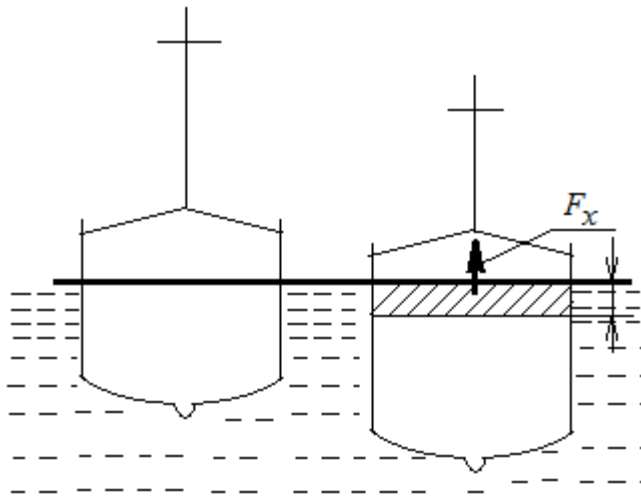


Рис.2.

Избыточная сила Архимеда  $F_x$  оказывается равной

$$F_x - \rho g S x, \quad (10)$$

где  $\rho$  - плотность воды,  $g$  - ускорение свободного падения,  $S$  - площадь горизонтального сечения корабля на уровне воды. Эта сила не являющаяся по своей природе упругой, но линейно зависящая от  $x$ , называется квазиупругой с коэффициентом

$$k = \rho g S, \quad (11)$$

Корабль будет совершать вертикальные гармонические колебания с

периодом  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ .

Для грузового судна водоизмещением 10 000 т и площадью горизонтального сечения на уровне ватерлинии  $S \approx 1000 \text{ м}^2$  период вертикальных колебаний составляет  $T \approx 6 \text{ с}$ .

Такая оценка дает порядок искомого периода.

*И.В. Николаенков, маг.; В.А. Смолин, к.т.н.*

*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ

Двигатель — устройство, преобразующее какой-либо вид энергии в механическую работу. Самое главное — разобраться в принципе работы двигателей и их управления, а после чего и сравнить друг с другом. Стенд в доступной и наглядной форме способен передать всю информацию.

Разработка принципиальной схемы устройства, одна из важных составляющих, она служит для передачи с помощью условных графических и буквенно-цифровых обозначений связей между элементами в устройстве.

Для реализации принципиальной схемы необходимо разработать ряд узлов:

- схема подключения драйверов и двигателей (рис. 1);
- схема подключения акселерометра (рис. 2);
- схема подключения кнопок управления (рис. 3);
- схема подключения датчиков вращения (рис. 4);
- схема подключения конденсаторов по питанию (рис. 5);
- схема подключения ЖКИ (рис. 6);
- схема подключения потенциометров (рис. 7);

Реализация схемы (рис. 1) с использованием микросхемы, драйверов *DA1* и *DA2* (*L293D*) для двигателя *XS1* (*RS-550SH-6428*) и двигателя *XS2* (*28BYJ-48*). А реализация схемы по управлению двигателем *XS3* (*SG-90*), при помощи акселерометра *MPU6050*.

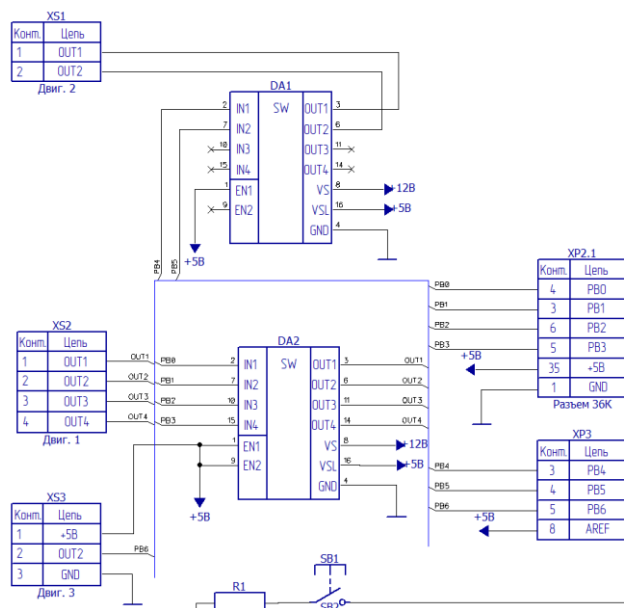


Рисунок 1 — Схема подключения двигателей с драйверами

#### Назначение выводов микросхемы *L293D*:

- входы *ENABLE1* и *ENABLE2* отвечают за включение каждого из драйверов, входящих в состав микросхемы;
- входы *INPUT1* и *INPUT2* управляют двигателем, подключенным к выходам *OUTPUT1* и *OUTPUT2*
- входы *INPUT3* и *INPUT4* управляют двигателем, подключенным к выходам *OUTPUT3* и *OUTPUT4*.
- контакт *Vs* соединяют с положительным полюсом источника электропитания двигателей или просто с положительным полюсом питания, если питание схемы и двигателей единое, проще говоря, этот контакт отвечает за питание электродвигателей.
- контакт *Vss* соединяют с положительным полюсом источника питания, этот контакт обеспечивает питание самой микросхемы
- четыре контакта *GND* соединяют с "землей" (общим проводом или отрицательным полюсом источника питания), кроме того, с помощью этих контактов обычно обеспечивают теплоотвод от микросхемы, поэтому их лучше всего распаять на достаточно широкую контактную площадку.

Реализация схемы (рис. 2) с использованием акселерометра. Структура акселерометра представляет собой массу, прикрепленную к пружине, которая имеет фиксированные внешние пластины и движется в одном направлении. Емкость между пластинами будет меняться всякий раз, когда применяется ускорение. Это изменение емкости будет измерено и будет соответствовать значению ускорения. При перемещении датчика в направлении вверх или вниз он дает нам значения от 0 до 180 для перемещения серводвигателя.

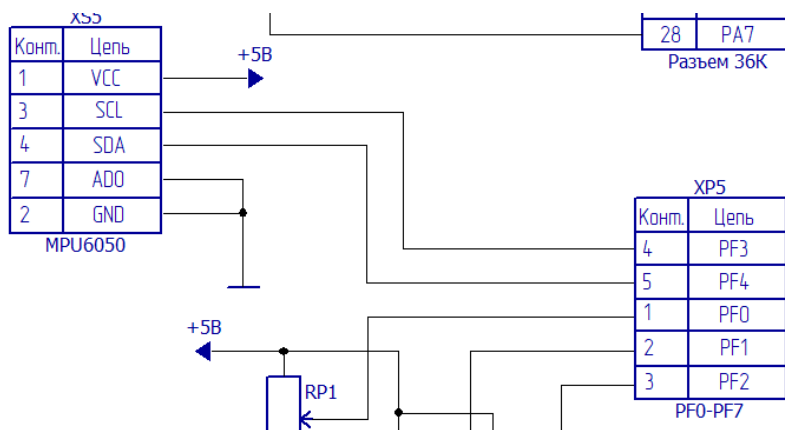


Рисунок 2 — Схема подключения акселерометра *MPU6050*

Реализация схемы (рис. 3) с использованием микросхемы, резисторов *R1*, *R2*, *R3* на 4.7 кОм каждый и тактовых кнопок *SB1*, *SB2*, *SB3*. Кнопка может подать на пин тот уровень, к которому подключена её вторая нога. То есть подключив к пину 5В (сигнал высокого уровня) через кнопку, мы ничего не добьёмся: при нажатой кнопке на пине будет считываться четкий сигнал высокого уровня, а при отпущенной – случайное значение. Для решения этой проблемы существует такое понятие, как подтяжка пина. Подтяжка выполняется к земле или питанию микроконтроллера при помощи резистора.

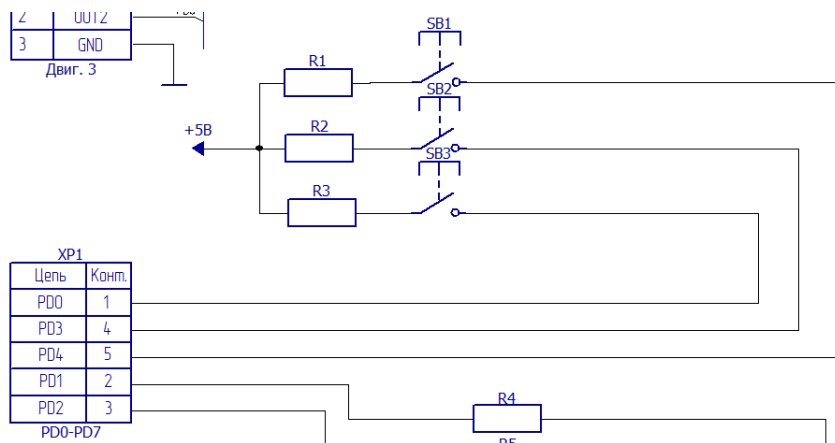


Рисунок 3 — Схема подключения кнопок

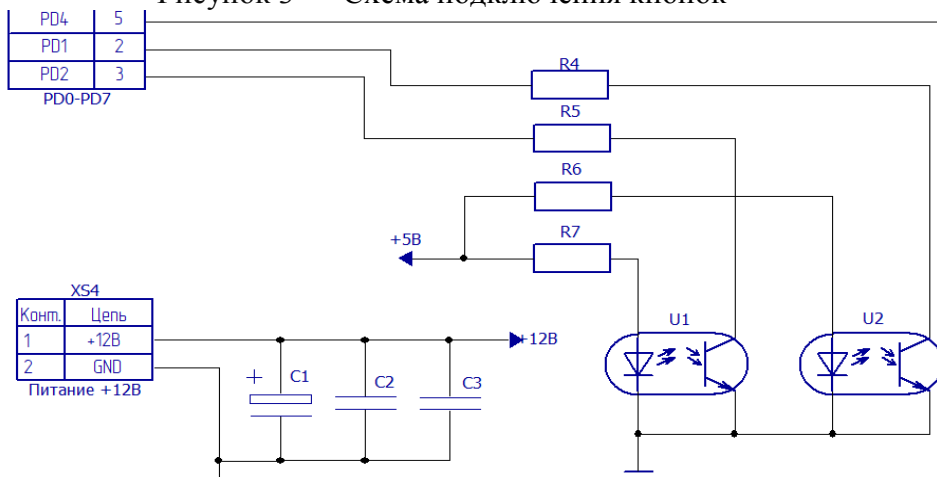


Рисунок 4 — Схема подключения датчика вращения *LTH-301-05*

При нажатии на кнопку через резистор потечёт ток, так как в любом случае замыкается цепь питание-земля. Чем выше ток, больше потери энергии и нагрев



резистора. Если ставить резистор с большим сопротивлением – подтяжка может не обеспечить стабильный уровень сигнала на пине, а если ставить с маленьким сопротивлением – будут больше потери энергии в нагрев резистора.

Реализация схемы (рис. 4) с использованием микросхемы, оптических датчиков *LTH-301-05*.

Два датчика *LTH-301-05*, каждый используется для шагового двигателя и двигателя постоянного тока. На вал двигателя будет установлена металлическая вставка, которая будет проходить между диодом и фототранзистором. Это будет служить сигналом и подаваться на МК, что был сделан один оборот. Стоит отметить, что резисторы уже установлены в *LTH-301-05*, и их номинальные значения следующие: *R4* и *R5*, идущие на диод, 330 Ом, *R6* и *R7*, идущие на фототранзистор, 4,7 кОм.

Реализация схемы (рис. 5) конденсаторов по питанию *C1*, *C2*, *C3*. Ёмкость конденсаторов *C1* 1 мкФ, *C2* и *C3* по 100 нФ. Такие конденсаторы для электродвигателей в основном применяют там, где к одному источнику питания подключены электродвигатель и электроника. Микросхемы, микроконтроллеры и другая электроника чувствительна к различным видам помех, в том числе и тех, что будут идти по питанию, они могут вызвать неправильную работу электроники, чтобы этого не происходило, устанавливают конденсаторы.

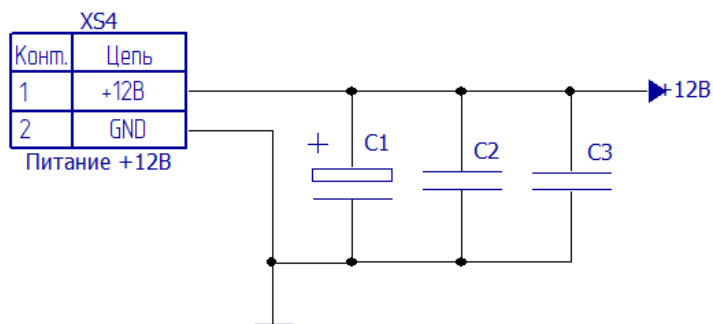


Рисунок 5 — Схема подключения конденсаторов

Реализация схемы (рис. 6) с использованием микросхемы, и ЖКИ.

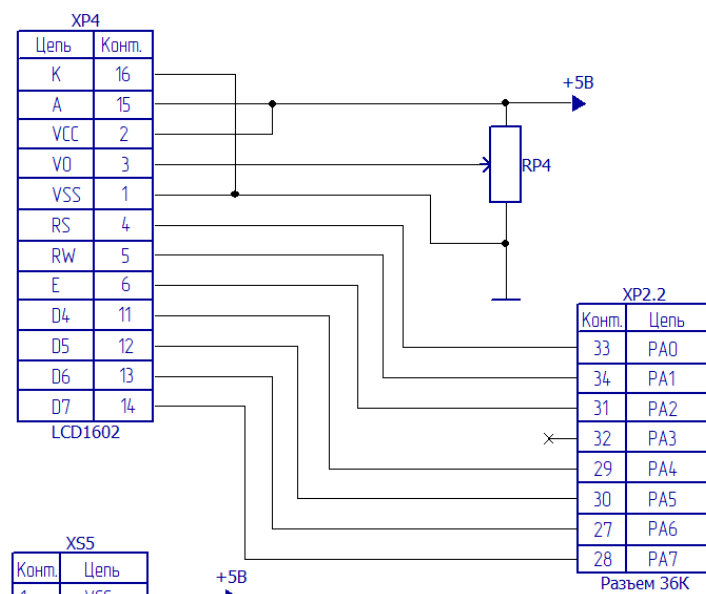


Рисунок 6 — Схема подключения ЖКИ

Стандартная схема присоединения монитора напрямую к микроконтроллеру без *I2C* выглядит следующим образом. Переменный резистор *RP4* номиналом 10 кОм, нужен чтобы контролировать яркость дисплея.

Реализация схемы (рис. 7) с использованием микросхемы, и переменных резисторов *RP1*, *RP2* и *RP3*.

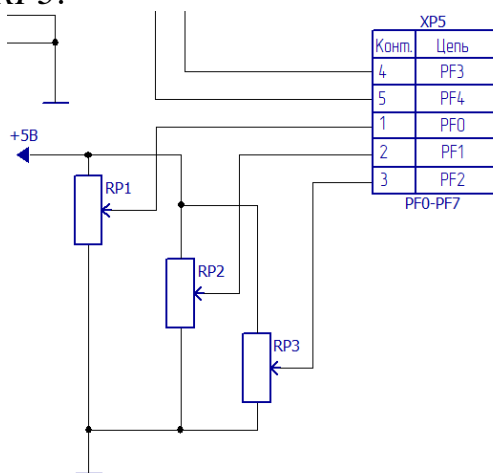


Рисунок 7 — Схема подключения переменных резисторов

В разработке переменные резисторы служат, ещё одним способом управления, их номиналы 10 кОм. Если мы крутим *RP1*, он отвечает за управление шагового двигателя, то длительность паузы между шагами меняется в большую или меньшую сторону. Похожая ситуация с *RP2*, он отвечает за двигатель постоянного тока, покрутив его скорость вращения вала будет либо ускоряться, либо замедляться. А *RP3*, он отвечает за серво мотор, если его крутить в ту или иную сторону, сам вал серво мотора будет крутиться в ту или иную сторону.

#### Литература

1. Программирование микроконтроллеров семейства AVR в устройствах промышленной электроники на языке Си. Лабораторный практикум в 2-х частях по курсу «Основы микропроцессорной техники». Часть 1 [Текст]: практикум / М.А. Амелина, Ю.В. Троицкий. – Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2015. – 56 с.
2. PROTEUSVSMУчебное пособие – Моделирование в Proteus[Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.lib.madi.ru/fel20M685.pdf> (дата обращения 10.02.2021).
3. Амелина, М.А. Оформление курсовых и дипломных работ: методические указания для студентов специальности «Промышленная электроника» / Сост. : М.А. Амелина, С.А. Амелин, Ю.В. Троицкий. — Смоленск : ГОУВПО СФМЭИ(ТУ), 2007. — 78 с.
4. Амелина, М.А. Основные правила работы в WORD / Сост. : М.А. Амелина, С.А. Амелин. — Смоленск : ГОУВПО СФМЭИ(ТУ), 2007. — 32 с.
5. Муханин Л. Г. Схемотехника измерительных устройств: учебное пособие для вузов по напр. 200100- Приборостроение и спец. 200101- Приборостроение / Л. Г. Муханин. — СПб; М.; Краснодар: Лань, 2009. — 281 с.
6. Саврушев Э.Ц. Руководство схемотехника, администратора библиотек, конструктора – М.: Бином-пресс, 2007. – 768 с.
7. Аверченков О. Е. Схемотехника: аппаратура и программы/ О.Е. Аверченков — С.: ДМК пресс, 2012. — 587 с.
8. Акимов О.Е. Эффект Доплера — Изд-во: Impositum, 2016. – 125 с.

## ПЕРВИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Практически для всей радиоэлектронной аппаратуры требуется один или несколько источников питания. Среди всех источников питания выделяют источники первичного и источники вторичного электропитания. Первичные источники питания служат для преобразования различных видов энергии в электрическую. К первичным источникам питания относят:

- химические источники;
- термогенераторы;
- солнечные батареи;
- атомные батареи;
- топливные элементы;
- электрические машины (постоянного и переменного тока).

Вторичные источники питания не способны самостоятельно генерировать электрическую энергию. Их назначение в схеме заключается в преобразовании электроэнергии для обеспечения требуемых параметров, таких как напряжение, ток и другие. В первичном источнике питания происходит однократное преобразование энергии. Энергия от вторичного источника питания до того момента, как перейти в нагрузку, испытывает многократное преобразование через трансформатор, фильтр, а также стабилизатор. Данная статья представляет собой обзор химических источников тока, таких как гальванические элементы (рис.1). Также в статье приведены достоинства и недостатки каждого из источников.

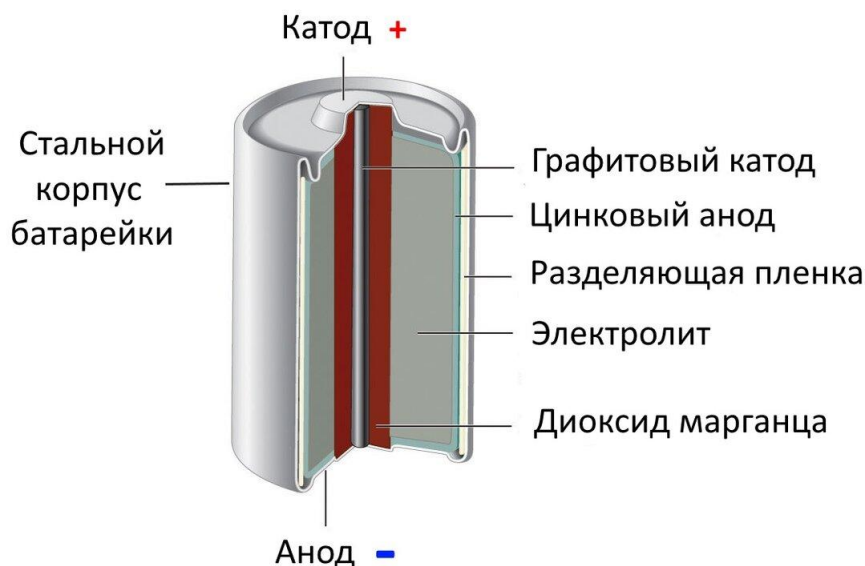


Рисунок 1 — Строение батарейки

По типу используемого электролита химические источники тока делятся на солевые, щелочные, ртутные, серебряные и литиевые [1].

Солевые батарейки считаются одним из самых используемых типов источников электропитания. В качестве «минуса» в них выступает цинк, а в

качестве «плюса» используется двуокись марганца. Электролит, который обеспечивает протекание реакции — хлорид аммония (соль). Солевые батарейки имеют международную маркировку **R**. Главным достоинством солевых батареек является их дешевизна и возможность повторного использования. Однако, их небольшой срок хранения (до 3 лет), неустойчивая работа при перепадах температуры, а также наличие проблем с герметичностью, в результате чего возможны частые протекания электролита, ограничивают область их применения. Скорость саморазряда не превышает 10% в год. Свое применение они нашли в различных маломощных устройствах, таких как пульты ДУ, часы или детские игрушки.

Щелочные, или алкалиновые батарейки, имеют такую же структуру строения, как и солевые, однако вместо хлорида аммония в качестве электролита используется гидроксид калия (щелочь). Щелочные батарейки имеют международную маркировку **LR**. Они лишены многих недостатков, присущих солевым. К достоинствам щелочных батареек можно отнести их повышенную емкость, вследствие чего увеличивается их срок службы (до 7 лет). Они обладают лучшей устойчивостью к резким перепадам температуры, а также обладают лучшей герметичностью, по сравнению с солевыми. Однако, после выработки заряда, перезарядить повторно их невозможно. Щелочные батарейки, аналогично солевым, характеризуются малым саморазрядом, который также не превышает 10% в год. Они активно используются в мобильных телефонах, планшетах и других портативных устройствах.

Еще одним видом первичных источников являются ртутные батарейки. В качестве «минуса» в них выступает цинк, а в качестве «плюса» — ртуть. В роли электролита выступает щелочь. По сравнению с солевыми и щелочными батарейками, ртутные обладают лучшей стойкостью к перепаду температур, им присуща большая емкость и как результат срок их службы увеличивается, однако в связи с тем, что при их изготовлении используется токсичное вещество, широкого применения они не нашли.

В серебряных батарейках в качестве «минуса» выступает цинк, а в качестве «плюса» — оксид серебра. В роли электролита выступает щелочь. Серебряные батарейки имеют международную маркировку **SR**. К достоинствам серебряных батареек можно отнести их механическую прочность, способность выдерживать высокие разрядные токи, небольшой ток саморазряда, а также отсутствие токсичных веществ. К недостаткам можно отнести их дороговизну, плохую переносимость к перезаряду, а также потребность в продолжительном времени для заряда (до 20 часов). Свое применения они нашли в источниках питания для военной и авиационной технике, различном геофизическом оборудовании, а также в космической отрасли.

Наиболее универсальным и часто используемым типом батареек являются литиевые. В качестве «плюса» в них выступает литий, а в качестве «минуса» и электролита могут использоваться диоксид марганца, монофторид углерода и другие. Литиевые батарейки имеют международную маркировку **CR**. Они объединяют в себе все достоинства, которые были перечислены выше. Кроме

того, литиевые батареи характеризуются малым саморазрядом. К недостаткам можно отнести их большую стоимость по сравнению с солевыми и щелочными. Срок службы литиевых батареек составляет до 12 лет, в связи с чем они активно используются в мощной технике. Свое применение они нашли в компьютерном и медицинском оборудовании, а также военной и авиационной отрасли [2].

На данный момент наиболее популярными являются следующие виды батареек: солевые, щелочные, литиевые и серебряные. Наиболее экономически выгодными являются солевые батареи. Однако срок их хранения составляет не более 3 лет. Литиевые и серебряные батареи обладают большей емкостью и их срок хранения составляет до 12 лет. Щелочные батареи занимают промежуточное состояние между солевыми и литиевыми как по стоимости, так и по сроку хранения. При выборе источника питания следует также исходить из условий применения устройства, литиевые и серебряные батареи лучше работают при резких перепадах напряжения, а также характеризуются более стабильными значениями напряжения.

#### Литература

1. Виды батареек по размерам и химическому составу: шпаргалка СНП [Электронный ресурс.] URL: <https://ichip.ru/sovety/pokupka/vidy-batareek-po-razmeram-i-himicheskomu-sostavu-shpargalka-chip-529822#:~:text=Солевые%20батарейки.%20Это%20старейший%20тип,протекание%20реакции%20—%20хлорид%20аммония> (Дата обращения 21.09.21)
2. Устройство, виды и обозначения батареек [Электронный ресурс.] URL: <https://www.vseinstrumenti.ru/articles/electrika-i-svet/ustrojstvo-vidy-i-oboznacheniya-batareek/> (Дата обращения 21.09.21)

*В.А. Павловская, студ., С.А. Амелин, к.т.н., доц.  
(Филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **ВЕНТИЛЯТОР С ФУНКЦИЕЙ САМОНАВЕДЕНИЯ**

Первый электрический вентилятор был изобретен в конце XIX века Томасом Эдисоном. С тех пор он стал неотъемлемой частью нашей жизни. По мере развития технологий, развивалась и история вентиляторов. Производители предоставляют большое разнообразие выбора, как по типу конструкции, так и по способу исполнения. Все большей популярностью пользуются, так называемые «умные вентиляторы», которые включают в себя пульт дистанционного управления, позволяющий управлять скоростью вращения лопастей, тем самым регулируя режим работы. Некоторые вентиляторы оснащены разнообразными фильтрами, помогающими в местах наиболее сильного загрязнения. Инженеры-программисты из Миннесоты [разработали](#) вентилятор, способный отслеживать передвижения человека и направлять поток воздуха в его сторону. Работает устройство за счет установленной в центр решетки, камеры со встроенным микропроцессором. Вентилятор способен распознавать человека в кадре, а в случае, если он не один, устройство направляет поток воздуха на объект, расположенный ближе всего. Планируемая стоимость такого изобретения составит

порядка 300 долларов [1]. Темой данной статьи стала разработка более упрощенного аналога такого вентилятора (рис.1).

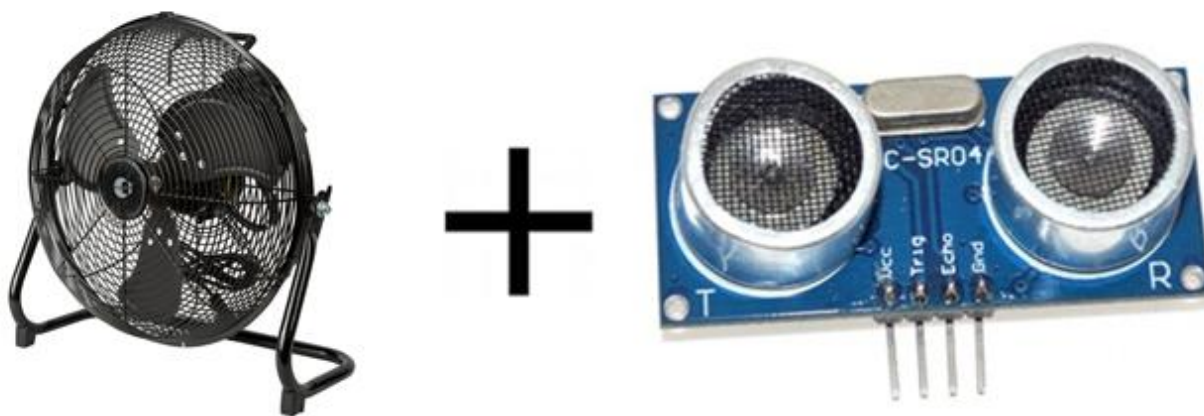


Рисунок 1 — Принцип работы устройства

В американской версии вентилятора работа устройства осуществлена за счет использования компьютерного зрения (механического зрения), благодаря которому и происходит распознавание и отслеживание объекта. В разрабатываемом устройстве, которому посвящена тема статьи, за основу взята платформа Arduino и ультразвуковой датчик расстояния [2]. Принцип работы устройства заключается в следующем: микропроцессор подает управляющий сигнал на сервопривод, который поворачивает датчик расстояния на заданный угол (угол поворота сервопривода составляет от 0 до 180 градусов). В результате работы, сканируется пространство от начальной до конечной точки заданной области. Зная, текущий угол поворота сервопривода и расстояние между датчиком и препятствием, возможно определить, изменилось положение объект в заданной области или осталось прежним. В том случае, если расстояние изменилось, можно судить о изменении положения объекта в исследуемой области. Для того, чтобы зафиксировать устройство на найденном объекте, необходимо вычислить среднее расстояние между двумя конечными точками объекта. При изменении положения исследуемого объекта, устройство начнет сканирование повторно (рис.2).

Для реализации устройства понадобится Arduino Pro mini, выбор именно этой платформы обусловлен габаритными размерами используемого вентилятора. Для распознавания объекта используется ультразвуковой датчик расстояния HC-SR04. Для реализации поворота устройства требуется сервопривод. С целью экономии энергии в разработанном устройстве предусмотрено два режима работы. В первом случае, при нахождении объекта в исследуемой области, устройство находится во включенном состоянии. Если объект исчезает из рабочей области датчика, используется второй режим, который предусматривает выключение устройства. За переключение режимов отвечает полевой транзистор, работающий в режиме ключа. Для устранения выбросов тока сервопривода, используется конденсатор.

Структурная схема устройства отображает принцип работы устройства (рис.3)



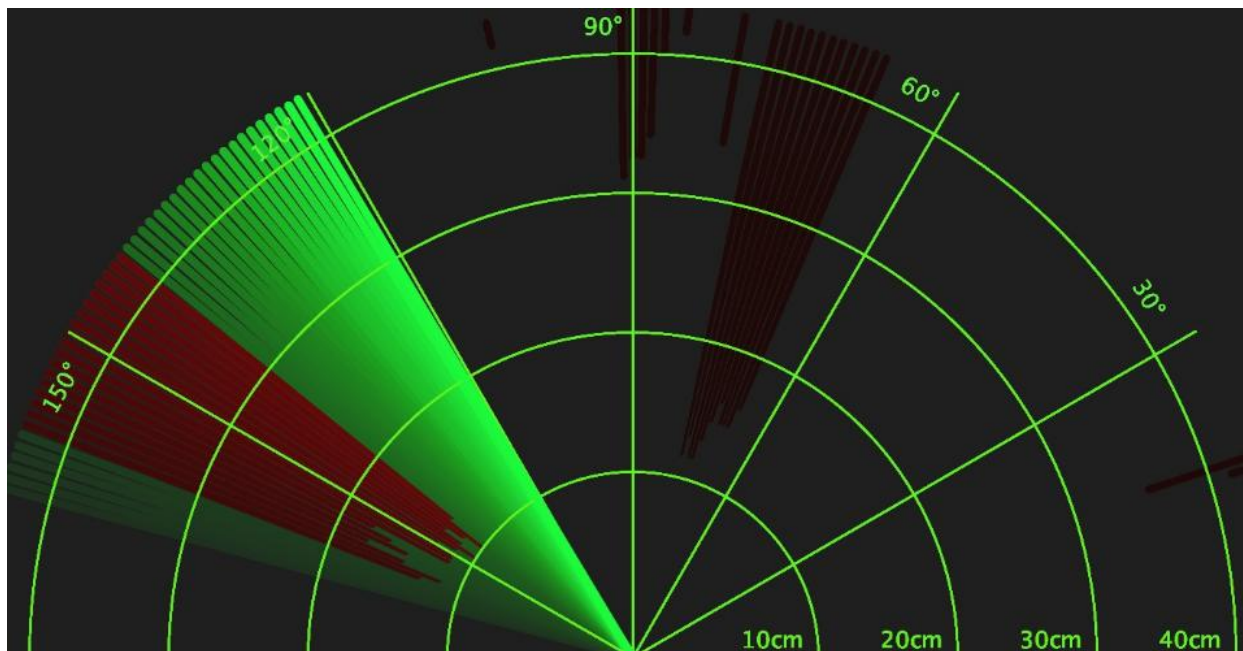


Рисунок 2 — Пример работы устройства

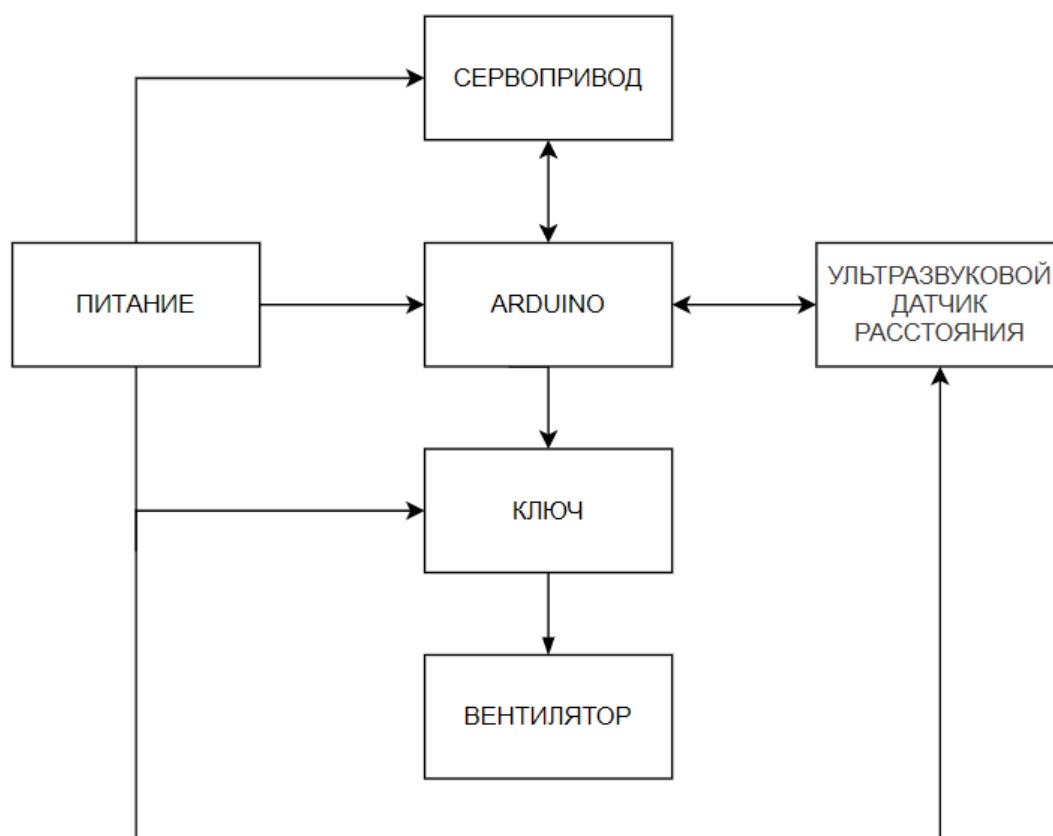


Рисунок 3 — Структурная схема устройства

В дальнейшем планируется доработка проекта. Ее задачей является разработка устройства, которое имело бы несколько новых режимов работы, в зависимости от того, на каком расстоянии находится объект от датчика, вентилятор увеличивает/уменьшает скорость вращения лопастей.

## Литература

1. Самонаводящийся вентилятор Following Fan «достанет» вас в любом углу комнаты [Электронный ресурс.] URL: <https://www.techcult.ru/gadgets/9092-samonavodyashijsya-ventilyator-following-fan-dostan-et-vas-v-lyubom-uglu> (Дата обращения 19.09.21)
2. Самонаводящийся вентилятор своими руками [Электронный ресурс.] URL: <https://alexgyver.ru/aim-fan/> (Дата обращения 19.09.21)

*Н.С. Пахомов, маг.; И.В. Якименко, д.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЛЮСТРЫ**

Цифровая микропроцессорная техника нашла себе повсеместное применение как при разработке собственных цифровых устройств и модулей, так и при доработке различных бытовых приборов. Так, например, доработка различных бытовых приборов позволяет автоматизировать довольно большой спектр используемой в повседневной жизни техники. Такие приборы относятся к категории проектов «умного дома» и имеют возможность в объединение в централизованную цифровую систему.

Микропроцессорные устройства заслужили свое доверие за счёт предоставления требуемой гибкости разработки. Процесс разработки сейчас как для начинающего, так и для опытного инженера, представляет собой сборку конструктора, так как с каждым годом появляется все больше типовых решений для реализации того или иного функционала устройства. По сути, после получения технического задания на разработку устройства инженер сразу начинает собирать различный материал типовых решений, а уже после этого смотрит на требуемые вычислительные мощности, количества портов-ввода вывода, имеющуюся периферию и т.д., ведь типовые решения практически никогда не зависят от используемой архитектуры микропроцессорных устройств. Кроме того, разработка устройств на микроконтроллерах является относительно дешевой в сравнении с какими-либо электронными и цифровыми модулями промышленного назначения, что лишний раз подчеркивает данный метод разработки промышленных устройств на основе микропроцессорных устройств.

Одним из наиболее часто применяемых микропроцессорных устройств является микроконтроллер (микропроцессорное устройство), без которого невозможно представить проектирование какого-либо современного электронного устройства. Микроконтроллер представляет собой чип, на котором в общем случае размещены микропроцессорное ядро, память и периферийные модули, на которых лежит задача осуществлять связь с остальными компонентами внутри чипа и внешним миром. Основным выделяемым преимуществом является перестраиваемость внутренних алгоритмов работы в зависимости от загруженной в память прошивки, благодаря чему микроконтроллер может заменить десятки специализированных



микросхем. К тому же в некотором роде достоинством является защита исходного кода программы, под управлением которой работает микроконтроллер, что является по сути защитой интеллектуальной собственности.

Довольно большой спрос в последние годы стали иметь проекты «умного дома», в том числе и различные варианты люстр с интегрированными системами управления (рис. 1). Данный класс аналоговых и цифровых устройств уже довольно давно имеется на российских рынках, но, как отмечалось ранее, цифровая схемотехника не стоит на месте, вследствие чего функционал люстр также постепенно развивается. Если ранее приоритетным в люстрах с системой управления считалось наличие беспроводного управления с пульта и множества различных цветовых и световых режимов работы, то сейчас конечного потребителя интересует более продвинутое системы управления и больший предоставляемый функционал.



Рисунок 1 — Люстра с системой управления

Так, например, люстра может выполнять не только декоративную и эргономическую функцию, но и предоставлять функционал системы безопасности, например, предупреждение пожароопасных ситуаций и т.д. Для этого люстра оснащается датчиками тепла и дыма, а также функционально звуковой сигнализацией. Данное решение способно спасти множество жизней от ситуаций, связанных с возгоранием жилых помещений в тот момент, когда конечный потребитель спит.

В данной статье предлагается обобщенная структурная схема (рис. 2) интеллектуальной люстры, которая имела бы потенциал к повсеместному распространению за счет достижения должного уровня функционирования, т.е. вызывает к себе интерес конечных потребителей.

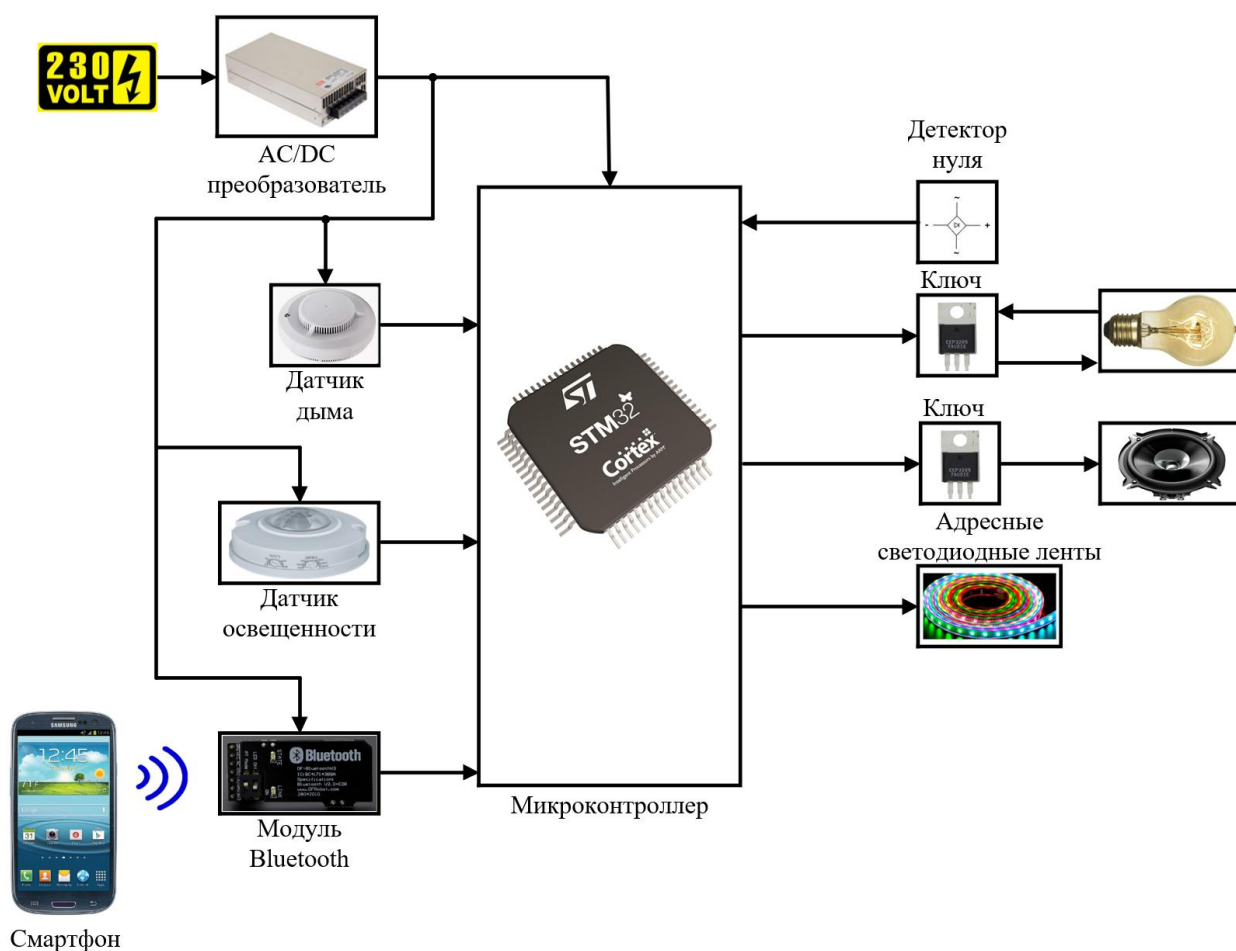


Рисунок 2 — Обобщенная структурная схема системы управления интеллектуальной люстрой

В данной схеме предлагается использование диммерной схемы для качественной плавной регулировки свечения лампы накаливания (или диодной лампы), которая заключается в детектировании моментов перехода сетевого синусоидального напряжения через 0, чтобы в эти моменты разрешать проводить электрический ток через нагрузку с определенным коэффициентом заполнения. Также в системе будут использоваться адресные светодиодные ленты, которые обеспечат полный спектр желаемых цветов и режимов (от простого переливания цветов до гирляндочных режимов и режимов бегущих огней).

AC/DC преобразователь (например, IRM-10-5) необходим для преобразования питающего переменного напряжения в постоянное напряжение питания цифровых частей устройства (таких как микроконтроллер, датчики влажности и освещенности). Также, как отмечалось ранее, в устройство предлагается внедрить средство звуковой сигнализации для подачи сигнала о пожароопасной ситуации дома.

Кроме того, в схеме имеется приемно-передающий Bluetooth модуль, выполненный на чипе CSR BC417143 (даёт возможность взаимодействовать с другими устройствами по данному протоколу), который по беспроводному интерфейсу управляется с любого смартфона (имеющего соответствующее приложение для организации управления). Антенна уже встроена в плату

модуля. Мощности передатчика хватает для работы на расстоянии до 30 метров при прямой видимости. На уровне микропроцессорной техники это значит, что управляющую информацию от смартфона будет получать модуль Bluetooth и преобразовывать её для передачи по последовательному интерфейсу UART. С точки зрения программирования можно заметить, что Bluetooth-модуль является своего рода прозрачным Serial-портом, откуда микроконтроллер принимает полезную информацию. Подключение к интеллектуальной люстре со смартфона позволит пользоваться ручной сменой режимов работы без использования специализированного пульта управления, а при должном уровне проработки сопутствующего Android-приложения, будет иметься возможность написания собственных программ и режимов работы адресных светодиодных лент.

Предложенное устройство является хорошей основой для включения люстры с системой освещения в централизованный проект «умного дома». В таком случае в люстру можно интегрировать и другие типы датчиков, что позволит использовать в едином корпусе не только ранее обозначенный функционал, но и целую метеостанцию контроля параметров микроклимата жилого помещения.

Таким образом, была предложена система управления интеллектуальной люстры на микроконтроллере, в результате реализации которой конечному потребителю была предложена автоматизированная интеллектуальная люстра, обеспечивающая функционал продвинутой люстры с цифровой системой управления и функционал системы предупреждения пожарных ситуаций. Отличительной особенностью устройства является потенциал к расширению функциональных возможностей, например, подключение много большего количества датчиков, вследствие чего устройство будет целесообразно для интеграции в крупные проекты «умных домов».

#### Литература

1. Мартин Т. Микроконтроллеры Atmega. Семейство микроконтроллеров AVR. Вводный курс. – М.: изд. Додэка-XXI, 2010. – 296 с.
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632с., ил.
3. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. — М.: Техносфера, 2016. — 323 с: ил.

*Д.С. Пляц, студ., А.О. Блинов, асс.*

*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ**

Экзоскелеты – это результат интеграции людей и роботизированных машин. Это в основном вспомогательные устройства, которые используются либо для компенсации высокой нагрузки на организм, либо для реабилитации людей с нарушениями опорно-двигательных функций. Существует классификация, основанная на критерии мобильности, различают портативные и фиксированные экзоскелеты. Данная классификация экзоскелетов представлена на рисунке 1.

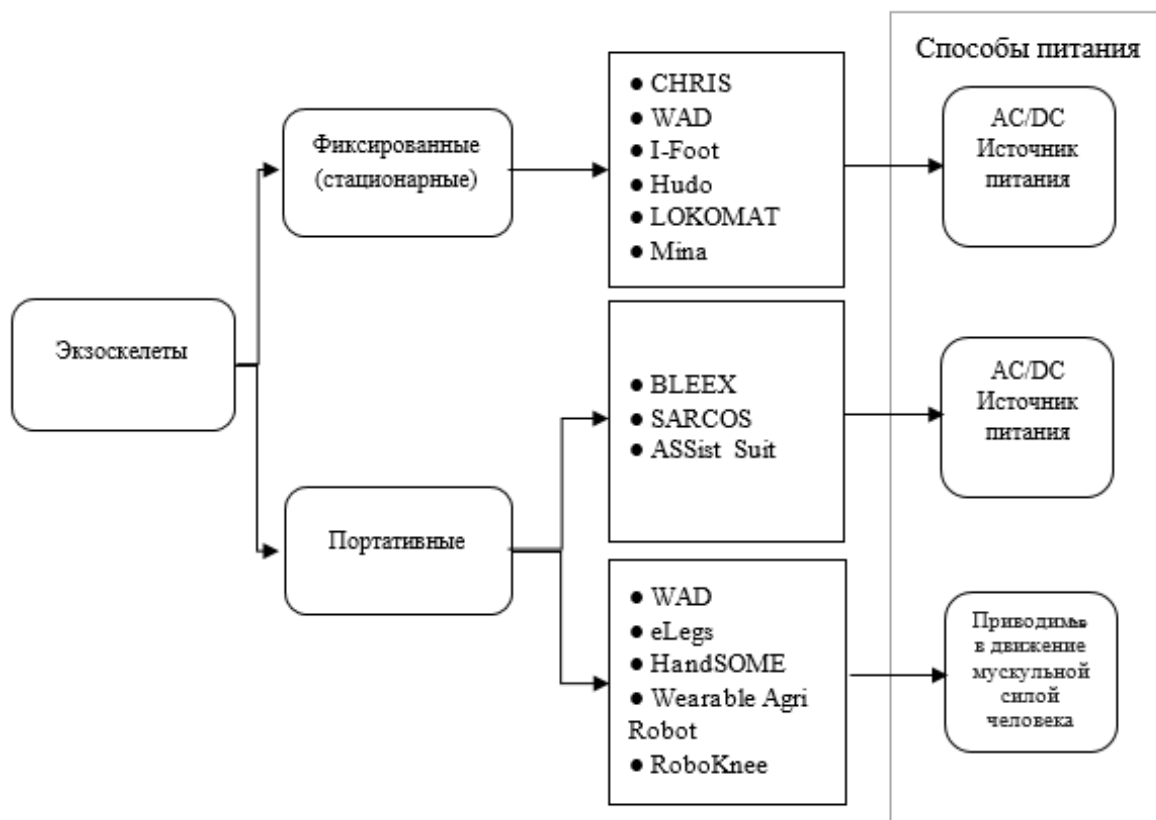


Рисунок 1 – Классификация экзоскелетов по критерию мобильности

Основными элементами экзоскелетов являются: источник питания, программное обеспечение и механический скелет, два последних пункта представляют не менее серьёзные проблемы, чем источник питания. Ограничения, с которым сталкиваются любой разработчики, состоит в необходимости больших объемов источников питания их быстром перегревании. Данные недостатки препятствуют совмещению экзоскелетов со специальным снаряжением или летательными аппаратами и т.п [1,2].

Для экзоскелетов, имеющих собственный источник питания, батареи представляют собой проблемную область. Связано это с тепловым эффектом, возникающим внутри аккумуляторов. Повышение температуры вызывает экзотермическую реакцию, которая приводит к выделению тепла, что влечет серьезный риск для носителя устройства. Сравнительные характеристики некоторых моделей портативных и фиксированных экзоскелетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики моделей экзоскелетов

| Модель экзоскелета | Разработчик       | Источник питания     | Способ подзарядки аккумуляторов |
|--------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------|
| BLEEX              | Darpa             | Литий-ионная батарея | АС Переменный ток               |
| Power effector     | MMSE project team | Прямое питание       | АС Переменный ток               |

|                                    |                                   |   |                                  |
|------------------------------------|-----------------------------------|---|----------------------------------|
| Walking assistive limb             | Honda                             | Перезаряженный литий-ионный аккумулятор | АС/DC Постоянный /переменный ток |
| Power assist suit for marsing care | Технологический институт Канагавы | Никель-металл-гидридный аккумулятор     | АС Переменный ток                |
| HRP-2 promet                       |                                   |   | АС Переменный ток                |
| HRP-1S                             | Honda                             | Никель-цинковый аккумулятор             | АС Переменный ток                |

Можно отметить, что аккумуляторы не являются оптимальными источниками энергии для современных экзоскелетов, так как обычно используют сервомоторы, имеющие высокий крутящий момент и высокое энергопотребление. Ограниченная возможность батареи хранить только небольшое количество заряда, так же является большим недостатком. Для накопления достаточного количества энергии батареи должны иметь значительные габаритные размеры, что отрицательно отражается на весе самого экзоскелета.

Портативные или мобильные экзоскелеты, обеспечивают владельцу свободу передвижения в любом месте. Для стационарных экзоскелетов существует ограничение в мобильности из-за слишком высоких требований к источникам питания, что в конечном результате приводит к использованию прямых источников питания. Это доставляет массу неудобств, и ограничивает возможности применения, так как при небольшом повреждении кабеля дисфункционирует вся система питания, из-за привязанности к проводам уменьшаются рабочие пространства стационарных экзоскелетов [2].

Любой из малогабаритных источников питания в настоящее время может обеспечить экзоскелетам не слишком большую продолжительность автономной работы. Применяемые источники питания не могут обеспечить бесперебойную подачу энергии и создают риск для носителя из-за создаваемого теплового эффекта [3]. Перспективность использования двигателей внутреннего сгорания в качестве источников питания обуславливается их надежностью, но в этом случае также необходимо решить несколько проблем: компактности, наличие и функционирование дополнительной системы охлаждения, а ключевой проблемой будет настройка двигателя на моментальный выброс большого количества энергии.

Более быстрым и практичным решением является использование водородных топливных элементов, которые обладают высокой плотностью энергии и могут быть быстро заправлены, при наличии систем распределения водородного топлива. Примерная схема питания экзоскелета на водородном топливе представлена на рисунке 2. Водород является максимально экологичным сырьем, имеет возобновляемый ресурс, а также обладает

максимальным КПД в сравнении с классическими двигателями, функционирующими на бензине и дизеле, рядом аккумуляторов и т.п.

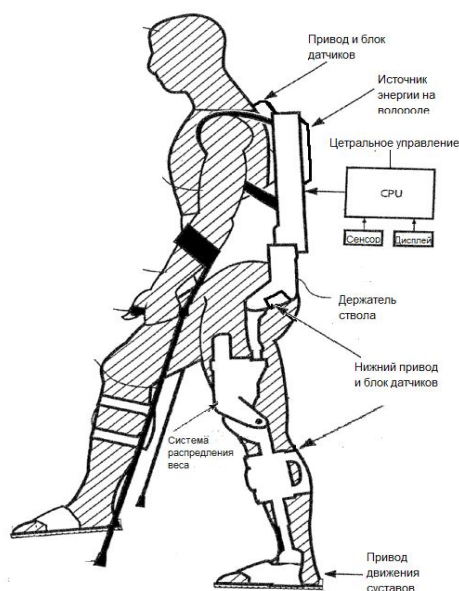


Рисунок 2 – Схема портативного экзоскелета

Поиск и подбор источника питания является актуальной задачей современных инженеров. На пути к массовому внедрению разработчики экзоскелетов должны преодолеть ряд проблем, связанных с возможностью подзарядки аккумулятора или его замены, обеспечения наименьшего веса устройства питания, выбором оптимального топлива и т.п. Производство и совершенствование источников питания для экзоскелетов является важной технической конструкционной задачей.

#### Литература

1. Ключко В.И. Экзоскелеты и перспективы их использования / В.И. Ключко, Н.В. Кушнир, Н.Ю. Павлова, А.С. Грива // Электронный сетевой политематический журнал. 2017. №3, с. 32–45. ISSN 2312-9409
2. Борисов А.В., Розенблат Г. М. Матричный метод построения дифференциальных уравнений движения экзоскелета и его контроль. / Журнал "Математика и механика" 81 (2017). Стр. 351-359.
3. Борисов А.В., Розенблат Г. М. Моделирование динамики экзоскелета с управляющими моментами в суставах и переменной Длины связей С использованием рекуррентного метода построения дифференциальных уравнений движения II Журнал вычислительной техники и Международные системные науки, 2018, Том 57, № 2, стр. 3197347.

*А.О. Подмастерьев, студ., И.В. Якименко, д.т.н., доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПОМЕХ ДЛЯ ИНТЕРФЕЙСА RS-485**

Интерфейс RS-485 получил широкое распространение в сетях, для которых важна стойкость к внешним помехам. Благодаря противофазному сигналу надежность передачи увеличена по сравнению с, например, другим промышленным интерфейсом – RS-232. Протокол обмена данными не нормируется, что добавляет некоторые сложности к подключению двух независимых устройств между собой. Несмотря на это, наиболее распространенными стандартами протоколов связи являются MODBUS, PRO-FIBUS и другие.

За основу стандарта RS-485 взят способ дифференциальной передачи данных. Это значит, что на прямой линии (линии А) появляется положительный потенциал величины  $N$ , а на инверсной линии (линии В) появляется отрицательный потенциал той же величины  $N$ . Таким образом, между контактами всегда присутствует разность потенциалов. Для логической «1» эта разность должна быть положительной, для логического «0» - отрицательной. Визуально вышеописанное показано на рисунке 1.

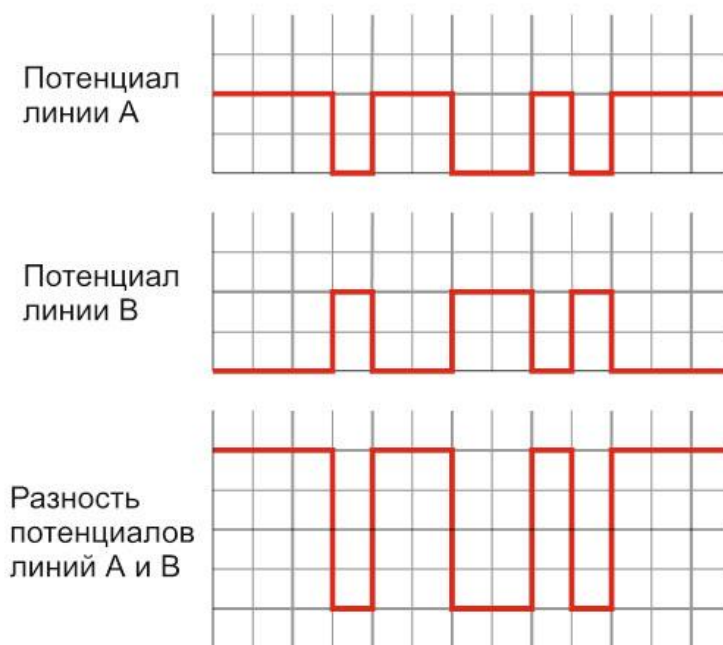


Рисунок 22 Принцип работы интерфейса RS-485

Неоспоримым преимуществом такого устройства интерфейса является устойчивость к помехам, которые действуют на обе линии сразу – синфазным помехам. Это актуально для, например, заводских помещений, в которых работают мощные моторы, электромагниты или что-то еще, способное создавать мощное электромагнитное поле. Так как наводка будет образовываться на двух линиях сразу, разность потенциалов между ними останется прежней.

Отсюда следует, что первый способ защиты от помех линии связи с интерфейсом RS-485 – это правильное подключение приемопередатчиков.

Устройства не должны иметь длинные ответвления линии, так как это может привести к рассогласованиям и отражениям сигнала. Так как проводники имеют свою скорость распространения электромагнитных волн (у т.н. «витой пары» эта скорость ограничена значением примерно 206 мм/нс), то при длинных линиях сигнал может искажаться и не доходить до приемопередатчика другого устройства. Чтобы данные меньше искажались, необходимо уменьшить скорость передачи данных. Чем меньше скорость передачи, тем больше длительность импульса и тем большее расстояние по линии он пройдет за время своей длительности.

Второй способ защиты от помех – снижение скорости передачи. Примерная иллюстрация зависимости максимальной длины линии от скорости передачи данных показана на рисунке 2.



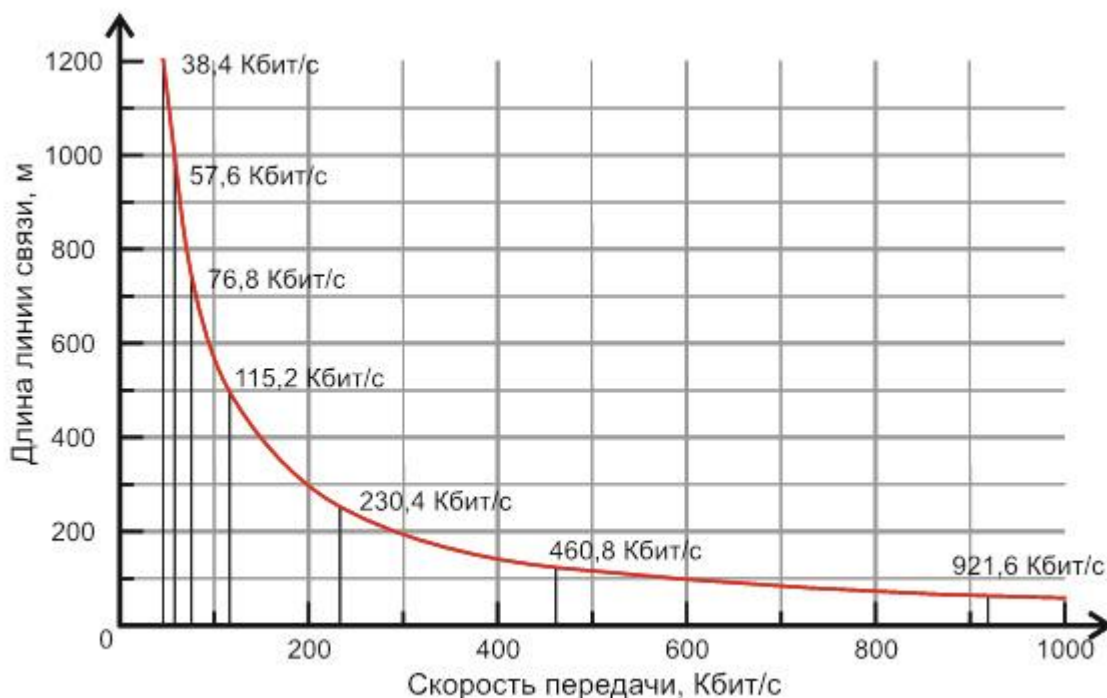


Рисунок 23 Примерная зависимость максимальной длины линии от скорости передачи данных

Приемник имеет чувствительность  $\pm 200$  мВ. Это значит, то при наличии разницы сигналов в диапазоне от минус 200 мВ до плюс 200 мВ приемник находится в неопределенном состоянии, что влечет за собой ложные срабатывания. Чтобы этого не происходило, линии подтягивают к фиксированному потенциалу через резистор: линию А подтягивают к  $+U_{пит}$ , линию В подтягивают к  $-U_{пит}$ . Таким образом создается делитель напряжения, состоящий из подтягивающего резистора, терминального резистора (резистора, согласующего сопротивление линии, ставится опционально) и непосредственно сопротивления приемопередатчика. Необходимо, чтобы полученное смещение находилось в диапазоне (250...300) мВ.

Третий способ защиты от помех – установка подтягивающих резисторов.

Также для защиты от помех следует заземлять экран витой пары. Стандартом не оговорено, в каком месте это нужно делать, поэтому часто экран заземляют на одном из его концов. Если рядом есть радиопередатчик, на линию могут наводиться помехи. Чтобы их минимизировать, чаще всего достаточно поставить высокочастотный конденсатор номиналом (1...10) нФ между заземлением электрической сети и экраном кабеля.

Четвертый способ защиты от помех – заземление экрана кабеля и установка между ним и заземлением высокочастотного конденсатора.

Однако все рассмотренные выше способы не учитывают экстренных ситуаций с перенапряжением в десятки киловольт. Если такое напряжение попадет на приемопередатчик, он сгорит. Чтобы этого не произошло, между линиями, между линиями и заземлением ставят варисторы. Варисторы помогают сгладить последствия после перенапряжения, но только кратковременного. Чтобы минимизировать последствия долговременного перенапряжения, необходимо ставить плавкие предохранители.



Пятый способ защиты от помех – установка между линиями, между линиями и заземлением защитных варисторов.

Таким образом, в статье было коротко рассмотрено устройство интерфейса RS-485, его особенности, а также основные способы борьбы с помехами при приеме и передаче данных.

Литература

1. Справочник по проектированию систем передачи информации в энергетике / С.С. Агафонов, Б.А. Жучков, В.Х. Ишкин, И.И. Цитвер. под ред. В.Х. Ишкина. М.: Энергоатомиздат, 2021. - 400 с.

*Д.А. Пронин, студ.; М.А. Амелина, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ В MATLAB/SIMULINK**

В последнее время все большую актуальность приобретает вопрос использования альтернативных источников энергии, таких, например, как солнечные батареи во множестве устройств. Однако, некорректным будет внедрение таких модулей в любое устройство без предварительного расчета и моделирования поведения солнечной батареи, расчета взаимодействия с предполагаемой нагрузкой, ведь некорректно подобранные элементы питания могут привести к поломке, порой, весьма дорогостоящего устройства.

В качестве моделируемой солнечной панели возьмем поликристаллический солнечный модуль ФСМ-150П, так как линейка солнечных модулей ФСМ отличается превосходным соотношением цена/качество и является одним из наиболее доступных предложений на рынке.

Для моделирования выбранной панели воспользуемся программной средой MATLAB/SIMULINK, так как она обладает широким набором встроенных модулей, необходимых для корректного моделирования устройства.

Параметры необходимые для составления модели фотоэлектрического модуля(ФСМ-150П): номинальная мощность  $P_{НОМ}=150Вт$ , ( $0 \sim +3\%$ ), номинальное напряжение  $V_{НОМ}=12В$ , ток короткого замыкания  $I_{SC}=8.99А$ , напряжение холостого хода панели  $V_{OC\_ОБЩ}=22.5В$ , напряжение при пиковой мощности  $V_{MP}=18.4В$ , ток при пиковой мощности  $I_{MP}=8.15А$ , количество последовательных элементов  $N_S=36шт$ , Количество параллельных элементов  $N_P=1$ , сопротивление последовательного резистора  $0.2 \text{ Ом}$ , сопротивление параллельного резистора  $500 \text{ Ом}$ , коэффициент  $n=1.2$ , коэффициент  $K_I = 0.002$ , рабочую температуру окружающей среды  $T = (273+27) \text{ К}$ .

Использование портов для работы с постоянными и переменными величинами в Matlab/Simulink (версия 2018b) (рис. 1).

Фототок, протекающий в элементах модуля, задается выражением 1. Для удобства моделирования оформим его в виде функционального блока (рис. 2)

$$I_{PH} = [I_{SC} + K_I \cdot (T - 298)] \cdot \frac{G}{G_0}, \quad (1)$$

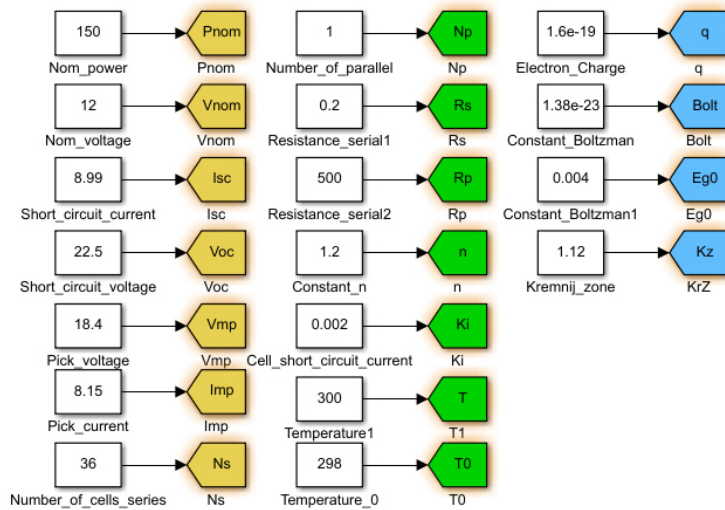


Рисунок 24 — Ввод данных через Matlab Simulink

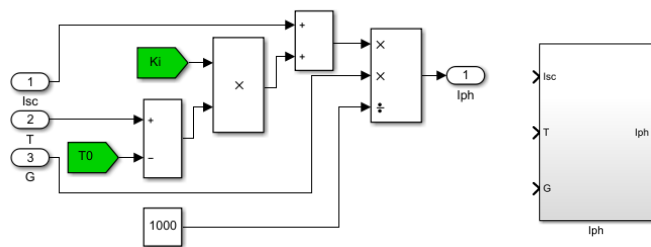


Рисунок 25 — Моделирование протекающего через батарею фототока

Обратный ток насыщения вычисляется по выражению (2) и оформлен в виде функционального блока (рис. 3).

$$I_0 = I_{R\_S} \cdot \left[ \frac{T}{T_0} \right]^3 \cdot e^{-\frac{q \cdot E_{g0}}{n \cdot k} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)}, \quad (2)$$

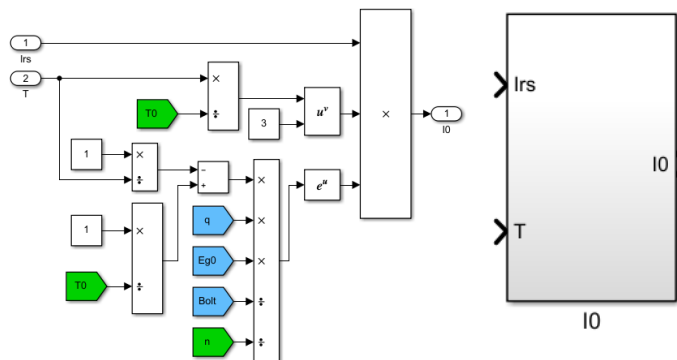


Рисунок 26 — Обратный ток насыщения

Ток насыщения вычисляется по выражению (3) и оформлен в виде функционального блока (рис. 4).

$$I_{R\_S} = \frac{I_{SC}}{\frac{V_{OC\_ОБЩ}}{e^{\frac{V_T}{V_T}} - 1}}, \quad (3)$$

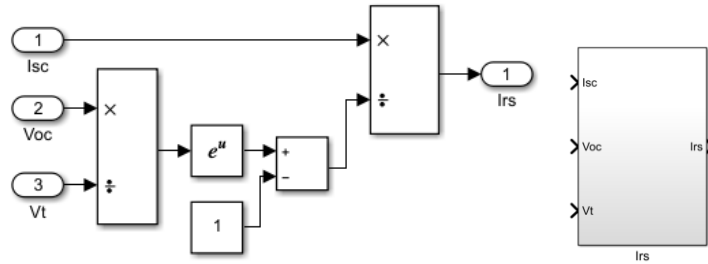


Рисунок 4 — Ток насыщения

Схема вычисления тока через параллельное сопротивление по выражению (формула 4) представлена на рисунке 6.

$$I_{R\_P} = \frac{V + I \cdot R_S}{R_p}, \quad (4)$$

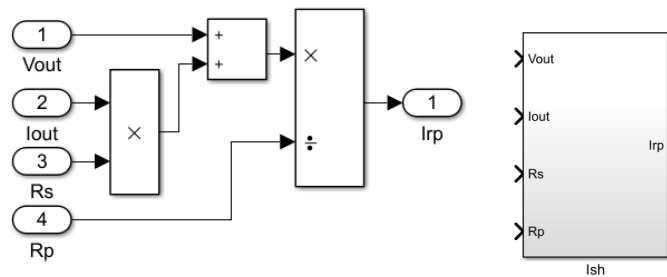


Рисунок 5 — Формула 4

Термическое напряжение панели, которое используется в (1) и (4) определяется выражением:

$$V_T = N_s \cdot n \cdot \frac{k \cdot T}{q}, \quad (5)$$

Расчёт термического напряжения цепи  $V_t$  (рис. 5):

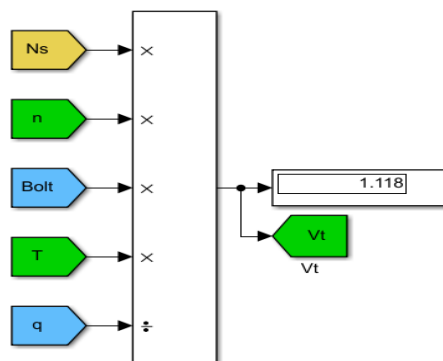


Рисунок 6 — Расчёт термического напряжение  $V_t$

Выходной ток панели вычисляется по выражению (5). Входные параметры разработанного блока: рабочая температура, уровень солнечного излучения и выходное напряжение панели (рис. 7).

$$I = I_{PH} - I_0 \cdot \left( e^{\frac{V+I \cdot R_S}{V_T}} - 1 \right) - I_{R_P} \quad (5)$$

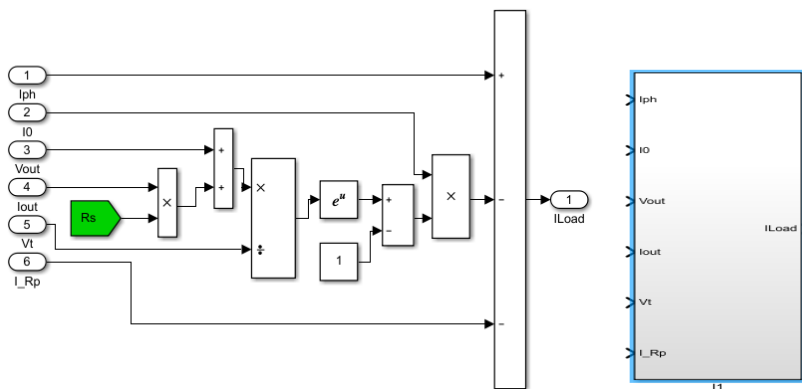


Рисунок 7 — Формула 5

Блок расчёта выходного тока представлен на рисунке 8.

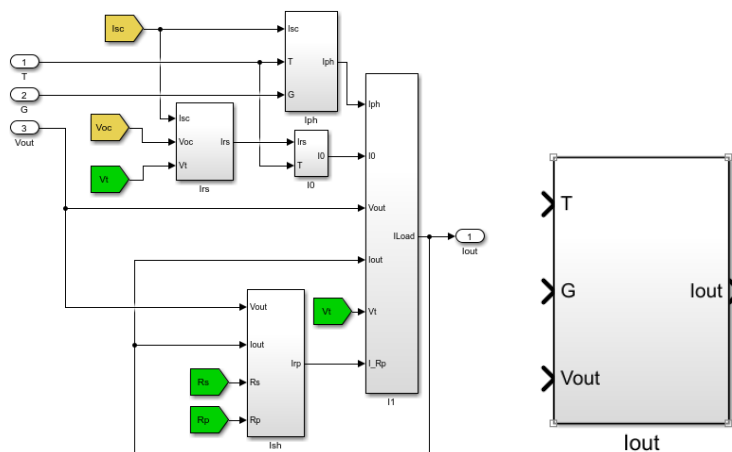


Рисунок 27 — Блок расчёта выходного тока

Чтобы проверить правильность работы разработанной модели, нужно установить рабочую температуру на уровне 300 К и уровень излучения на уровне 1000 Вт/м<sup>2</sup>.

Проверим разные значения выходного напряжения в блоке V\_const в пределах от нуля до напряжения холостого хода. Особое внимание уделим точкам хх (рис. 9) и кз (рис. 10).

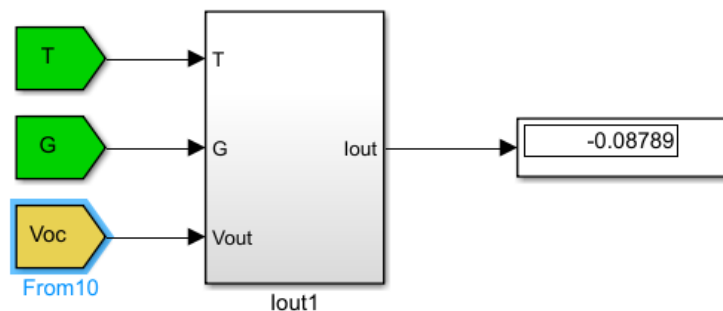


Рисунок 28 — Расчёт тока в режиме ХХ

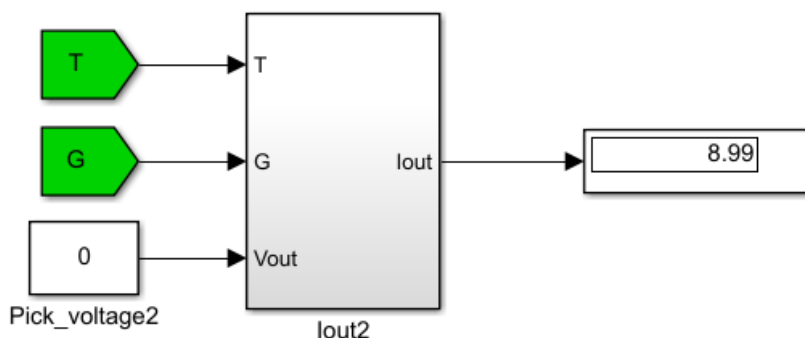


Рисунок 29 — Расчёт тока в режиме КЗ

Данные соответствуют паспортным данным для солнечного модуля ФСМ-150П. При увеличении напряжения выше напряжения холостого хода модель должна выдавать отрицательное значение выходного тока.

Разработанная модель корректно отражает параметры выбранного модуля и может использоваться при моделировании любого устройства, для которого планируется производить электропитание от солнечной панели.

#### Литература

1. Готтлиб И. М. Источники питания. Инверторы, конверторы, линейные и импульсные стабилизаторы / И. М. Готтлиб. – М.: Постмаркет, 2002. – 323 с.
2. Титце У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк; пер. с нем.; под ред. А.Г. Алексеенко. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
3. Солнечный модуль ФСМ-150П. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://energo-souz.ru/moduli-fsm/polikristal/solnechnyy-modul-fsm-150p/> свободный (дата обращения 10.09.2021)

*Д.А. Пронин, студ.; М.А. Амелина, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## РАЗНОВИДНОСТИ СПЕКТРОАНАЛИЗАТОРОВ

Спектроанализатор — устройство для анализа спектра сигнала, а также его визуализации.

Разного рода устройства могут работать на какой-либо определенной частоте. Спектроанализатор способствует правильной работе оборудования, появляется возможность убрать шум, так как при смещении сигналов, могут появляться помехи.

Сам по себе сигнал является носителем информации. В радиоэлектронике он представлен такими величинами, как напряжение и ток. Для него присуще изменение физической величины во времени. Функция частоты, именуемая спектром сигнала, является большое количество амплитуд и начальных фаз гармонических колебаний, сумма которых равна исходному сигналу. Различают амплитудный и фазовый спектры.

Амплитудный спектр — множество амплитуд гармонических колебаний кратных частот (рис. 1). Характеристикой этого спектра является амплитудная спектральная плотность, которая определяет зависимость бесконечной малой амплитуды от частоты.

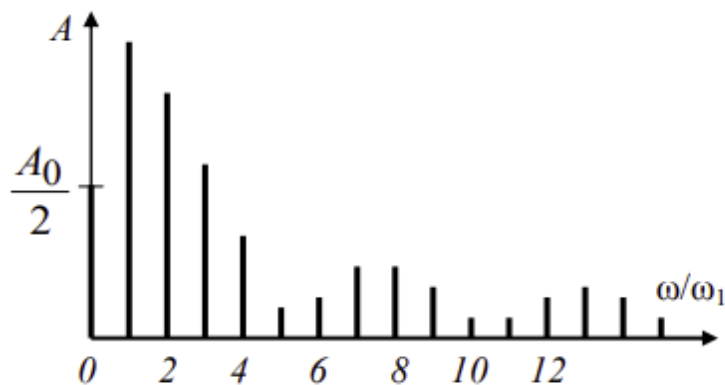


Рисунок 30 — Спектральная диаграмма амплитудного спектра

Фазовый спектр — множество начальных фаз гармонических колебаний кратных частот (рис. 2). Характеристикой этого спектра является начальная фаза.

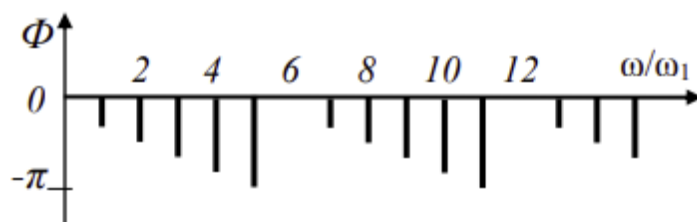


Рисунок 31 — Спектральная диаграмма фазового спектра

Спектроанализатором чаще всего измеряют мощность, модуляцию, частоту и шум. К примеру, если мощность сигнала слишком мала, то сигнал не сможет достичь точки назначения, и, наоборот, если сигнал слишком мощный, то заряд батарей может быстро истощиться, создадутся искажения и так далее.

Измерение искажений очень важно для приемников и для передатчиков, ибо они могут создать помехи на других частотах.

Ширина спектра является одним из параметров сигнала. Это интервал частот, в котором содержится наибольшая часть мощности сигнала (1).

$$\Delta f = f_B - f_H, \text{ где}$$

$f_B$  – верхняя граничная частота;

$f_H$  – верхняя граничная частота;

Существует несколько типов цифровых анализаторов спектра (рис. 3).



Рисунок 32 — Классификация цифровых анализаторов спектра

1. Классический супергетеродинный анализатор спектра, или же анализатор последовательного типа, измерительная информация в котором получается методом сканирования полосы частоты при помощи гетеродина, а после оцифровывается АЦП и обрабатывается цифровым методом.

2. Анализатор спектра, который содержит набор узкополосных фильтров, настроенных на определенную частоту. Сам спектр вычисляется при помощи алгоритмов дискретного преобразования Фурье.

Благодаря преобразованию Фурье, скорость работы и разрешение спектроанализатора с БПФ намного выше, чем в спектроанализаторе последовательного типа, но является более сложным.

Существуют низкочастотные анализаторы, которые применяются в диапазоне частот от 10 Гц до 100 кГц. Приборы используются в акустике, с помощью его можно исследовать шум, а также создавать аудиоаппаратуру. Ещё одним способом применения является контроль качества электрической сети.

Для работы в диапазоне частот от нескольких килогерц до 100 ГГц, используют радиочастотные анализаторы, которые являются в большинстве своем широкополосными. Применяются при разработке систем мобильной связи, телевидения (высоких частот), а также, например, в спутниковых каналах передачи информации (СВЧ).

Существуют и другие виды анализаторов, такие как анализаторы сигналов с повышенным диапазоном температур (применяются для измерений при пониженных или же повышенных температурах), промышленные анализаторы и другие.

Характеристиками спектроанализатора являются:

1. Разрешающая способность, то есть минимальный интервал частот, при котором устройство выделяет соседние составляющие спектра.
2. Диапазон частот, то есть интервал частот, в котором возможно произвести спектральный анализ.
3. Время анализа, то есть скорость измерения.
4. Погрешность по частоте и по амплитуде.

Спектроанализаторы следует выбирать с учетом конкретных задач, его характеристик (диапазон частот, разрешающая способность), требуемой скорости обработки, мобильности и др.

Спектроанализатор находится в активном процессе разработки, подбираются наиболее подходящие элементы для реализации, проводится обзор литературы и патентный поиск, а также анализ устройств-аналогов.

#### Литература

1. Лекции по ЦОС, главным образом слайды (раздел на сайте ЭИМТ Учебные дисциплины бакалавриата>ЦОС>лекции)  
[http://www.eimt.ru/bakalavriat/cos\\_bak](http://www.eimt.ru/bakalavriat/cos_bak)
2. Основы теории и расчета цифровых фильтров: учебное пособие / В.П. Васильев, Э.Л. Муро, С.М. Смольский; под ред. С.М. Смольского. — 2-е изд., — Москва: ИНФРА-М, 2020. — 272 с.
3. Вадутов О.С. Электроника. Математические основы обработки сигналов — М.: Юрайт, 2021, — 307 с.
4. Солонина А.И. Цифровая обработка сигналов в зеркале MATLAB: учеб. пособие. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018. — 560 с.
5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. — 3-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 768 с.

*Д.А. Пронин, студ.; М.А. Амелина, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ В MATLAB/SIMULINK**

В последнее время все большую актуальность приобретает вопрос использования альтернативных источников энергии, таких, например, как солнечные батареи во множестве устройств. Однако, некорректным будет внедрение таких модулей в любое устройство без предварительного расчета и моделирования поведения солнечной батареи, расчета взаимодействия с предполагаемой нагрузкой, ведь некорректно подобранные элементы питания могут привести к поломке, порой, весьма дорогостоящего устройства.

Исследуем разработанную ранее модель солнечного модуля ФСМ-150П. Для моделирования выбранной панели воспользуемся программной средой MATLAB/SIMULINK, так как она обладает широким набором встроенных модулей, необходимых для корректного моделирования устройства.

Разработанная модель, состоящая из модели протекающего через батарею фототока, модели обратного тока насыщения и тока насыщения, модели протекания тока через параллельное сопротивление, модели термического напряжения панели, представлена на рисунке 1



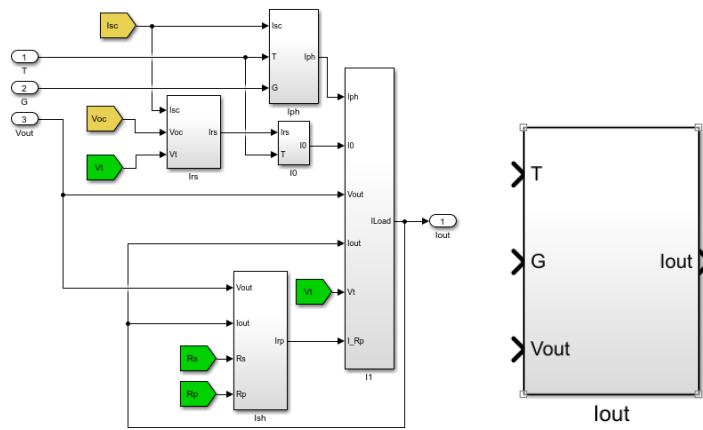


Рисунок 1 — Блок расчёта выходного тока

Чтобы проверить правильность работы разработанной модели, нужно установить рабочую температуру на уровне 300 К и уровень излучения на уровне 1000 Вт/м<sup>2</sup>.

Проверим разные значения выходного напряжения в блоке V\_const в пределах от нуля до напряжения холостого хода. Особое внимание уделим точкам ХХ (рис. 2) и КЗ (рис. 3).

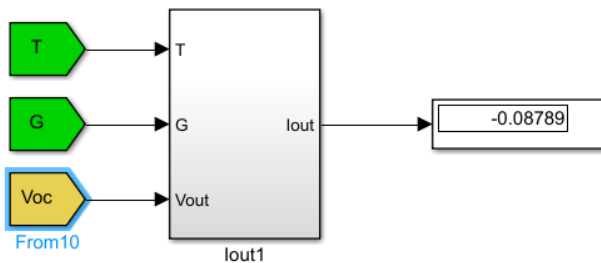


Рисунок 2 — Расчёт тока в режиме ХХ

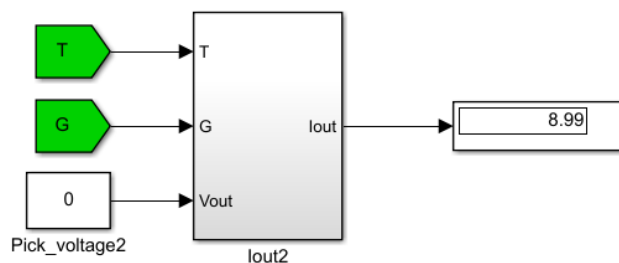


Рисунок 3 — Расчёт тока в режиме КЗ

Данные соответствуют паспортным данным для солнечного модуля ФСМ-150П. При увеличении напряжения выше напряжения холостого хода модель выдает отрицательное значение выходного тока.

Для дальнейшей проверки адекватности модели необходимо построить выходную ВАХ солнечной панели и зависимость мощности от напряжения при температуре 300 К и уровне солнечного излучения 1000 Вт/м<sup>2</sup> (рис. 4, 5, 6).

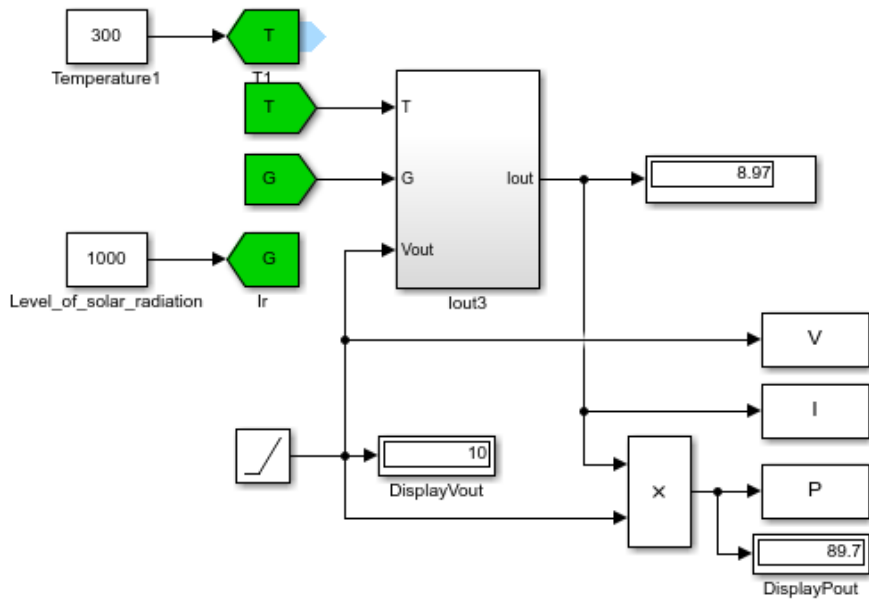


Рисунок 4 — Схема получения данных для построения зависимостей

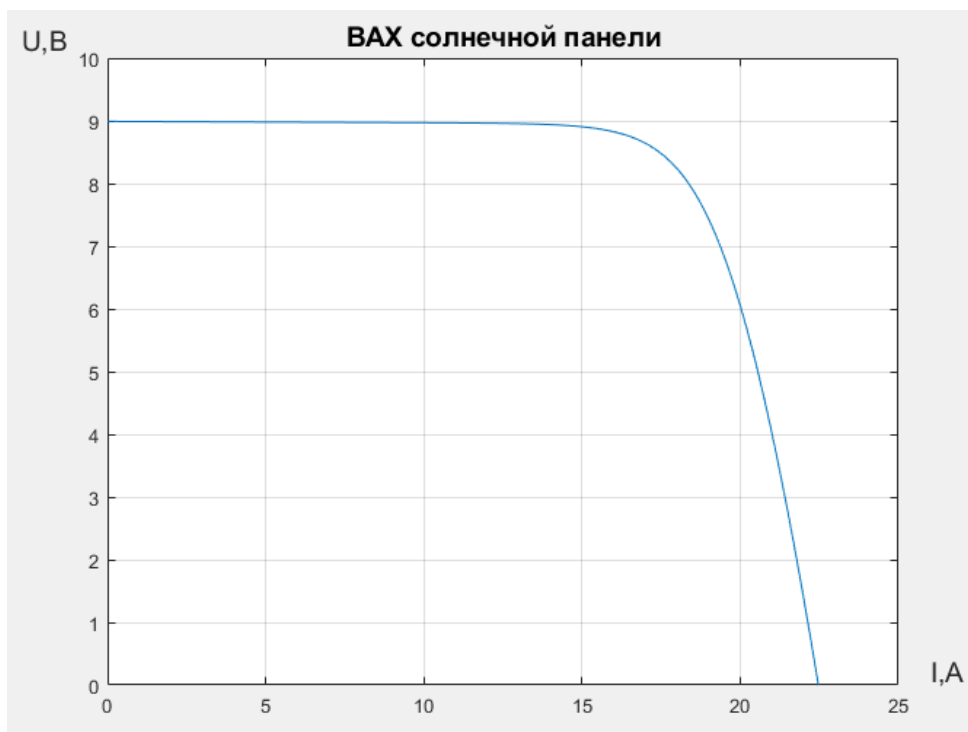


Рисунок 5 — ВАХ солнечной панели

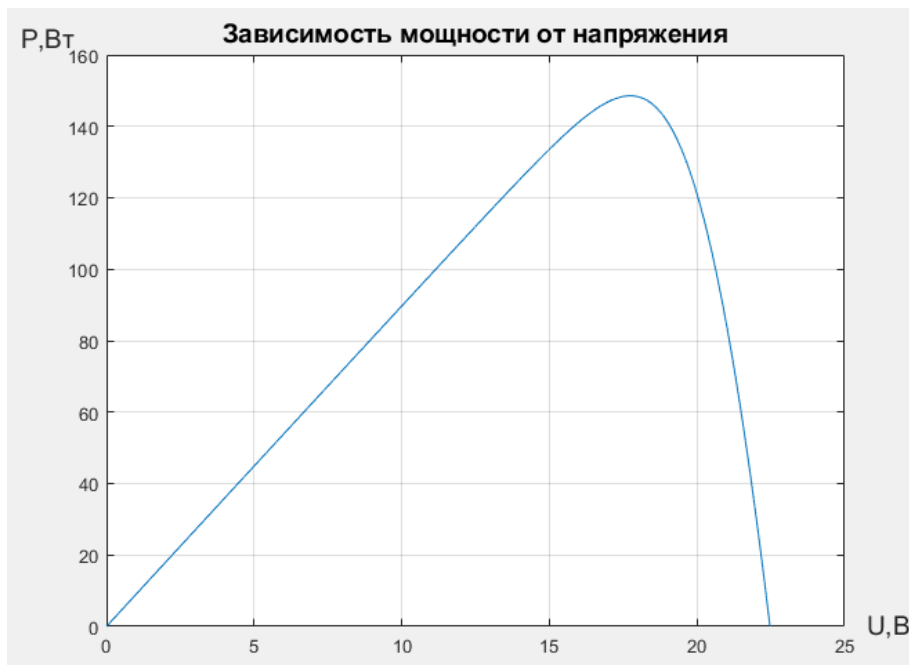


Рисунок 6 — Зависимость мощности от напряжения солнечной панели

Также представляет немалый интерес зависимость тока солнечной панели от напряжения при разном уровне солнечного излучения (300, 600, 1000 Вт/м<sup>2</sup>). Для наглядности приведем их на одном графике (рис. 7). Из графика видно, что при увеличении уровня солнечного излучения также растет и возможный уровень выходного напряжения, которое способна выдавать солнечная батарея от 2,7 до 9 Вольт, что соответствует паспортным параметрам.

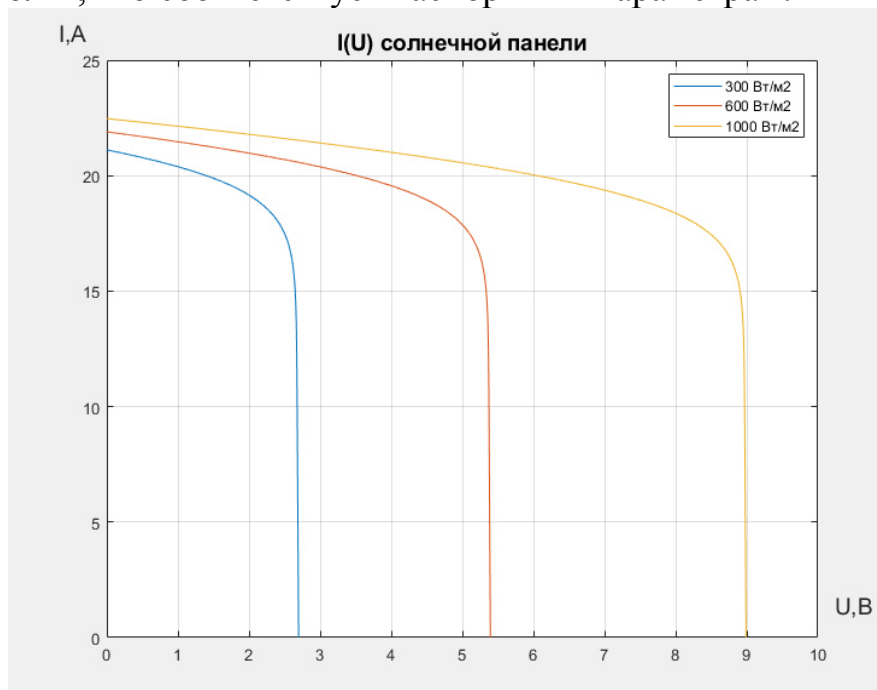


Рисунок 7 — Зависимость тока от напряжения солнечной панели

Проверим зависимость мощности солнечной панели от напряжения при разном уровне солнечного излучения (200, 500, 800 Вт/м<sup>2</sup>). Для наглядности выведем результат на одном графике (рис. 8).

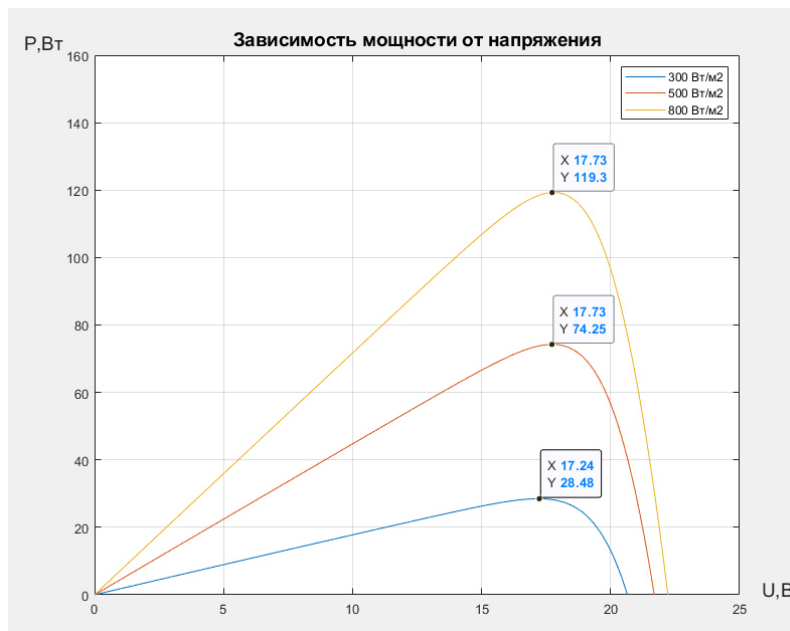


Рисунок 8 — Зависимость мощности от напряжения солнечной панели

На основании графика 8 определим максимально выдаваемую батареей мощность в условиях, приближенных к реальным. Максимальная мощность при излучении 200 Вт/м<sup>2</sup> равна 28,48 Вт, максимальная мощность при излучении 500 Вт/м<sup>2</sup> равна 74,25 Вт, максимальная мощность при излучении 800 Вт/м<sup>2</sup> равна 119,30 Вт.

Зависимость мощности солнечной панели от напряжения при разной температуре панели (10, 25, 40°C) представлена на рисунке 9.

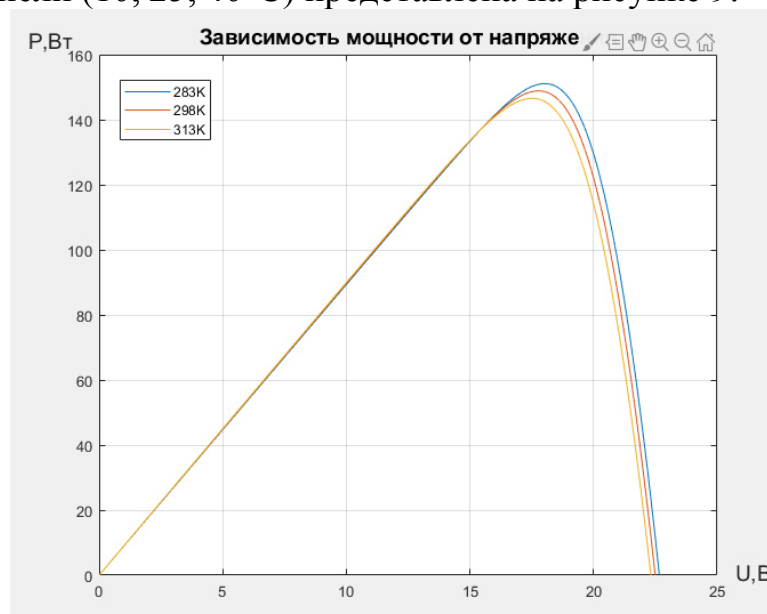


Рисунок 9 — Зависимость мощности от напряжения солнечной панели

Ток в режиме холостого хода у модели не более 87 мА, в режиме короткого замыкания 9 А. При максимально приближенных к реальным условиям, максимальная мощность, выдаваемая батареей, при излучении 200 Вт/м<sup>2</sup> равна 28,48 Вт, при излучении 500 Вт/м<sup>2</sup> равна 74,25 Вт, при излучении 800 Вт/м<sup>2</sup> равна 119,30 Вт.

Данные соответствуют паспортным данным для солнечного модуля ФСМ-150П. При увеличении напряжения выше напряжения холостого хода модель выдает отрицательное значение выходного тока.

Разработанная модель корректно отражает параметры выбранного модуля и может использоваться при моделировании любого устройства, для которого планируется производить электропитание от солнечной панели.

#### Литература

1. Готтлиб И. М. Источники питания. Инверторы, конверторы, линейные и импульсные стабилизаторы / И. М. Готтлиб. – М.: Постмаркет, 2002. – 323 с.
2. Титце У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк; пер. с нем.; под ред. А.Г. Алексеенко. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
3. Солнечный модуль ФСМ-150П. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://energo-souz.ru/moduli-fsm/polikristal/solnechnyy-modul-fsm-150p/> свободный (дата обращения 10.09.2021)

*Д.С. Пятченков, студ.; И.А. Парфененков, студ.; М.В. Беляков, д.т.н., доц.;  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РАСЧЁТ ЭФФЕКТИВНОЙ ОТДАЧИ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП ДЛЯ ТЕПЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

При повышении производительности, а также улучшения качества сельскохозяйственных продуктов, большое внимание обращают к световому режиму агрокультур. Особенно пристальное внимание приходится на северные регионы, где растения, главным образом, выращиваются в тепличных условиях, так как приход ФАР, особенно зимой, достаточно низок. Исходя из этого люди обращаются к новым разработкам в сфере освещения теплиц.

Растения являются основными организмами на нашей планете, способными к фотосинтезу (вырабатыванию органических соединений из солнечной энергии), при помощи рецепторов, поглощающих солнечную энергию во всём диапазоне ФАР.

В широком смысле фотосинтетически активная радиация является частью электромагнитного излучения, которое может использоваться в качестве источника энергии для фотосинтеза зелеными растениями и затрагивает диапазон длин волн 400 – 700 нм. При количественной оценке света, используемого растениями пользуются понятием КПД ФАР, то есть отношением поглощённого излучения к всему потоку ФАР. Это КПД, поступающего от солнечного излучения, достаточно мал и не превышает 1%. Поэтому ставится задача в повышении данного КПД.

Одним из подходов в повышении КПД ФАР является применение светодиодного освещения. Светодиодные светильники для теплиц имеют массу достоинств: оптимальный спектральный световой состав, отсутствие опасных веществ, отсутствие необходимости специальной утилизации, низкое потребление электроэнергии, работа при невысоком напряжении; выделение малого количества теплоты, длительный срок эксплуатации, высокая устойчивость к

механическому воздействию. Светодиоды можно подвешивать на любой высоте, даже прямо над растением: они не нагреваются и не причинят вреда.

Целью данной работы является определение КПД ФАР для выбранных ламп и сравнить их.

В качестве исследуемых образцов были выбраны шесть светодиодных светильников для тепличного освещения:

1. Аполлон 200 Вт Full Spectrum
2. Osram Plantastar 400 Вт E40
3. ДНАТ Reflux Super 400 Вт
4. Гефест 208 Вт Full Spectrum
5. ДРИ Prima Klima MH Sunkraft 400 Вт
6. ДНаЗ 600 (380-400 В) Агро Эколюм

На следующих рисунках представлены: спектр ФАР, спектры светодиодных ламп:

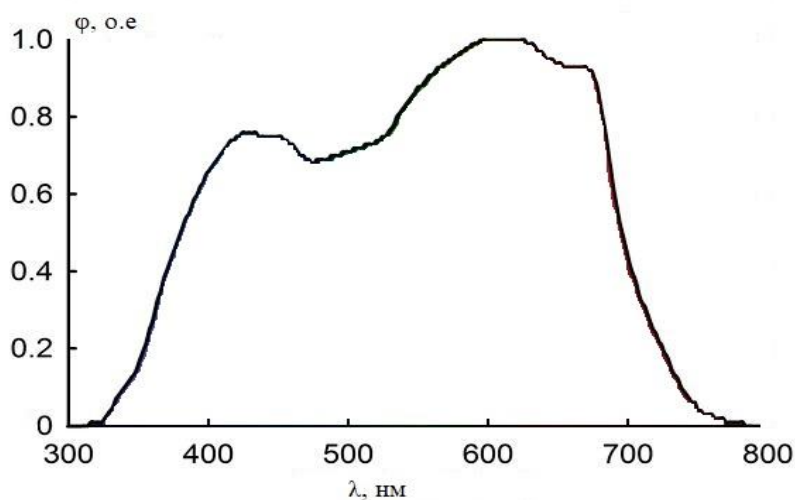


Рисунок 1 – Спектр ФАР

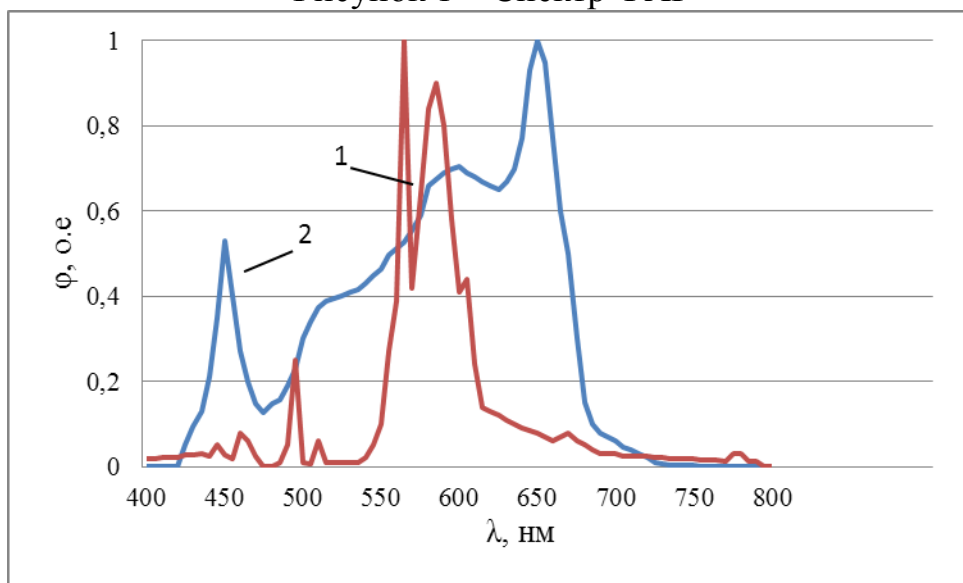


Рисунок 2 – Спектры ламп: 1 – Osram Plantastar 400 Вт E40, 2 – Аполлон 200 Вт Full Spectrum

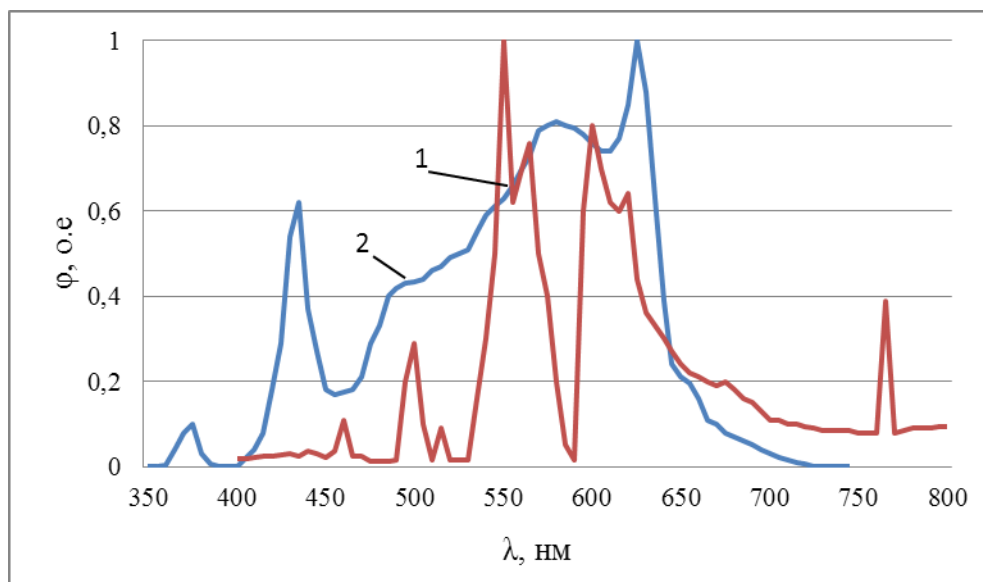


Рисунок 3 – Спектры ламп: 1 – ДНАТ Reflex Super 400 Вт, 2 – Гефест 208 Вт Full Spectrum

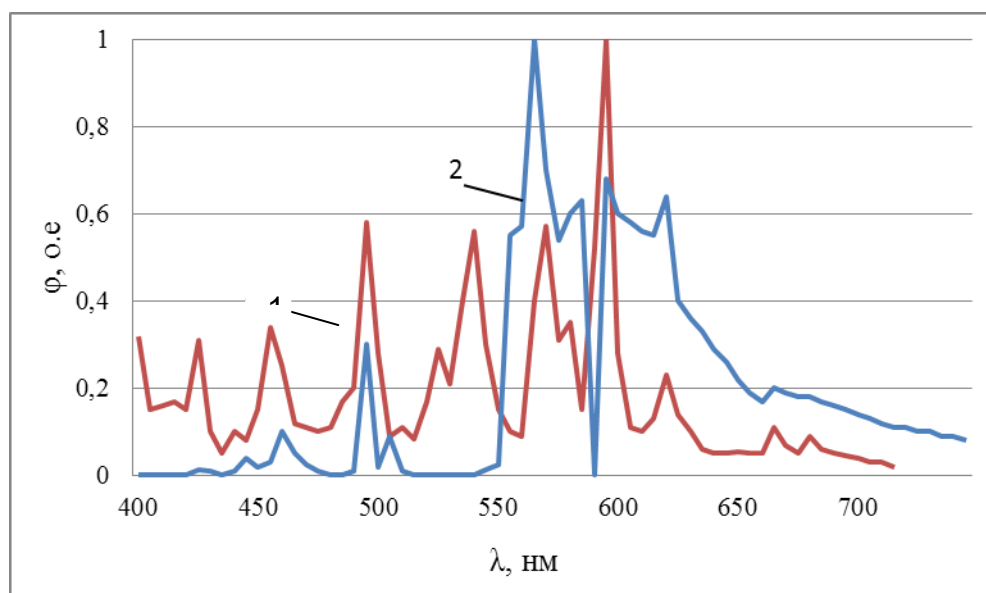


Рисунок 4 – Спектры ламп: 1 – ДРИ Prima Klima MH Sunkraft 400 Вт, 2 – ДНаЗ 600 (380-400 В) Агро Эколюм

На основании спектров ламп, КПД ФАР определяется по следующей формуле:

$$\eta_{\text{ФАР}} = \frac{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) \cdot S_{\text{ФАР}}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) d\lambda} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $\varphi(\lambda)$  – спектральная плотность потока лампы,  $S_{\text{ФАР}}(\lambda)$  – спектральная чувствительность ФАР.

КПД ФАР для исследуемых ламп представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчётов КПД ФАР светильников

| Лампа                              | КПД ФАР, % |
|------------------------------------|------------|
| ДРИ Prima Klima MH Sunkraft 400 Вт | 50,14      |

## Продолжение таблицы 1

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| ДНАТ Reflux Super 400 Вт         | 50,30 |
| Гефест 208 Вт Full Spectrum      | 51,55 |
| Osram Plantastar 400 Вт E40      | 53,52 |
| ДНаЗ 600 (380-400 В) Агро Эколюм | 53,62 |
| Аполлон 200 Вт Full Spectrum     | 59,44 |

Таким образом, исходя из результатов исследования светодиодных светильников для тепличного освещения, наилучшим, среди данных, выбором для повышения фотосинтетически активной радиации является светильник типа Аполлон 200 Вт Full Spectrum.

1. Литература  
Справочная книга по светотехнике/Под ред. Ю.Б. Айзенберга, Г.В. Бооса 4-е изд. М.: Знак, 2019. – 891 с.

*Д.С. Пятченков, студ.; А.А. Шумилин, ст.преп.; М.В. Беляков, д.т.н., доц.;  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **СВЕТИЛЬНИК ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУХА**

В настоящее время человечество всё чаще сталкивается с проблемой таких возбудителей заболеваний как: бактерии, вирусы, грибки, паразиты и другие. Они вызывают болезни различных уровней тяжести, а отдельные их виды могут нанести существенный урон человечеству. Эти возбудители никогда не стоят на одном уровне развития и постоянно мутируют (вирус гриппа), а также со временем приобретают устойчивость к тому или иному лекарству. Победить микроорганизмы очень сложно, поэтому необходимо стараться максимально снижать концентрацию опасных возбудителей в местах постоянного и длительного пребывания людей.

Одним из методов уничтожения микроорганизмов является воздействия на них ультрафиолетового электромагнитного излучения, за счёт которого происходит разрушение ДНК клеточного ядра. Люди научились применять это излучение в виде специальных бактерицидных ламп, и происходит постоянная их модернизация.

На фоне относительно недавних событий, связанных с пандемией коронавирусной инфекции COVID-19, повысился спрос на средства обеззараживания. Увеличилось количество выпускаемой продукции в виде бактерицидных ламп. Пандемия дала толчок к разработке новых современных оборудований для обеззараживания воздуха и поверхностей.

Бактерицидные лампы используют ультрафиолетовое излучение оптического диапазона с длинами волн 100 – 380 нм, откуда выделяется бактерицидное излучение диапазон длин волн, которого, 205 – 315 нм с максимумом 254 нм. По своим конструкционным признакам они схожи с люминесцентными лампами. Многие лампы, содержащие излучение с длиной волны 185 нм, способны создавать озон в воздухе, повышенное содержание



которого может приводить к отравлению. Для этого колбы ламп выполняют из увиолевого стекла, которое не пропускает излучение с длиной волны 185 нм.



Рисунок 1 – Бактерицидная лампа для обеззараживания воздуха

Часто к лампам добавляют специальную отражающую поверхность, которая защищает людей от вредного воздействия ультрафиолетового излучения. Возможна также комбинация с системами рециркуляции воздуха. Воздух забирается в канал системы, где проходит своё обеззараживание и возвращается помещению, обеспечивая непрерывный режим работы и возможность постоянного пребывания людей.

Бактерицидные светильники находят широкое применение:

1. В медицинских учреждениях
2. Детских учреждениях
3. В образовательных учреждениях
4. На промышленных предприятиях
5. В помещениях для проведения спортивных мероприятий
6. В общественном транспорте
7. В иных местах с длительным пребыванием людей

В рамках работы было проведено исследование бактерицидного светильника, предоставленного АО «Ledvance», ECO CLASS OBN 500 UVC комбинированного типа со специальной, защищающей от воздействия излучения поверхностью.

Исследования проводились при помощи спектрофлуориметра «Флюорат-02-Панорама» принцип действия, которого, основан на измерении интенсивностей светового потока от исследуемого объекта. Также прибор способен работать в нескольких режимах, в зависимости от поставленной задачи.

Проведено измерение спектра бактерицидной лампы. Для этого спектрофлуориметр был переведён в режим спектрометра.

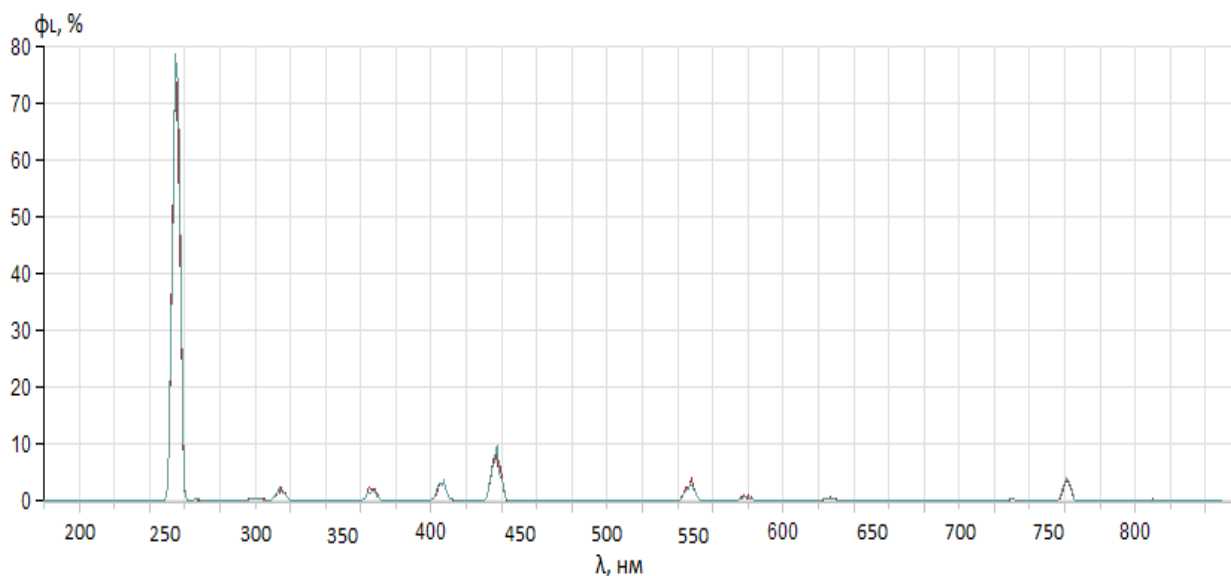


Рисунок 2 – Спектр бактерицидной лампы

Из рисунка 2 видно, что на длинах волн 254, 435,8 нм достигаются наибольшие пики спектра. На длинах волн менее 254 нм отсутствуют скачки спектра. Это значит, что колба лампы изготовлена из увиолевого стекла и не создаёт озон.

Также было проведено измерение люминесценции двух образцов защитной поверхности лампы. Для этого прибор был переведён в режим фотометра.

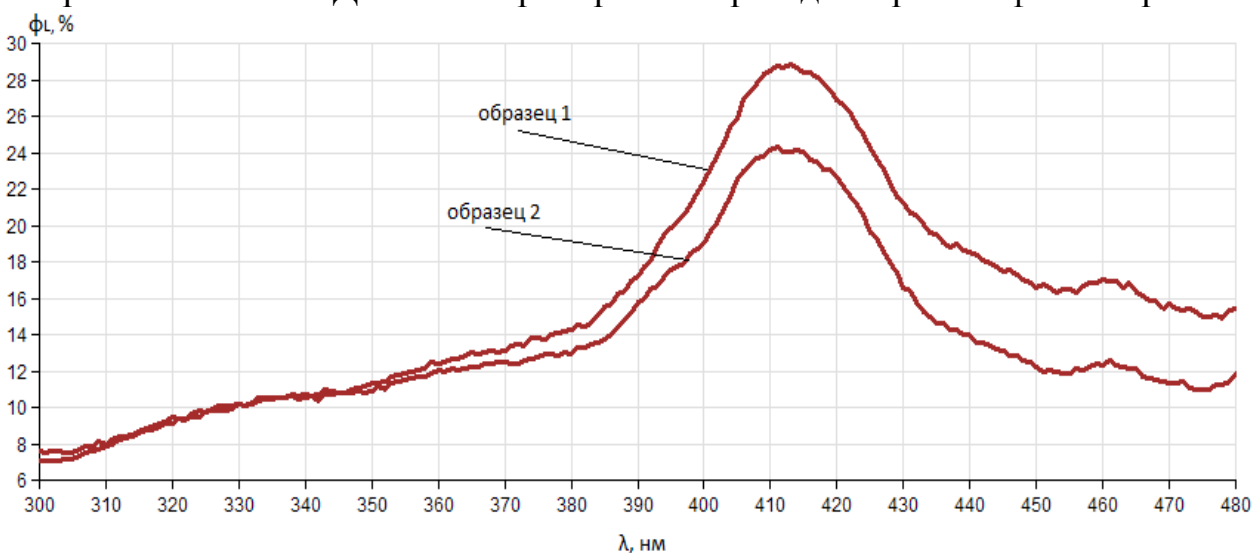


Рисунок 3 – Спектр люминесценции для двух образцов защитной поверхности

Из рисунка 3 можно увидеть, что, начиная с длины волны 345 нм, люминесценция первого образца больше, чем второго. Это значит, что первый образец больше подходит в качестве защитного материала для бактерицидной лампы.

В ходе проведения исследования были измерены спектр лампы, а также люминесценция защитного материала. Лампа имеет в своём спектре пик в 254

нм и способна эффективно бороться с микроорганизмами, а отсутствие пиковых значений в диапазоне ниже 185 нм говорит о том, что лампа не способна создавать озон. В качестве защитного материала наиболее подходит образец 1. В совокупности эти факторы позволяют использовать лампу в присутствии в помещении людей.

Литература

2. ГОСТР 3.5.1904-04 «Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях».

*Д.С. Пятченков, студ.; Н.А. Янкин, студ.; М.В. Беляков, д.т.н., доц.;  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СОЛАНИЗАЦИИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ**

Картофель является одной из важнейших сельскохозяйственных культур, занимающий лидирующие позиции в мировом производстве, после риса, пшеницы и кукурузы, а также является основным продуктом питания во многих странах. Картофельное производство, как отрасль пищевой промышленности, нуждается в качественной продукции. Для решения этой проблемы необходимы быстрые, безопасные и экологически чистые методы определения качества картофельных клубней.

Определение состава картофеля необходимо для удовлетворения текущего спроса на качественные продукты. Основными параметрами качества для оценки качества клубней картофеля являются:

1. Процентное содержание сухого вещества, крахмала, сырого протеина
2. Пониженное содержание сахара

Также не менее важно, при определении качества картофельных клубней, учитывать количество содержащегося в клубнях, а в особенности в кожуре, соланина.

Соланин – природный яд, находящийся в растениях семейства паслёновых. Соланин может быть опасен для человека при большом его поступлении в организм, вызывая угнетение нервной системы, разложение красных кровяных телец – эритроцитов. При попадании примерно 400 мг такого яда приводит к летальному исходу, но съесть такое количество картофеля довольно проблематично. Однако такие клубни отлично подходят в качестве семян, так как скорость их созревания значительно выше обычных клубней. Для этого производится выдержка картофельных клубней в течение 20 дней под прямыми солнечными лучами, за счёт чего образуется характерный зелёный оттенок.

Одним из таких методов контроля качества является спектроскопия в ближней инфракрасной области (NIRS). Спектроскопия в ближней инфракрасной области затрагивает диапазон длин волн от 0,78 до 2,5 мкм, на котором регистрация спектров отражённого, от исследуемого продукта, излучения позволяет получить информацию о содержании того или иного органического соединения. Благодаря этому методу спектроскопии достигается

высокая точность контроля не только продуктов питания, но также многих нефтепродуктов и полимеров [2].



Рисунок 1 – Клубни соланизированного картофеля

При производстве контроля качества, картофельные клубни подвергают излучению ближнего инфракрасного диапазона, после чего наблюдают регистрацию спектров отражения объекта распознавания. Для облегчения проведения исследований целесообразно выполнить небольшой срез кожицы картофельного клубня. На основе полученных данных можно делать выводы о пригодности клубней к переработке, употреблению в пищу, посадке и др.

Достоинства метода:

1. Быстрота проведения исследования
2. Экологическая безопасность
3. Не подвергает объекты исследования разрушающим действиям
4. Высокая точность измерений
5. Простота проведения исследования
6. Надёжность

Ещё одним методом контроля качества картофельных клубней выступает система гиперспектральной визуализации (HSI). При исследовании методом гиперспектральной визуализации фиксируются двумерные изображения, выделяющиеся длиной волны регистрации.

Данный метод часто применяется в микроскопии, биомедицинской визуализации и машинном зрении, потому позволяет быстро идентифицировать и исследовать образцы.

Данный способ позволяет получать изображения с существенно лучшим спектральным разрешением, чем у автономных цветных камер. Цветные камеры представляют собой весь спектральный диапазон изображения, используя три спектральных канала - красный, зеленый и синий. Тогда как, системы гиперспектральной визуализации включают в себя оптические элементы, которые создают спектральные каналы с существенно больше узкой полосой пропускания [6].

Достоинства данного метода схожи с достоинствами метода инфракрасной спектроскопии. К ранее представленным, можно добавить:

1. Компактность
2. Портативность

Таким образом, представленные методы являются основными популярными способами контроля качества, как картофельных клубней, так и многих других органических веществ. Оптические методы, в отличие от химических, не контактируют с объектом и позволяют практически мгновенно произвести исследование. Эти системы могут стать отличным помощником в пищевой промышленности, повышая качество продукции. Методы могут применяться как на крупных производствах, в машинах для автоматической сортировки по качеству, так и в специальных лабораториях, проводя более качественный анализ качества.

#### Литература

1. Wang, W., Paliwal, J. Near-infrared spectroscopy and imaging in food quality and safety. *Sens. & Instrumen. Food Qual.* 1, 193–207 (2007)
2. A Review of the Application of Near-Infrared Spectroscopy for the Analysis of Potatoes Ainara López, Silvia Arazuri, Ignacio García, Jesús Mangado, and Carmen Jarén // *J. Agric. Food Chem.* 2013, 61, 23, 5413–5424
3. Scanlon MG, Pritchard MK, Adam LR (1999) Quality evaluation of processing potatoes by near infrared reflectance. *J Sci Food Agric* 771:763–771
4. Kjær, A., Nielsen, G., Stærke, S. *et al.* Prediction of Starch, Soluble Sugars and Amino Acids in Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) Using Hyperspectral Imaging, Dielectric and LF-NMR Methodologies. *Potato Res.* 59, 357–374 (2016)
5. Rady AM, Guyer DE, Kirk W, Donis-González IR (2014) The potential use of visible/near infrared spectroscopy and hyperspectral imaging to predict processing-related constituents of potatoes. *J Food Eng* 135:11–25.
6. Gowen A., Gaston E., Burger J. (2014) Hyperspectral Imaging. In: O'Donnell C., Fagan C., Cullen P. (eds) *Process Analytical Technology for the Food Industry*. Food Engineering Series. Springer, New York, NY.

*Д.С. Рассказа, ст. преп.; М.С. Шляхтова, студ.;  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### МОДЕЛИРОВАНИЕ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ И ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЗАИМОДЕЙ- СТВИЯ БЛОКОВ УСТРОЙСТВА

Разработанная схема блока управления [1] стенда испытательной нагрузки [2] реализует обработку выходных параметров. Правильность подобранных номиналов компонентов гарантирует долговременную работу устройства без выхода из строя.

Устройство испытательной нагрузки работает в диапазоне напряжений от 10В до 30В. В табл. 1 представлены значения выходных параметров при трех напряжениях. Значение 35В — напряжение, взятое с запасом 20%.

Таблица 3 — Выходные параметры

| U                              | 35В   | 30В  | 10В  |
|--------------------------------|-------|------|------|
| $I_{\text{мод}}, \text{ А}$    | 75,2  | 64   | 1,3  |
| $P_{\text{мод}}, \text{ Вт}$   | 2632  | 1920 | 213  |
| $I_{\text{ус-ва}}, \text{ А}$  | 225,6 | 192  | 63,9 |
| $P_{\text{ус-ва}}, \text{ Вт}$ | 7896  | 5760 | 639  |

На рис. 1 приведена схема измерения выходных параметров. На входы подается напряжение с шунта. Напряжение с выходов обрабатывается АЦП микроконтроллера, и затем выводится на ЖК-дисплей.

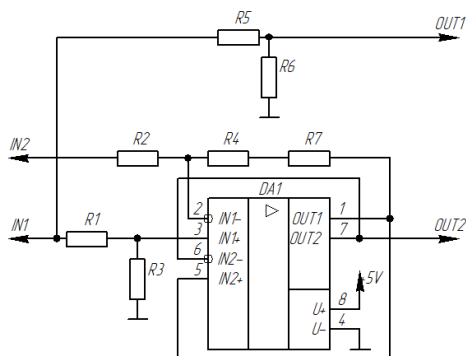


Рисунок 33 — Схема измерения выходных параметров

Поскольку на входы микроконтроллера, отвечающие за аналогово-цифровое преобразование нельзя подавать больше 5В, то максимальное значение на выходах *Out1* и *Out2* не должно превышать 5В.

АЦП микроконтроллера обрабатывает значения напряжений с выходов *Out1* и *Out2* схемы.

Выход *Out1* отвечает за обработку напряжения, подаваемого с испытуемого источника питания. Подаваемое со входа *In1* напряжение через резистивный делитель будет поступать на вход микроконтроллера.

Выход *Out2* отвечает за обработку тока нагрузки. Измерение силы тока будет производиться путем считывания падения напряжения на входах *In1* и *In2*.

В табл. 2 приведены значения сопротивления резисторов схемы рис. 1, обеспечивающие заданные требования.

Таблица 4 — Значение сопротивлений резисторов при  $U_{оп} = 35В$

| Обозначение резистора | Значение сопротивления |
|-----------------------|------------------------|
| R1, кОм               | 1                      |
| R2, кОм               | 1                      |
| R3, кОм               | 66                     |
| R4, кОм               | 66                     |
| R5, кОм               | 6                      |
| R6, кОм               | 1                      |
| R7, кОм               | 500                    |

Проведенное моделирование в программе схемотехнического моделирования *Micro-Cap* подтвердило правильность расчетов для вывода напряжения (рис. 2–3):

- при входном напряжении  $U_{вх} = 35В$ :

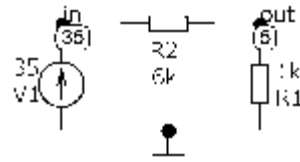


Рисунок 34 — Моделирование работы устройства при входном напряжении  $U_{вх} = 35В$  в программе схемотехнического моделирования *Micro-Cap*

Выходное напряжение  $U_{ВЫХ} = 5В$ , что соответствует требованиям работы АЦП МК.

— при максимальном  $U_{ВХ} = 30В$  и минимальном  $U_{ВХ} = 10В$  входном напряжении:

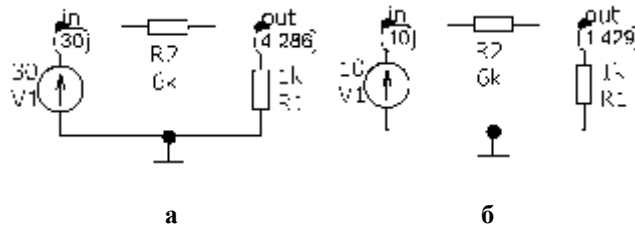


Рисунок 35 — Моделирование работы устройства при входном напряжении  $U_{вх} = 35В$  в программе схемотехнического моделирования *Micro-Cap*

Выходное напряжение  $U_{ВЫХ} = 4,286В$ , что соответствует требованиям работы АЦП МК.

Выходное напряжение  $U_{ВЫХ} = 1,429В$ , что соответствует требованиям работы АЦП МК.

Для вывода тока нагрузки (рис. 4–5):

— при входном напряжении  $U_{ВХ} = 35В$ :

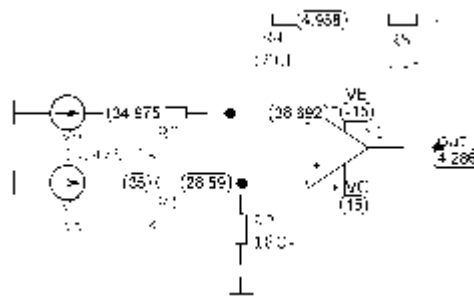


Рисунок 36 — Моделирование работы устройства при входном напряжении  $U_{вх} = 35В$  в программе схемотехнического моделирования *Micro-Cap*

Выходное напряжение  $U_{ВЫХ} = 4,286В$ , что соответствует требованиям работы АЦП МК.

— при максимальном  $U_{ВХ} = 30В$  и минимальном  $U_{ВХ} = 10В$  входном напряжении:



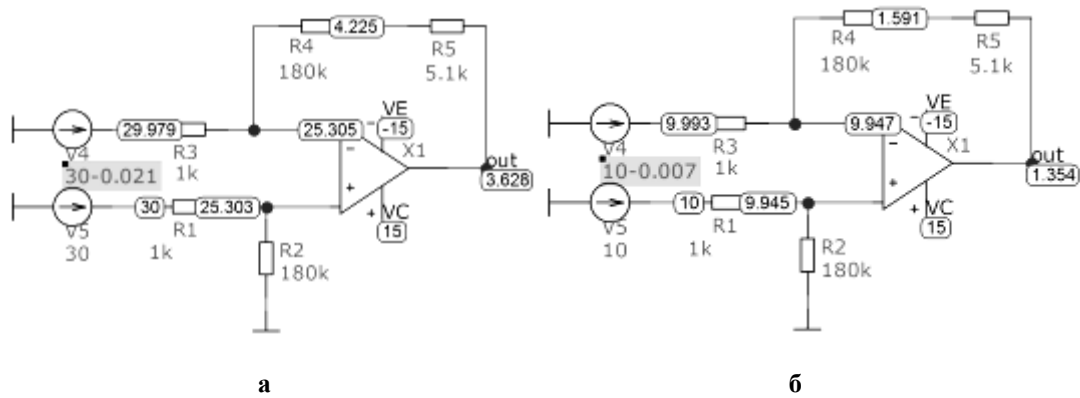


Рисунок 37 — Моделирование работы устройства при максимальном а)  $U_{вх} = 30В$  и минимальном б)  $U_{вх} = 10В$  входном напряжении в программе схмотехнического моделирования *Micro-Cap*

Выходное напряжение  $U_{ВЫХ} = 3,628В$ , что соответствует требованиям работы АЦП МК.

Выходное напряжение  $U_{ВЫХ} = 1,354В$ , что соответствует требованиям работы АЦП МК.

Проведенное моделирование в программе *PROTEUS* (рис. 8–10): доказывает, что при приведенных в табл. 2 значениях сопротивления устройство обеспечивает верные выходные параметры.

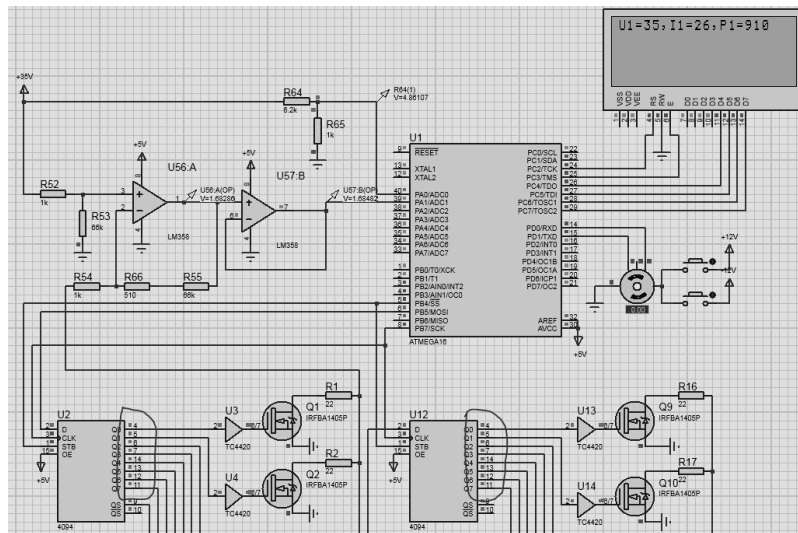


Рисунок 38 — Моделирование при  $U_{вх} = 35В$

При входном напряжении  $U_{вх} = 35В$  выходные параметры, выводимые на ЖК-дисплей соответствуют значениям из табл. 1.



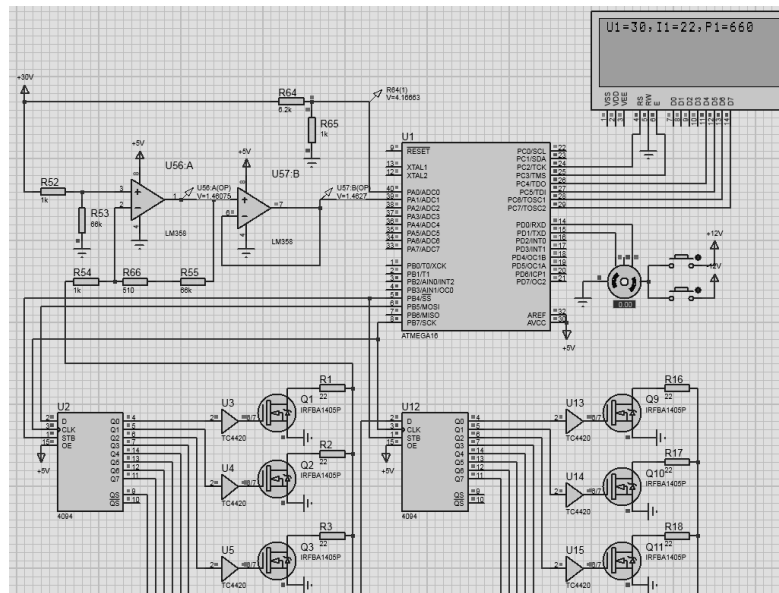


Рисунок 39 — Моделирование при  $U_{вх} = 30В$

При входном напряжении  $U_{вх} = 30В$  выходные параметры, выводимые на ЖК-дисплей соответствуют значениям из табл. 1.

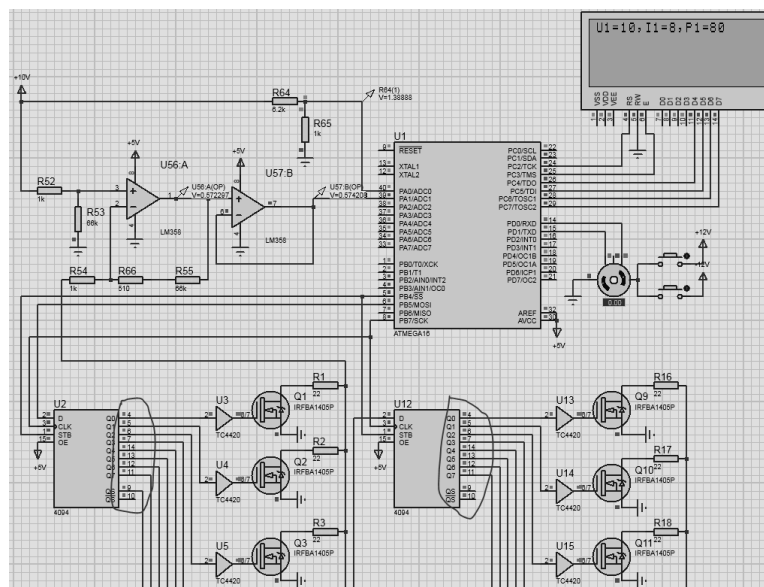


Рисунок 40 — Моделирование при  $U_{вх} = 10В$

При входном напряжении  $U_{вх} = 10В$  выходные параметры, выводимые на ЖК-дисплей соответствуют значениям из табл. 1.

Руководствуясь приведенными значениями компонентов, были подобраны номиналы реальных компонентов при сборке устройства. В настоящее время устройство эксплуатируется, и никаких сбоев в его работе не было выявлено, что говорит о правильности подобранных значений.

#### Литература

1. Шляхтова М.С. Разработка принципиальной схемы блока управления испытательной нагрузкой//ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА (микроэлектроника и

- оптотехника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями). Сб трудов XVIII-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 3 т. Т 2. – 2021. – 382 с.;
2. Рассказа Д.С., Шляхтова М.С. Разработка стенда испытательной нагрузки// ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2020 (микроэлектроника и оптоэлектроника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями.). Сб. трудов X -ой Нац. науч.-техн. конф. с межд. уч. В 3 т. Т 2. Смоленск: «Универсум», – 2020. — С.203-207.

*Д.С. Рассказа, ст. преп.; М.С. Шляхтова, студ.;  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ВЫБОР ОСНОВНОЙ КОМПОНЕНТОЙ БАЗЫ ДЛЯ БЛОКОВ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ**

При разработке и проверке вторичных источников электропитания возникает необходимость их тестирования перед подключением к реальной нагрузке. В [1] приведено описание устройства испытательной нагрузки, заменяющее собой реальную электронную нагрузку. Стенд электронной нагрузки состоит из четырех основных блоков: блока питания, блока управления, платы ключа и модуля нагрузки. Для работы стенда необходимо подобрать компоненты, обеспечивающие заданные в [1] требования:

- работа в диапазоне выходного напряжения — 10...30В;
- работа в трех режимах;
- возможность ступенчатой регулировки тока нагрузки;
- индикация электрических параметров (напряжение, ток, мощность) на ЖК-дисплей.

Чтобы реализовать перечисленные требования необходимы: переключатель для обеспечения режимов работы, модули, обеспечивающие требуемое питание, микроконтроллер, выполняющий программу распределяющую ток нагрузки, устройство, обеспечивающее ступенчатую регулировку тока, транзистор, работающий в ключевом режиме, а также устройство, с которого будут считываться показания.

При проектировании устройства учитывалось, что испытательная нагрузка должна обеспечивать работу в трех режимах:

1. Испытуемые источники питания к нагрузке не подключены;
2. Три блока модуля нагрузки, соединенных параллельно, работают на один испытуемый источник, распределение мощности происходит равномерно;
3. Каждый модуль блока нагрузки подключен к своему источнику питания.

Для обеспечения заданных режимов работы необходим переключатель, имеющий три положения, каждое из которых отвечает за определенный режим.

Данным требованиям отвечает кулачковый переключатель 4G63 100-53-U-S18-R214 100A, коммутационная схема которого приведена на рис. 1.

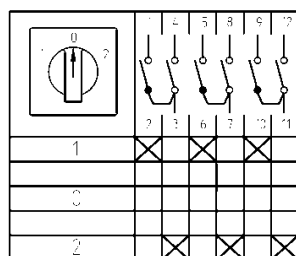


Рисунок 41 — Коммутационная схема переключателя

Для считывания показаний используются шунты. Они должны работать при токах свыше 70А. Данным требованиям удовлетворяет шунт 75ШИСВ 75А (рис. 2).



Рисунок 42 — 75ШИСВ 75А

В схеме используются два питающих напряжения: +5В для блока управления и +12В для платы ключа. Диапазон входного напряжения — 10–30В. Чтобы обеспечить необходимые напряжения для питания блоков устройства необходим DC/DC-преобразователь, работающий стабильно при достижении максимальных параметров устройства. Заданным требованиям удовлетворяют модули фирмы АЕДОН МДМ120-1Б05 и МДМ120-1Б12 (рис. 3).



Рисунок 43 — МДМ120-Р

При напряжении 9–36В модули обеспечивают выходное напряжение 5В и выходной ток до 24А и выходное напряжение 12В и выходной ток до 10А, что соответствует требованиям.

За равномерное распределение мощности на модуль нагрузки отвечает блок управления. Описание его работы приведено в [2]. Основой блока управления является микроконтроллер, выполняющий программу, которая реализует распределение тока нагрузки. Кроме этого микроконтроллер отвечает за обработку считываемых параметров и их вывод на дисплей. В проекте используется микроконтроллер *Atmega16* (рис. 4), имеющий в своем составе [3]:

- 16-разрядный таймер. Отвечает за работу микропрограммы для считывания состояний энкодера;
- 8-канальный 10-разрядный АЦП, используется для измерения параметров;
- последовательный синхронный интерфейс SPI, необходимый для работы со сдвиговыми регистрами, которые служат для расширения портов ввода-вывода микроконтроллера;
- 32 программируемые линии ввода/вывода.



Рисунок 44 — микроконтроллер *Atmega 16*

Ступенчатая регулировка тока нагрузки производится путем вращения ручки инкрементного энкодера.

При разработке устройства принято решение использовать инкрементный энкодер *PEC16-4220F-S0024* (рис. 5).



Рисунок 45 — *PEC16-4220F-S0024*

Выбор энкодера обосновывается тем, что по сравнению с другими моделями его стоимость ниже (1,5–2 раза) но при этом он отвечает всем требованиям. Инкрементный энкодер рассчитан на 24 оборота и его положение может быть зафиксировано с помощью встроенного выключателя.

В качестве нагрузочных резисторов были выбраны резисторы фирмы *Arcol HS50* с сопротивлением  $220\text{ }\Omega$  и мощностью рассеивания  $50\text{ Вт}$ . Данные резисторы могут стабильно работать при токах порядка  $2\text{ А}$ .

Ключи реализованы на мощных полевых транзисторах с логическим управлением. В качестве такого транзистора был выбран N-канальный транзистор с изолированным затвором *IRFS7430-7PPBF* с сопротивлением открытого канала  $750\text{ мкОм}$ , максимальным напряжением сток-исток  $40\text{ В}$ , максимальным током сток-исток  $195\text{ А}$ .

Таким образом, руководствуясь заданными в [1] параметрами, были подобраны основные компоненты устройства. Для проверки работоспособности были собраны макеты основных блоков устройства. Работа с ними показала правильность подобранных компонентов.

#### Литература

3. Расказа Д.С., Шляхтова М.С. Разработка стенда испытательной нагрузки// ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2020 (микроэлектроника и оптотехника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями). Сб. трудов X -ой Нац. науч.-техн. конф. с межд. уч. В 3 т. Т 2. Смоленск: «Универсум», – 2020. — С.203-207;
4. Шляхтова М.С. Разработка принципиальной схемы блока управления испытательной нагрузки//ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА (микроэлектроника и оптотехника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями). Сб трудов XVIII-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 3 т. Т 2. – 2021. – 382 с.;
5. Амелина М.А., Троицкий Ю.В. Программирование микроконтроллеров семейства AVR в устройствах промышленной электроники на языке Си. Лабораторный практикум в 2-х частях по курсу «Основы микропроцессорной техники». Часть 1. Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2015. 56 с.

*Д.С. Расказа, ст. преп.; М.С. Шляхтова, студ.;  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОРПУСА СТЕНДА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ**

Разрабатываемый стенд испытательной нагрузки [1] должен отвечать всем требованиям техники безопасности, а также должен быть обеспечен доступ к органам управления устройства.

На передней панели устройства предусмотрены внешние органы управления (переключатель режимов работы и ручка энкодера), которые должны находиться в свободном доступе для пользователя. Также на передней панели находится ЖК-дисплей, на котором будут отображаться считываемые параметры.

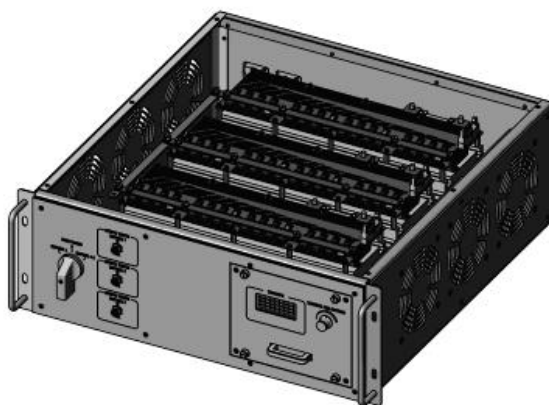


Рисунок 46 — Устройство испытательной нагрузки. Вид спереди

На боковых панелях предусмотрены отверстия для вентиляции. Также предусмотрены отверстия для крепления вентиляторов, питание на которые подается с блока распределения питания.

Модуль управления нагрузкой съемный, что упрощает доступ к плате блока управления. Таким образом, имеется возможность перепрограммирования микроконтроллера и замены компонентов блока.

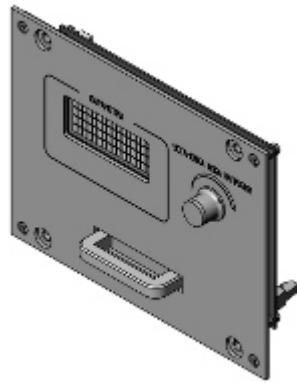


Рисунок 47 — Модуль управления

Внутри стенда испытательной нагрузки расположены три съемных модуля нагрузки, что позволяет при необходимости изменить сопротивление нагрузочных резисторов для уменьшения или увеличения выходных параметров. Резисторы расположены отводящем тепло радиаторе.

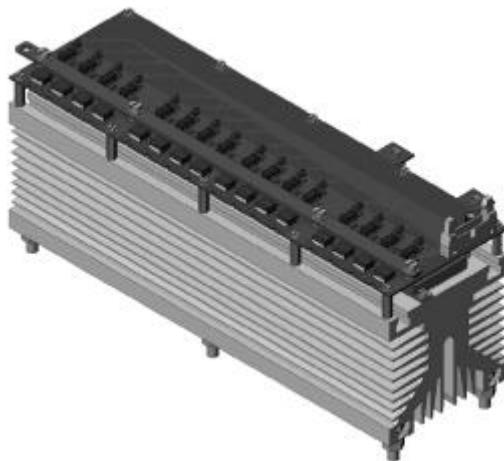


Рисунок 48 — Модуль нагрузки

Плата ключа также съемная. Она расположена на стойках над нагрузочными резисторами. Напротив каждого транзистора имеется отверстие. Оно сделано таким образом, чтобы уменьшить длину проводника, соединяющего транзистор с нагрузочным резистором. Помимо этого, на плате предусмотрены крепления для шунта.

На задней панели устройства расположены выходные разъемы, через которые стенд соединяется с испытываемыми источниками питания.

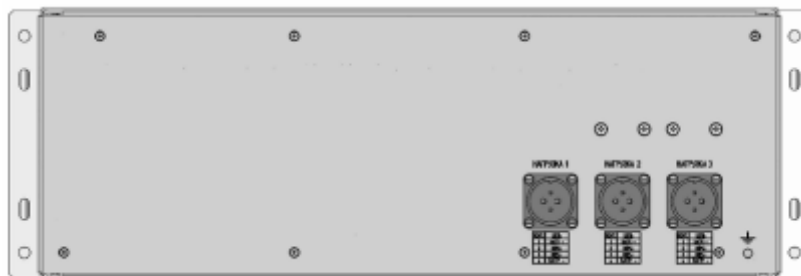


Рисунок 49 — Устройство испытательной нагрузки. Вид сзади

ГОСТ 12.2.007.0 - 75 [2] устанавливает требование безопасности и конструкции электротехнических изделий.

ГОСТ 12.2.007.0 - 75 устанавливает использование:

- изоляцию токоведущих частей;
- безопасное напряжение в электрических цепях;
- элементы для осуществления защитного заземления металлических нетокведущих частей изделия;
- элементы, отключающие изделие от сети.

ГОСТ 12.2.007.0 – 75 устанавливает классы защиты от поражения электрическим током.

Разработанное устройство относится к 1 классу защиты от поражения электрическим током. В данном устройстве защита от поражения электрическим током обеспечивается основной изоляцией и соединением открытых проводящих частей, доступных для прикосновения, с защитным проводником стационарной проводки. Доступные для прикосновения металлические детали, которые могут оказаться под напряжением в случае повреждения изоляции, соединяются с заземляющим зажимом.

Заземление корпуса испытательной нагрузки осуществляется с помощью специальной жилы питающего кабеля, которая не должна одновременно служить проводником рабочего тока. Для нулевого рабочего провода используется другая кабель.

Установка заземления на токоведущие части проводится при полной проверки отсутствия напряжения.

Монтаж блоков устройства производится согласно указаниям технической документации на эти блоки.

Перед каждым использованием испытательной нагрузки и необходимо проверять правильность сборки схемы и надежность рабочих и защитных заземлений.

При работе с электронной нагрузкой запрещается:

1. подключать испытательную нагрузку к электрической сети общего пользования;
2. работать с электронной нагрузкой при наличии особо неблагоприятных условий;
3. присоединять и отсоединять электронную нагрузку при наличии на ней напряжения и отсутствии заземления;
4. соединение с источником напряжения при внезапной остановке электронной нагрузки, при ее перемещении с одного рабочего места на другое, а также при перерыве работы;
5. проводить все испытания с момента снятия заземления с вывода испытательной нагрузки.

Если во время работы обнаружится неисправность электронной нагрузки или работающий с ним почувствует действие электрического тока, перегрев частей и деталей электронной нагрузки или запах тлеющей изоляции

электропроводки, работа должна быть немедленно прекращена, а электронная нагрузка должна быть сдана для проверки и ремонта.

ГОСТ 14254 – 2015 [2] устанавливает степень защиты устройства от пыли и влаги. Устройство относится к стандарту IP 40. Предусмотрена защита от частиц размером 1мм и более, а также от вертикально падающих капель воды.

При обнаружении на металлических частях корпуса электронной нагрузки напряжения необходимо отсоединить электронную нагрузку от ИП.

По окончании работы с электронной нагрузкой необходимо отключить ее от источника напряжения.

При полном окончании испытаний необходимо отсоединить провода от испытательной установки.

Таким образом, учитывая предъявленные выше требования, было разработано устройство испытательной нагрузки. В настоящее время устройство эксплуатируется, и никаких нарушений при его проектировании не выявлено.

#### Литература

6. Рассказа Д.С., Шляхтова М.С. Разработка стенда испытательной нагрузки// ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2020 (микроэлектроника и оплотехника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями). Сб. трудов X -ой Нац. науч.-техн. конф. с межд. уч. В 3 т. Т 2. Смоленск: «Универсум», – 2020. — С.203-207;
7. ГОСТ 12.2.007.0 - 75. «Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.»
8. ГОСТ 14254 – 2015. «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками»

*А.С. Рыжиков, студ.; Р.А. Могилевец, студ., д.т.н, проф. И.В. Якименко  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИТАРНОГО УСИЛИТЕЛЯ**

Гитарный усилитель — это электронное усилительное устройство, необходимое при использовании электрических (электронных) музыкальных инструментов, в частности, электрогитары.

При разработке гитарного усилителя нужно учитывать ряд электротехнических параметров, необходимых для качественного звуковоспроизведения.

Одним из важнейших параметров является выходная мощность – это параметр, который характеризует возможности усилителя. Причем, для полного понимания значения параметра, необходимо указывать при каком активном  $R_n$  эта мощность достигается. Существует несколько видов мощности, а именно:

- Музыкальная мощность – мощность, развиваемая усилителем за короткий промежуток времени (порядка 1 мс), и не приводящая к выходу усилителя из строя.

- Номинальная мощность – мощность, гарантирующая нормированный коэффициент гармоник.



- Максимальная мощность – мощность, обеспечивающая суммарный коэффициент гармоник в 10% на средней частоте.

Как правило, для того, чтобы измерить параметры усилителя, на его вход подают синусоид с одной и той же амплитудой. Учитывая динамичный характер музыкальных произведений с многократным изменением уровня громкости в пределах одного произведения, номинальную мощность следует признать максимальной для воспроизведения музыки, а средняя мощность комфортного прослушивания окажется в несколько раз ниже.

В первом приближении качество усилителя описывают введением общего КНИ. КНИ - это коэффициент нелинейных искажений, который часто называют коэффициентом гармонических искажений. Формула, расчета КНИ представлена ниже:

$$\text{КНИ} = \frac{\sqrt{U_{2f}^2 + U_{3f}^2 + U_{4f}^2 + U_{5f}^2 + \dots}}{U_f}$$

Этот параметр приводят в технических спецификациях всех промышленных усилителей [2].

Человеческое ухо может генерировать собственные частоты, называемые гармониками. Ауральный спектр гармоник - это понятие, обозначающее зависимость относительной интенсивности гармоники (генерируемой нашим ухом), от частоты.

При уровнях громкости выше низкого уровень второй гармоники составляет от 1 до 10 %, а уровни гармоник, отличных от второй, резко снижаются с ростом номера гармоники. При создании критерия, который мог бы показать, что воспроизведение мелодии будет высокого качества, Чивер использовал выводы исследований Ольсона в области гармоник, вырабатываемых человеческим ухом. Данный критерий звучит так: для восприятия мелодии как естественного звучания высокого качества, необходимо, чтобы ауральный спектр гармоник был выше, чем спектр гармонических искажений аппаратуры, воспроизводящей звук.

На рисунке представлен ауральный спектр гармоник, созданный Чивером для громкости уровня от семидесяти до ста дБ. За 100% принят уровень первой гармоники (основного тона) (рисунок 1).

Акустические системы, которые мы используем, создают уровень в пределах от 86 до 90 дБ при использовании мощности 1 Вт. Диапазон в пределах от 70 до 100 дБ может быть примерно применен к прослушиванию музыки дома. Критерий Чивера поддерживает идею, что гармонические искажения становятся заметнее с возрастанием номера гармоники. При этом Чивер указывает границы заметности для человеческого уха гармонических искажений: начиная от 1% для 1-ой гармоники до 0,00001% для 6-ой и меньше для более высоких гармоник. Восприятие ухом высших гармоник находится на уровне примерно 0,0001%, следовательно, данные о низком коэффициенте гармоник не являются однозначным показателем правильности звучания [3].

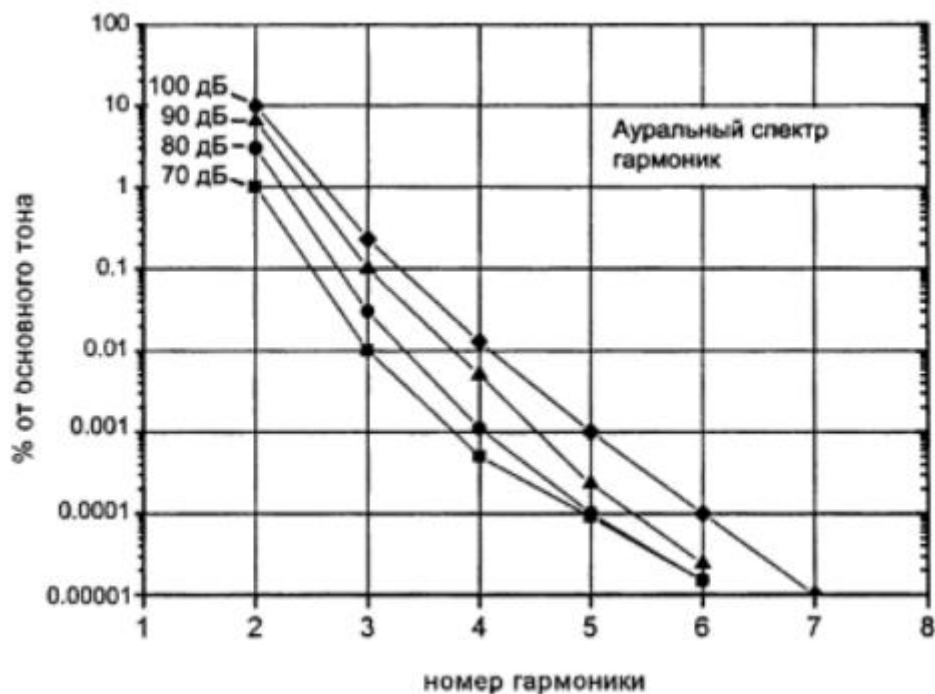


Рисунок 1 – Спектр гармоник

В то же время высокий коэффициент гармоник (1.5%) далеко не является критерием низкокачественного звучания усилителя. Поэтому наиболее достоверным методом оценивания аппаратуры с точки зрения звучания является анализ спектра гармоник. Этот метод оценки необходимо выполнять в спектральном диапазоне, верхняя граница которого ниже аурального спектра, а нижняя граница – выше чувствительности измерительной аппаратуры. Помимо Чивера, Торстен Леч так же отметил, что прямонакальные триоды обладают спектром гармоник ниже аурального.

Если подать на вход усилителя сразу несколько гармонических (синусоидальных) сигналов, то возникнут интермодуляционные искажения. Такие искажения представляют собой напряжение суммарных (а также разностных или комбинированных) частот по отношению к частотам, которые содержались в сигнале на входе. Анализом интермодуляционных искажений можно считать попытку приближения к сложному сигналу в ходе испытаний различных усилителей [1]. В основном используются 2 метода определения такого рода искажений. Первый заключается в следующем: на вход подаются два сигнала, один с частотой 7 кГц, а второй – 60 Гц. Данный метод иногда является одним из стандартных тестов производителей усилителей. Второй метод: на вход подается два сигнала с частотами 19 кГц первый и 20 кГц – второй. Математически доказано, что интермодуляционные искажения однозначно определяются спектром гармонических искажений.

Таким образом, в работе рассмотрены и проанализированы такие важнейшие параметры гитарных усилителей, как выходная мощность, ауральный спектр гармоник и коэффициент гармонических искажений. Полученные в ходе анализа сведения могут помочь осуществить выбор компонентов и методологии разработки гитарного усилителя.

#### Литература

1. Лихачев В.Д. Практические схемы на операционных усилителях. – М.: ДОСААФ, 1981. – 76 с.
2. Марше Ж. Операционные усилители и их применение. Пер. с франц. Ленинград. – М.: «Энергия», 1974. – 54 с.
3. Петин Г.П. Транзисторные усилители, генераторы и стабилизаторы. – М.: «Энергия», 1978. – 81 с.

*В.А. Смолин, к. т. н., ст. преп.; Д.Д. Мартынов, маг.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА С ПИТАНИЕМ ПО ТОКОВОЙ ПЕТЛЕ**

Токовая петля 4-20 мА широко распространена на производствах разного рода деятельности, так как в теории с помощью нее можно передавать информацию с различных датчиков, например, температуру окружающей среды или концентрацию определяемого компонента в среде, на неограниченное расстояние без искажений, а также при отсутствии тока в петле легко диагностировать обрыв линии связи. Актуальность разработки устройства с питанием по токовой петле обусловлена тем, что в настоящее время, многие устройства, имеющие интерфейс токовой петли, также имеют отдельное питание и цифровой интерфейс для связи с управляющими устройствами, что требует протягивать от управляющего до целевого устройства 4-6 проводов, в то время как устройству с питанием по токовой петле требуется всего 2 провода.

В данной работе ставится цель разработать структурную и принципиальную схемы микропроцессорного устройства с питанием по токовой петле 4-20 мА, обладающее цифровым интерфейсом HART, а также осуществить выбор электронных компонентов для реализации устройства.

Разрабатываемое устройство должно соответствовать следующим техническим и функциональным характеристикам:

1. Напряжение питания 16 – 32 В;
2. Диапазон регулирования тока в петле 4 – 20 мА;
3. Цифровой интерфейс связи основанный на HART – протоколе.

На рисунке 1 изображена структурная схема устройства.

Так как устройство в любой момент времени должно иметь возможность установить ток в петле равный 4 мА, общее потребление прибора не должно превышать это значение при любом допустимом напряжении питания. Следовательно, максимально допустимая потребляемая мощность устройства равна:

$$P_{\min} = 4 \text{ мА} \cdot 16 \text{ В} = 64 \text{ мВт}$$

С учетом этого, максимальный ток, потребляемый элементами схемы, без учёта КПД регулятора, при минимальном напряжении питания, равен:

$$I_{\max} = 64 \text{ мВт} / 3.3 \text{ В} = 19 \text{ мА}$$

Учитывая, что устройство, питающееся по токовой петле 4 – 20 мА имеет строго ограниченный допустимый ток потребления, следует выбирать

максимально энергоэффективные, и малопотребляющие элементы схемы, позволяющие обеспечить требуемый функционал [1].

В качестве регулятора напряжения была выбрана микросхема ADP2360ACPZ-3.3-R, которая в диапазоне питания 16 - 32 В, имеет КПД 80 - 90 %.

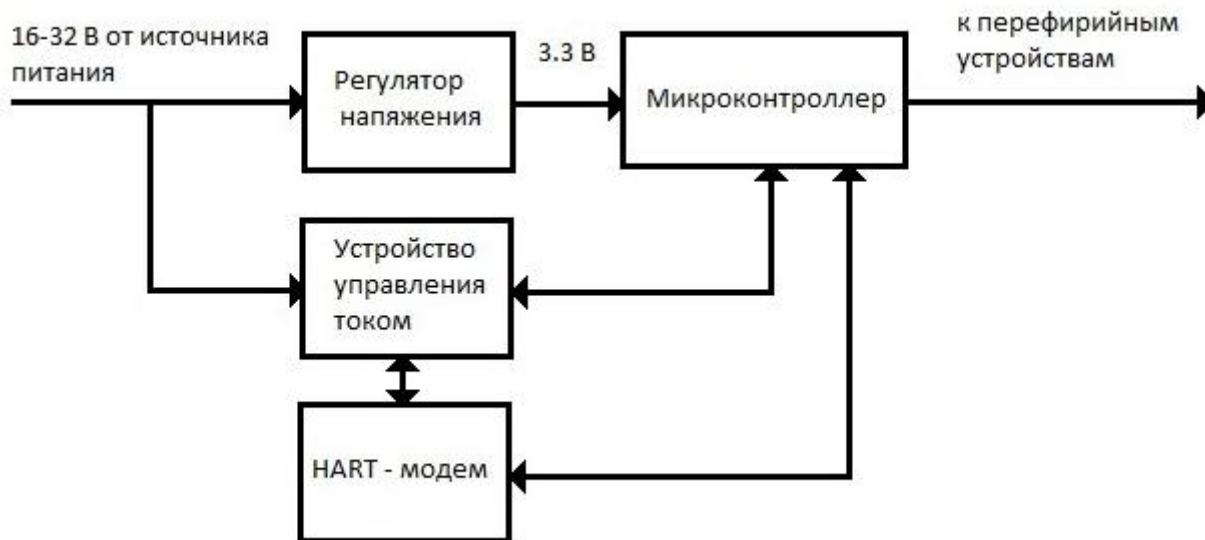


Рисунок 1 — Структурная схема устройства с питанием по токовой петле

Основным элементом управления был выбран микроконтроллер STM32L151CBT6A, так как микроконтроллеры серии STM32L имеют одно из наименьших значений энергопотребления на современном рынке, за счёт гибкой настройки источников тактирования и внутренних периферийных устройств. Минимальное значение тока потребления микроконтроллера может достигать всего 500 мкА.

Для управления током в петле была выбрана специализированная микросхема ЦАП AD5421BREZ, управляемая с помощью микроконтроллера через интерфейс SPI. Данная микросхема измеряет ток, протекающий в петле, и с подстраивает его под значение, заданное микроконтроллером.

Для связи с внешними устройствами был выбран приёмопередатчик AD5700-1BCPZ-RL7, который осуществляет преобразование сигналов UART - HART.

В качестве периферийных устройств могут служить различные датчики [2], светодиодные индикаторы, LCD – экраны или кнопки управления.

На рисунке 2 изображена принципиальная схема устройства.

Подключение токовой петли осуществляется посредством пайки к контактным отверстиям XT1 и XT2, программирование микроконтроллера осуществляется с помощью разъема X1.

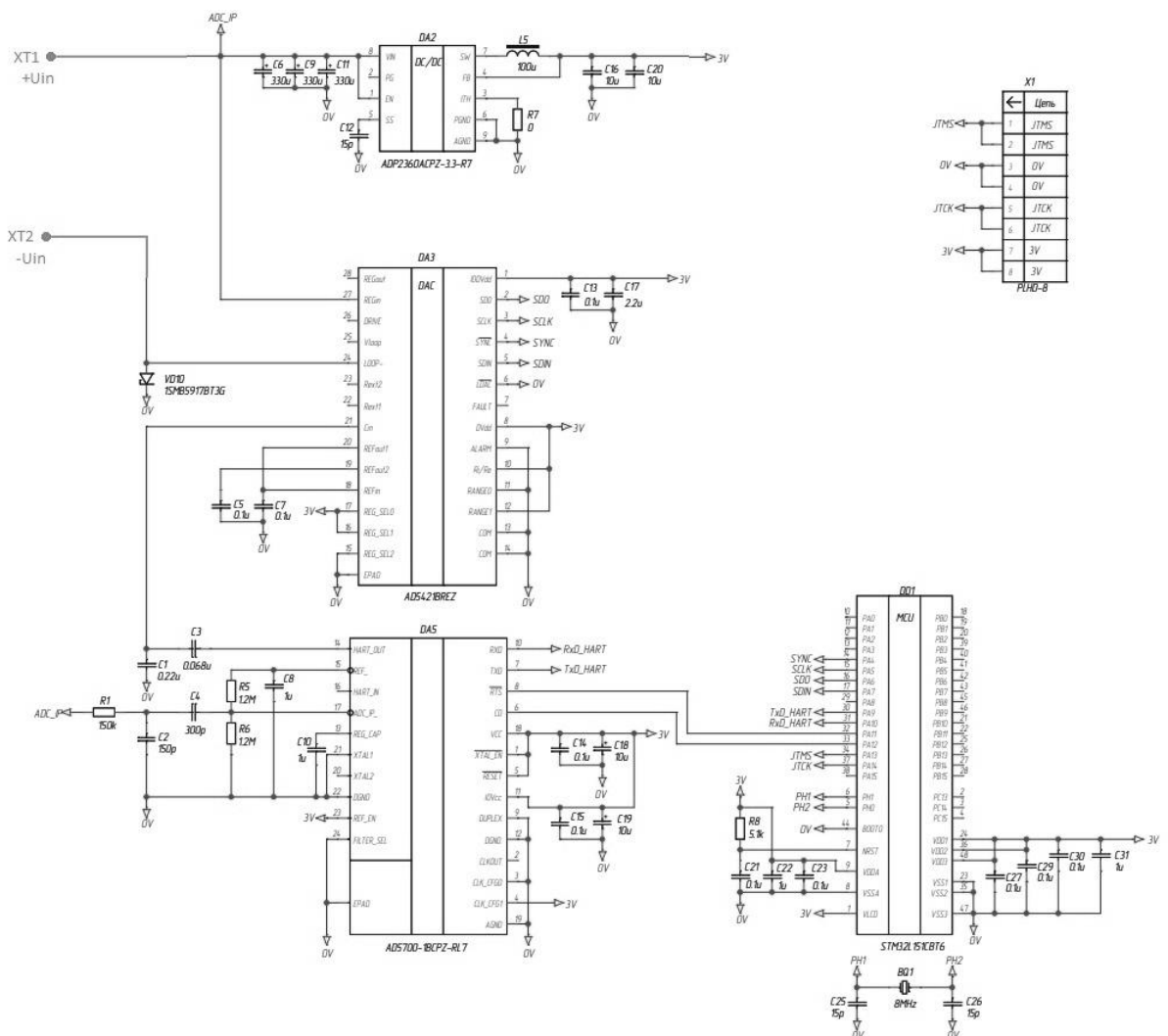


Рисунок 2 — Принципиальная схема устройства с питанием по токовой петле

Таким образом были разработаны структурная и принципиальная схемы микропроцессорного устройства с питанием по токовой петле, а также был произведен подбор компонентов для реализации устройства. С помощью полученных результатов можно собрать макет устройства, а также произвести модернизацию устройства для удовлетворения конкретных нужд, за счёт добавления различных периферийных устройств и изменения программы для микроконтроллера.

#### Литература:

1. Аверченков О. Е. Схемотехника: аппаратура и программы/ О.Е. Аверченков — С.: ДМК пресс, 2012. — 587 с.
2. Михеев В.П., Просандеев А.В. Датчики и детекторы: Учебное пособие. / Михеев В.П., Просандеев А.В. – М.: МИФИ, 2007. – 172 с.

*Ю.Н. Снытко  
(ФГУП «СПО «Аналитприбор», г. Смоленск)*

*В.И. Бобков, д.т.н., доцент  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Целью работы является выбор и исследование параметров приемников инфракрасного (далее-ИК) излучения используемых в качестве приемников оптического излучения (далее-ПОИ) в оптико-электронных приборах.

При выборе и применении ПОИ отечественного производства целесообразно руководствоваться некоторыми общими практическими рекомендациями [34].

В сравнительном анализе ПОИ наибольшее значение уделялось спектральной чувствительности, квантовой эффективности или квантовому выходу, удельной обнаружительной способности, энергетическому и световому эквиваленту шума, отношению полезного сигнала к шуму, которое обеспечивается ПОИ.

Известно, что спектральную область работы приёмника определяет материал, из которого изготавливается чувствительный элемент. Спектральные характеристики приёмников различных типов приведены на рисунке 1. В ИК-области спектра определенными преимуществами обладают тепловые приёмники излучения. Такие приёмники чувствительны в очень широкой области спектра, причем для них характерна равномерная чувствительность по спектральному диапазону. Однако их недостатком является в целом меньший уровень чувствительности и быстродействия по сравнению с фотонными приёмниками.

Принцип действия пироприёмника основан на том, что при тепловом воздействии на кристалл сегнетоэлектрика на поверхности кристалла образуются электрические заряды [35, 36].

Сегнетоэлектрики относятся к классу полярных диэлектриков, у которых направление спонтанной поляризации можно изменять приложением электрического поля. Поэтому их можно рассматривать как подкласс пироэлектриков. Температура  $T_k$  (сегнетоэлектрическая точка Кюри, далее по тексту - ТК) является температурой фазового перехода, ниже этой температуры сегнетоэлектрик обладает доменной структурой и характерными сегнетоэлектрическими свойствами; выше этой температуры происходит распад доменной структуры и сегнетоэлектрик переходит в параэлектрическое состояние. Следствием доменного строения сегнетоэлектриков являются нелинейная зависимость их поляризованности или электрической индукции от напряженности электрического поля, которая носит название диэлектрической петли гистерезиса, и резко выраженная температурная зависимость диэлектрической проницаемости, в которой максимум диэлектрической проницаемости достигается при температуре, соответствующей ТК.

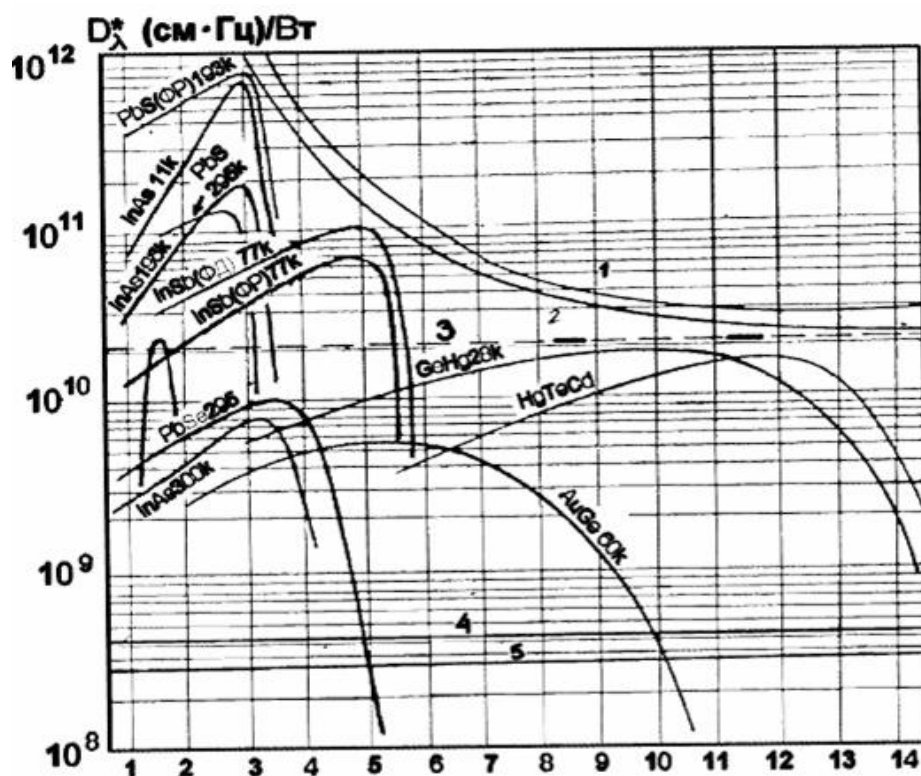


Рисунок 1 - Спектральные характеристики приёмников разных типов

1 — идеальный приёмник с p-n-переходом; 2 — идеальный фоторезистор; 3 — идеальный тепловой приёмник; 4 — термисторный болометр; 5 — термоэлемент; ФД — фотодиод; ФР — фоторезистор

В настоящее время в электронных приборах используется большое количество разнообразных сегнетоэлектриков. Важнейшими пироэлектриками являются следующие сегнетоэлектрики: триглицинсульфат и изоморфные ему кристаллы (выращиваются со специальными примесями с целью монодоменизации), ниобат и танталат лития (поляризуются токовым смещением при выращивании кристалла), тонкие пленки нитрата калия в сегнетоэлектрической фазе (вблизи 723 °С), а также керамические титанат свинца и цирконат-титанат свинца с различными добавками.

Пироэлектрические свойства сегнетоэлектриков обусловлены, в основном, первичным пироэффектом. Вблизи точки Кюри, когда температурное изменение спонтанной поляризованности оказывается нелинейным, пирокоэффициент достигает температурного максимума и пироэффект может быть использован с максимальной эффективностью.

Вторую важную группу пироэлектрических кристаллов составляют так называемые линейные пироэлектрики. К этим пироэлектрикам относятся монокристаллы типа сульфида кадмия CdS (соединения типа АІВІV со структурой вюрцита), а также сульфат лития, тетраборат лития и др. Важно отметить, что в линейных пироэлектриках вклад от вторичного пироэффекта сравнительно велик и может превосходить вклад от первичного пироэффекта.

Примечательно, что кристаллы, обладающие максимальной чувствительностью по пирокоэффициенту, не относятся к термостабильным.

Как правило, это сегнетоэлектрики с ТК, расположенной в окрестности 573 °С (таблица 1). Пироэлектрический коэффициент максимален вблизи ТК, так как в этой области температур резко изменяется спонтанная поляризованность [36].

Если использовать в качестве пиродетекторов кристаллы с максимальным пирокоэффициентом, т.е. триглицинсульфат (TGS), дейтерированный триглицинсульфат (DTGS), стронций-барий-ниобат ( $\text{Sr}_{1/2}\text{Ba}_{1/2}\text{Nb}_2\text{O}_6$ ), то чувствительные приемники потребуют внешней термостабилизации. Не отличаются термостабильностью характеристик и сегнетоэлектрические кристаллы титаната бария ( $\text{BaTiO}_3$ ) и германата свинца ( $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ ), имеющие довольно низкие значения температуры ТК (соответственно 673 °С и 723 °С).

Таблица 1 - Основные параметры пироэлектриков, которые используются для изготовления сенсоров (данные при комнатной температуре)

| Пироэлектрик  | Точка Кюри<br>$T_k, ^\circ\text{C}$ | Пирокоэффициент<br>$\gamma,$<br>$10^{-5} \text{хКл}/(\text{м}^2\text{К})$ | $\gamma/C_v=S_i,$<br>$10^{-11} \text{А}\cdot\text{м}/\text{Вт}$ | $\gamma/(C_v\varepsilon')=\varepsilon_0S_v,$<br>$10^{-12} \text{А}\cdot\text{м}/\text{Вт}$ |
|---|-------------------------------------|---|---|--|
| TGS   | 49                                  | 40  | 16  | 4,6  |
| DTGS  | 61                                  | 27  | 10,8  | 6,0  |
| LaTGS   | 49,5                                | 70  | 27,5  | 7,8  |
| DLaTGS  | 49,2                                | 25  | 9,8   | 4,5  |
| TGFB  | 73,8                                | 21  | 12,5  | 8,3  |
| $\text{LiTaO}_3$                                      | 618                                 | 22  | 6,9   | 1,3  |
| $\text{LiNbO}_3$                                      | 1210                                | 8   | 2,9   | 0,9  |
| $\text{Sr}_{1/2}\text{Ba}_{1/2}\text{Nb}_2\text{O}_6$ | 116                                 | 60  | 25,6  | 0,6  |
| PLZT (6/80/20)  | 120                                 | 76  | 29  | 0,3  |
| PLZT (4/65/35)  | 225                                 | 52  | 20  | 0,3  |
| ПКД 33/14   | 420                                 | 17  | 5,3   | 2,0  |

Напротив, весьма термостабильны в токовом режиме кристаллы танталата лития ( $\text{LiTaO}_3$ ) и ниобата лития ( $\text{LiNbO}_3$ ), а также кристаллы стибиониобата свинца ( $\text{SbNbO}_4$ ), но последние недостаточно разработаны технологически. Чувствительность по току пироэлектрических элементов, изготавливаемых из танталата и ниобата лития, на порядок уступает кристаллам СБН и ТГС.

Пироприёмник не нуждается в источнике питания, что является большим достоинством данного приёмника. Еще одна особенность пироприёмника заключается в том, что пироэлектрический ток возникает при изменении скорости прироста температуры нагрева приёмного элемента, это объясняет малую инерционность пироприёмника по сравнению с другими тепловыми приёмниками [34].

Вторым основным достоинством пироприёмника является независимость порога чувствительности от величины площади приёмной площадки.

Пироприёмник является тепловым неселективным приемником с коэффициентом использования приемником излучения равным 1.

Из пироприёмников выпускаемые отечественной промышленностью, наилучшими параметрами чувствительности обладают ПП-82.

График зависимости относительной чувствительности пироприёмника ПП-82 от частоты модуляции потока ИК-излучения приведен на рисунке 2.



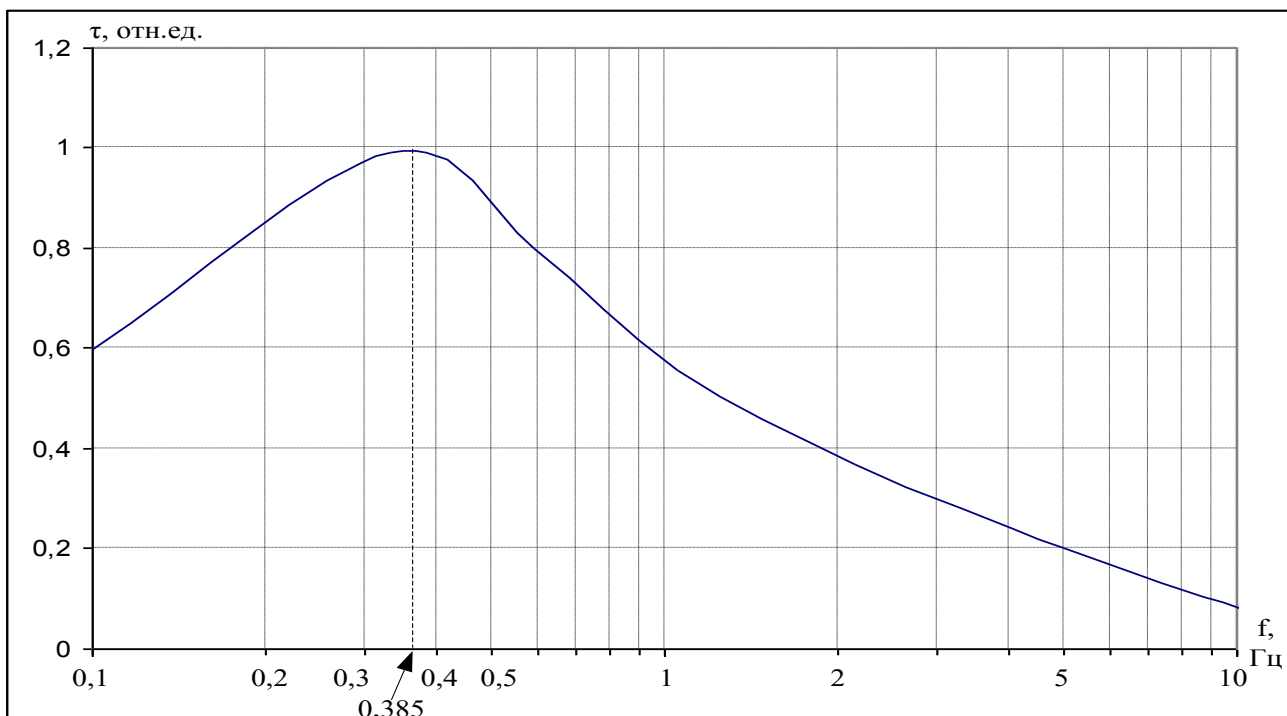


Рисунок 2 – Зависимость относительной чувствительности пироприемника ПП-82 от частоты.

Анализируя зависимость, приведенную на Рисунке 2 можно сделать вывод, что максимальная чувствительность пироприемника ПП-82 соответствует частоте модуляции ИК-излучения 0,385 Гц.

Пироприёмники по величине интегральной вольтовой чувствительности ненамного уступают ПОИ на внутреннем фотоэффекте, но при этом не требуют охлаждения, что является определяющим для многих вариантов применения ПОИ.

#### Литература

1. Ишанин Г. Г. Приёмники оптического излучения / Г.Г. Ишанин, В.П. Челибанов. – СПб.: Лань, 2014. - 304 с.
2. Козелкин В. В. Основы инфракрасной техники / В. В. Козелкин, И. Ф. Усольцев. - М.: «Бином», 2002. - 321 с.
3. Поплавко Ю. М. Физика активных диэлектриков / Ю. М. Поплавко, Л. П. Переверзева, И. П. Раевский. - Ростов-на-Дону: Издательство Южного Федерального университета, 2009. - 428 с.

*Н.Н. Строев, к.т.н., доц.; А.О. Козенова, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ**

В настоящее время одной из важных задач, решающих человечеством, является контроль, правильное распределение и использование водных ресурсов. Гидрометрия представляет собой раздел гидрологии, в котором рассматриваются методы наблюдений за режимом водных объектов, применяемые при этом устройства и приборы, а также способы обработки результатов наблюдений. В задачи гидрометрии входят измерения скоростей

течения. Определение скоростей необходимо для учета расхода воды, а также при изучении течений для нужд судоходства, строительства гидротехнических сооружений (плотины, ГЭС и т.п.), решения ряда научных и практических задач, картографии и т.п.

Оценка водных ресурсов служит основой для их рациональной эксплуатации, но существуют некоторые затруднения в связи с требованиями более точных и надежных информации, так как гидрологические службы и другие организации менее успешно справляются с поставленными задачами. Стационарные контрольно-измерительные станции обычно устанавливаются вблизи гидротехнических объектов и позволяют полностью контролировать необходимые параметры водоемов в непрерывном режиме. Большая часть водоемов, рек, ручьев непрерывного контроля не имеют, а периодический контроль затруднен вследствие отсутствия соответствующей инфраструктуры. Существенное значение в этом плане имеет развитие мобильных систем для измерения параметров течения, глубины водоемов, химического состава воды имеющие возможности быстрой доставки и автоматического использования в любой географической точке с использованием средств беспилотной авиации.

Актуальность исследования заключается в поиске функционального оборудования для измерения скорости течения поверхностных вод с обязательным условием возможности мобильного применения.

Цель исследования — сравнение существующих методов измерений и оборудования, используемого при измерении скорости течения, определение перспективных направлений развития мобильных устройств и соответствующих возможностей их разработки.

В ходе исследований оценивалась функциональность метода измерения скорости течения, возможности и границы технической реализации и факторы, связанные с требованиями мобильного применения. В настоящее время для данного вида техники наиболее часто используются следующие методы:

- метод, основанный на подсчете и регистрации числа оборотов лопастного винта или ротора, вращение которого обусловлено течением жидкости
- метод, в основании которого положен эффект Доплера при распространении волновых колебаний в потоке жидкости,
- метод, использующий принципы теплообмена в условиях охлаждающего потока жидкости.

Указанные методы вполне подходят для измерения скорости течения воды в открытых водоемах и реализованы во многих устройствах для стационарных контрольно-измерительных систем

Гидрометрическая вертушка используется в методе при регистрации общего оборота ротора, где в дальнейшем учитывается длительность проведения измерения. Этот метод считается самым распространенным и надежным способом необходимого измерения скорости течения. Поток непосредственно действует на вращающийся элемент устройства, преобразуя энергию потока в электрические сигналы для последующей регистрации и обработки. Следует отметить хорошую точность и широкий диапазон измерений, слабая

зависимость результатов от температуры и неоднородности проходящего потока.

Существует много типов и конструкций гидрометрических вертушек, различающихся размерами, устройством лопастного винта, устройством контактного и счетного механизмов, способом опускания в воду и прочее.

Повсеместное распространение гидрометрических вертушек, их непрерывное развитие, постепенно привело вытеснению других методов измерений. Можно выделить следующие достоинства приборов указанного метода:

- приборы недорогие, от 120000 можно приобрести измеритель скорости потока с регистратором, а от 50000 — купить вертушку [1,2],
- не сложная конструкция, отработанные методы технической реализации;
- относительно небольшой вес. В среднем вес моделей вертушек с приемлемыми точностными характеристиками варьируется от 0,5-2 кг,
- относительно малые габариты.

Однако, следует отметить и ряд недостатков:

- в большинстве моделей погрешность составляет 5-6%, что не всегда приемлемо, критично расположение вращающегося элемента относительно направления течения потока воды,

- попытки компенсировать недостаток в показателе компонентности (способность измерять поток, направленный под углом к лопастям) всегда оказывают негативное влияние на инерционность и чувствительность прибора,

- отсутствие бесперебойной работы в сложных условиях (мороз, повышенная минерализация воды и т.д.) [4],

- в процессе измерения вертушку следует часто осматривать и очищать, так как существует возможность наматывания водорослей или ее повреждения от мусора и песка, т.е. требуется постоянное обслуживание при эксплуатации.

Требование мобильного применения не однозначно реализуются в подобных приборах именно за счет необходимости контроля обслуживания в ходе применения в открытых водоемах, фиксации в направлении потока.

Метод, в основании которого положено применение эффекта Доплера, заключается в использовании изменения частоты волновых колебаний при отражении от частиц потока жидкости, которые регистрируются одним или несколькими приёмниками и затем подвергаются математической обработке для расчета скоростных параметров.

Акустические доплеровские измерители скорости течения (АДИС) делят водный столб по вертикали на множество дискретных, сегментов, называемых «ячейками глубины». Для получения вертикального профиля скоростей отраженный импульс обрабатывается для каждой «ячейки глубины». Отраженный сигнал оцифровывается в массив точек. На основании данных вычисляются характеристики водного потока в локальной точке и по всей глубине.

Достоинства:

- высокая чувствительность и точность измерений. Прибор может измерять при низкой скорости потока (до 0,001 м/с), при этом погрешность измерений около 1% или до 0,25 см/с,

- поскольку излучаемый звук может проникать на довольно большую глубину, АДИС способен определить скорость и направление течения от поверхности до значительной глубины,

- минимальное влияние загрязнения среды и местной турбулентности,

- метод позволяет проводить измерения скорости течения вод без вмешательства пользователя с высокой точностью и высокой частотой,

- не требуется помещать датчики непосредственно в поток на заданную глубину, так как скорость определяется по рассеянию ультразвука на неоднородностях среды (пузырьки газа, капли жидкости, не смешивающиеся с основным потоком и т.д.). Датчик может располагаться в приповерхностном слое.

Недостатки:

- высокая цена аппаратуры и программного обеспечения, начальная цена за прибор требуемой функциональности около 1000000 рублей;

- из-за достаточно больших размеров (средняя длина прибора около 40 см) вносит возмущение в измеряемую среду, что не всегда допустимо;

- пользователь должен настроить оборудования непосредственно перед началом работы;

- необходимость к значительному усложнению прибора для обеспечения помехоустойчивости работы прибора;

- мобильное применение затруднено массогабаритными показателями, следует учитывать так же риск потери дорогостоящего оборудования.

Массовое применение приборов с доплеровскими измерителями скорости течения в мобильных системах ограничено с учетом недостатков. Хотя в случаях необходимости проведения точных измерений в сложных структурированных потоках подобные приборы практически не имеют альтернатив.

В методе, использующий принцип теплообмена, для измерения скорости потока применяются приборы, которые в качестве рабочего органа имеют нагреваемый элемент, который должен вводиться непосредственно в поток. В качестве элемента в термогидрометрах используют платиновую проволоку или полупроводниковые терморезисторы с прямым или косвенным подогревом.

В основе работы подобных систем используется измерение изменения температуры рабочего элемента под действием потока жидкости либо отслеживание «теплового следа», распространяющегося от нагретого элемента во временном диапазоне. Нагревая датчик до температуры, большей, чем температура окружающей среды, определяется его охлаждение за счет обтекания потоком жидкости путем измерения сопротивления датчика. Затем рассчитывается скорость потока и объем прошедшей через датчик жидкости..

Измерительный элемент может нагреваться непосредственно протеканием электрического тока, либо косвенно – с применением дополнительного нагревателя. Определенную сложность составляет отслеживание

температурного фона рабочей среды, поскольку метод предполагает проведение измерений температуры с очень высокой точностью с малой инерционностью и точечной локализацией. Поэтому конструкция датчиков для указанных систем крайне важна и во многом определяет достигнутые характеристики.

Достоинства метода:

- относительно низкая цена оборудования и программного обеспечения;
- предельно малые габариты и масса;
- недорогие и недефицитные элементы датчиков;
- возможность автоматизации измерений и отсутствие необходимости постоянного обслуживания при мобильном использовании

К недостаткам можно отнести:

- требование к высокой точности измерения температуры увеличивает сложность приборов;
- конструкции датчиков узко специализированные для локальных потоков, для открытых потоков готовые решения практически отсутствуют.

В настоящее время системы с указанным методом используются в локализованных потоках (трубопроводы, средства водоотведения и т.п.). Для открытых потоков почти не используется из-за сложности реализации конструкции.

Однако несомненные преимущества позволяют считать возможным перспективу разработки приборов с использованием данного метода путем совершенствования электронных устройств для измерения температуры датчиков и оптимизации конструктивных решений. С учетом новых технических решений, новый прибор может иметь оптимальные характеристики, такие как диапазон изменений скорости течения, погрешность, вес, габариты, стоимость и т.д.

Таким образом, любой из методов измерения скорости течения может быть использован для мобильных применений, однако окончательный выбор будет зависеть от временных и материальных ресурсов гидрологических служб и других организаций.

Актуальность разработки нового оборудования, развития средств измерений с применением рассмотренных методов несомненна. Для мобильных применений наибольший интерес представляет развитие систем на основе теплообменных процессов.

#### Литература

1. ГР-21М вертушка гидрометрическая (Измеритель скорости водного потока) — URL: [https://irk.pulscen.ru/products/gr\\_21m\\_vertushka\\_gidrometricheskaya\\_izmeritel\\_skorosti\\_vodnogo\\_potoka\\_96866914](https://irk.pulscen.ru/products/gr_21m_vertushka_gidrometricheskaya_izmeritel_skorosti_vodnogo_potoka_96866914) (дата обращения: 11.09.2021).
2. ИСП-1М – Измеритель скорости потока( гидрометрическая вертушка) с регистратором, цифровой индикацией показаний с выходом на ПК RS-232 ТУ 4312-001-02572345-2011 — URL: <http://pp-66.ru/katalog/gidrometeoribory/registratorov-izp-1m-1/> (дата обращения: 11.09.2021).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАТИНОВЫХ РЕЗИСТОРОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ

Актуальность исследования заключается в рассмотрении характеристик платиновых резисторов при использовании в методе измерения скорости течения использующий принципы теплообмена в условиях охлаждающего потока жидкости.

В методе, использующий принцип теплообмена, для измерения скорости потока применяются приборы, которые в качестве рабочего органа имеют нагреваемый элемент, который должен вводиться непосредственно в поток. В качестве рабочего элемента в термогидрометрах используют платиновую проволоку или полупроводниковые терморезисторы с прямым или косвенным подогревом.

В основе работы подобных систем используется измерение изменения температуры рабочего элемента под действием потока жидкости либо отслеживание «теплого следа», распространяющегося от нагретого элемента во временном диапазоне.

Использование такого метода перспективнее из-за следующих достоинств:

- относительно низкая цена оборудования и программного обеспечения;
- предельно малые габариты и масса;
- недорогие и недефицитные элементы датчиков;
- возможность автоматизации измерений и отсутствие необходимости постоянного обслуживания при мобильном использовании.

Таким образом, с учетом технических решений, такой прибор может иметь оптимальные характеристики, такие как диапазон изменений скорости течения, погрешность, вес, габариты, стоимость и т.д.

Цель анализа заключается в исследовании зависимости характеристик платинового резистора от скорости течения потока воды с помощью быстрого прототипирования датчика в исследуемой среде.

Применение платиновых резисторов обусловлено следующим рядом преимуществ:

- высокий температурный коэффициент сопротивления и удельное сопротивление ( $10,6 * 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$  и  $3,9 * 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  соответственно),
- высокая стойкость к окислению,
- высокой точностью (погрешность измерения температуры может достигать до  $0,013^\circ\text{C}$ ).

Однако такие резисторы достаточно дорогие и требуют дополнительный источник питания для задания тока через датчик [1].

В моделировании используется платиновый резистор *M 222*.

Данная серия резисторов известна своей долговременной стабильностью, точностью в широком диапазоне температур, вследствие чего применяется в

таких сферах, как автомобилестроение, климат-контроль, медицинское и промышленной оборудование и т.д.

Следует заметить, что жидкость не является измеряемой средой терморезистора, по этой причине перед использованием в водном потоке его необходимо изолировать [2].

Таблица 5 — Изменение характеристик при изменении напряжения входного делителя

| Напряжение, В     |                                 | Ток, А   | Сопротивление датчика, Ом |           | Относительный нагрев |           |
|-------------------|---------------------------------|----------|---------------------------|-----------|----------------------|-----------|
| входного делителя | на токосъемном резисторе 100 Ом |          | в воде                    | в воздухе | в воде               | в воздухе |
| 0.5               | 0.0424                          | 0.000424 | 1079,2                    | 1097,2    | 0                    | 0         |
| 1                 | 0.0845                          | 0.000845 | 1083,4                    | 1098,3    | 1.091                | 0.29      |
| 2                 | 0.1692                          | 0.001692 | 1082,0                    | 1099,2    | 0.73                 | 0.51      |
| 3                 | 0.2536                          | 0.002536 | 1083,0                    | 1112,5    | 1.09                 | 3.97      |
| 4                 | 0.3371                          | 0.003371 | 1086,6                    | 1127,5    | 2.70                 | 7.87      |
| 5                 | 0.4201                          | 0.004201 | 1090,2                    | 1137,3    | 2.86                 | 10.41     |

Таблица 6 — Изменение характеристик при изменении скорости водного потока

| Напряжение на входе, В | Скорость потока, м/с | Сопротивление датчика, Ом |
|------------------------|----------------------|---------------------------|
| 0,5                    | 0                    | 1082                      |
|                        | 0,4                  | 1082                      |
|                        | 0,5                  | 1082                      |
|                        | 0,6                  | 1082                      |
|                        | 0,7                  | 1082                      |
|                        | 0,8                  | 1082                      |
| 10                     | 0                    | 1098,2                    |
|                        | 0,4                  | 1089,7                    |
|                        | 0,5                  | 1087,5                    |
|                        | 0,6                  | 1086,9                    |
|                        | 0,7                  | 1086,3                    |
|                        | 0,8                  | 1082                      |
| 15                     | 0                    | 1111,6                    |
|                        | 0,4                  | 1104,8                    |
|                        | 0,5                  | 1102,1                    |
|                        | 0,6                  | 1101                      |
|                        | 0,7                  | 1099,2                    |
|                        | 0,8                  | 1090                      |

Использование прототипирования позволило получить следующие результаты, указанные в таблицах 1 и 2.

Из данных таблицы 1 видно закономерность увеличения всех указанных характеристик при повышении входного напряжения.

В таблице 2 исследовали зависимость сопротивления от изменения скорости потока и входного напряжения. Более детально данную зависимость можно рассмотреть на рисунке 1.

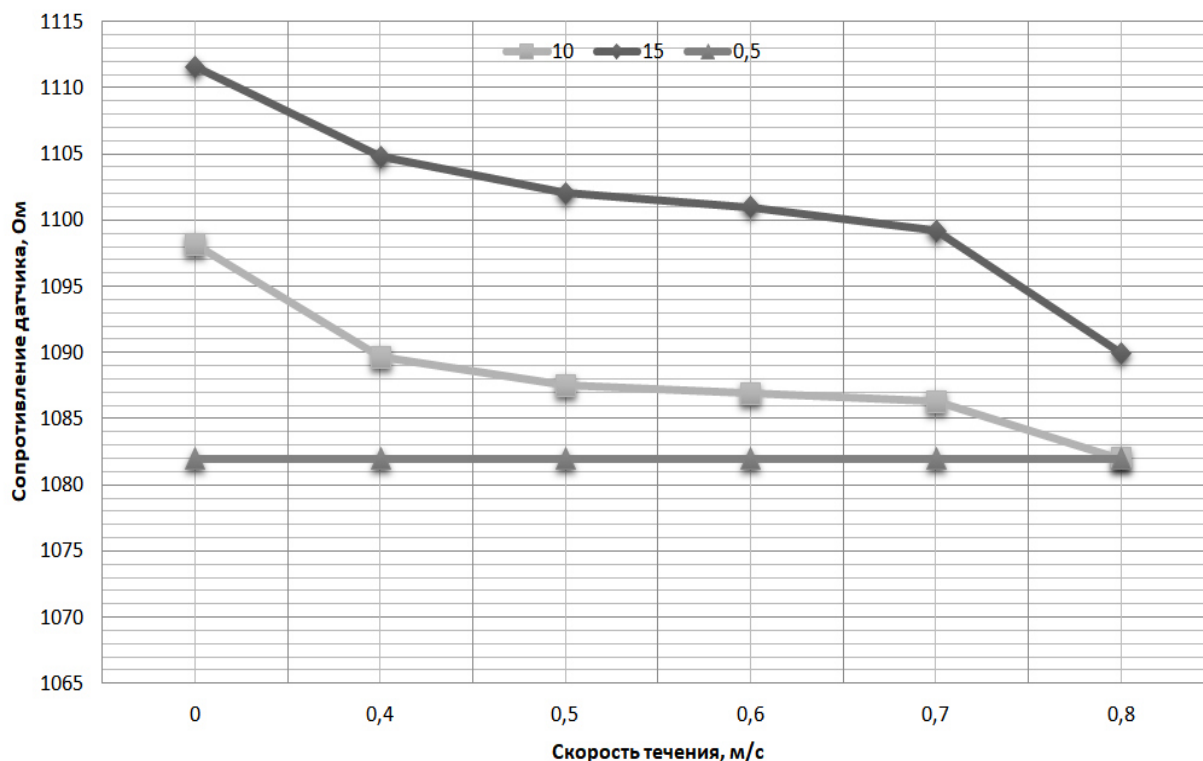


Рисунок 50 — График зависимости сопротивления датчика от скорости течения

Таким образом, использование платиновых резисторов в методе измерения скорости течения, который использует принципы теплообмена в условиях охлаждающего потока жидкости, способствует их высокая точность измерений, высокое удельное сопротивление и температурный коэффициент сопротивления, и практически линейная характеристика зависимости изменения сопротивления от скорости течения.

Тем не менее, не стоит не учитывать их дороговизну и сложность в разработки готового прибора, так как необходимо изолировать резистор от воды и предусмотреть дополнительный источник питания для задания тока через датчик.

#### Литература

1. Ограничения использования и погрешности платиновых термометров сопротивления согласно EN 60751: 2008 — URL: [https://www.wika.com/media/30\\_technical\\_information/russian\\_3/ds\\_in0017\\_ru\\_ru.pdf](https://www.wika.com/media/30_technical_information/russian_3/ds_in0017_ru_ru.pdf) (дата обращения: 22.09.2021).
2. *Platinum Resistance Temperature Detector* — URL: [https://www.mouser.com/datasheet/2/619/M222\\_HST-USA-1131469.pdf](https://www.mouser.com/datasheet/2/619/M222_HST-USA-1131469.pdf) (дата обращения: 20.09.2021).



## ВЫБОР ИНТЕРФЕЙСА СВЯЗИ ДЛЯ СИСТЕМ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32

Современный интерфейс – подразумевает совокупность программных средств и решений для обеспечения информационной, конструктивной и электрической совместимости связи между несколькими устройствами, входящими в состав цифровой информационной системы. Это понятие в свою очередь включает как аппаратную, так и логическую часть.

Аппаратная часть подразумевает физические линии связи между устройствами единой системы, а логическая – протокол, то есть набор специальных правил для обмена информацией между устройствами.

Интерфейсы можно разделить на: последовательные или параллельные, дифференциальные или обычные, синхронные или асинхронные. Параллельные это те, в которых группа битов передается за единичный квант времени, последовательные же передают биты поочередно. Синхронные интерфейсы ждут конца выполнения операций на чтение, либо запись информации, асинхронные могут работать в режиме параллельной записи и чтения без временных рамок.

Режим работы всех интерфейсов делится на: полный дуплекс, полудуплексный, симплексный. Полный дуплекс — это режим работы, в котором обмен данными происходит параллельно, в полудуплексном – прием или передача может проводиться только одним устройством, наконец симплексный режим подразумевает обмен данными только с разделением во времени.

Современные микроконтроллеры *STM32* имеют возможность работать сразу с несколькими интерфейсами связи, среди них, основными можно выделить следующие:

- Последовательный четырехпроводной интерфейс *SPI*
- Последовательный двухпроводной интерфейс *I<sup>2</sup>C*
- Универсальный синхронный/асинхронный приемопередатчик *USART*

Приведем краткое описание работы перечисленных интерфейсов.

### 1. *SPI (Serial Peripheral Interface)*

Последовательный четырехпроводной интерфейс *SPI* в своем составе имеет обычный сдвиговый регистр, работает в полнодуплексном, синхронном режиме. Условием передачи данных является генерация тактовой частоты. Интерфейс использует конфигурацию *Master* (ведущий) и *Slave* (подчиненный), по схеме возможен только 1 ведущий (например, микроконтроллер) и несколько ведомых устройств. При подаче тактового сигнала синхронизации на линию *SCL*, данные поступают от ведущего с выхода линии *MOSI*, в то время как для ответа, подчиненные устройства используют линию *MISO*. По линии *SS* происходит выбор устройства для установки связи (рис. 1). Подчиненное устройство на шине не имеет адреса. Интерфейс имеет 4 конфигурации работы: уровень

сигнала начала синхронизации (высокий/низкий), фронт выборки данных (передний/задний).

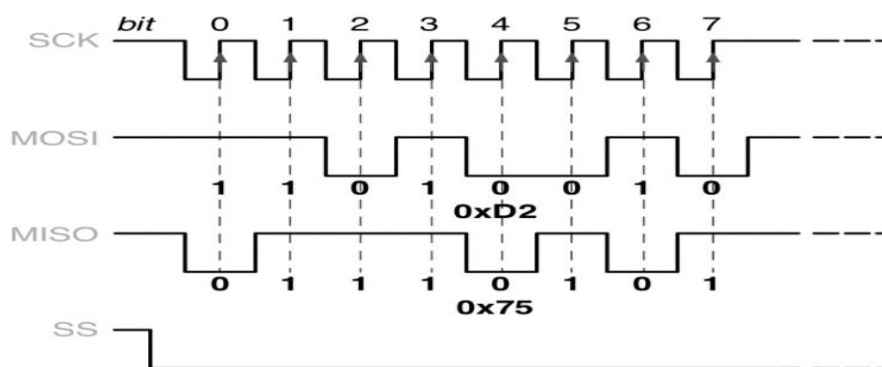


Рисунок 1 – передача данных по интерфейсу SPI

## 2. I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit)

Последовательный двухпроводной интерфейс I<sup>2</sup>C. Работает в полудуплексном режиме по двунаправленной шине, которая состоит из линии данных (SDA) и линии тактового сигнала (SCL). Модуль может находиться в 2 режимах: *Master* (ведущий) и *Slave* (подчиненный). Принципиальное отличие заключается в том, что *Master* всегда объявляет о начале и окончании передачи (чтения) данных и всегда генерирует тактовый сигнал. Каждое ведомое устройство должно иметь свой уникальный адрес для шины, в которой оно находится. Передача сообщения выглядит следующим образом: когда шина свободна, на двух линиях выставляется высокий уровень, при приеме или передаче линия данных подтягивается к логическому 0. Каждое передаваемое слово данных должно иметь разрядность 8 бит, в том числе и для адреса. После адреса идет бит определения типа операции (*Read/Write*). Каждый переданный байт сопровождается битом подтверждения (*Acknowledge*) (рис. 2). Ведущее устройство на протяжении всего времени передачи генерирует тактовые импульсы с определенным интервалом.

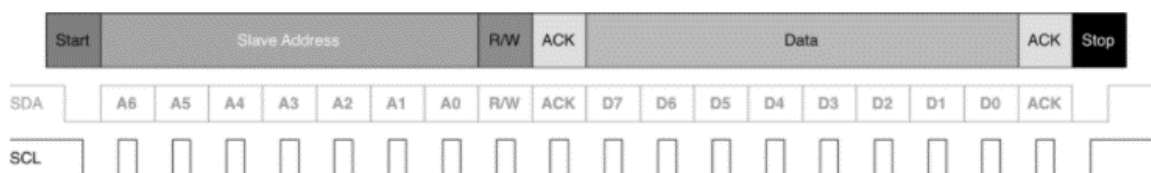


Рисунок 2 – передача данных по интерфейсу I2C

## 3. USART (Universal Synchronous-Asynchronous Receiver-Transmitter)

Универсальный синхронный/асинхронный приемопередатчик USART это последовательный интерфейс связи, может работать как в полнодуплексном, так и в полудуплексном режимах работы. В случае его использования, подключенные устройства должны использовать свои системы тактирования, так как нет общей линии синхронизации. В микроконтроллерах микросхема USART имеет 2 сдвиговых регистра: один на передачу (*Transmit Shift Register*), другой на прием (*Receive Shift Register*). Для каждого сдвигового регистра имеется буферный регистр данных *Transmit/Receive Data Register*. Во время

работы, параллельный код преобразуется в последовательный и отправляется в побитовом формате в линию передачи. Каждый кадр выглядит следующим образом (рис. 1): 1-й бит – стартовый, он объявляет начало передачи, в этот момент он меняет свое значение с высокого уровня на логический 0; следом идут биты данных (от 5 до 9), в них содержится основная передаваемая информация; бит четности; 1 или 2 стоп-бита для определения конца передачи (рис. 3).

Система может представлять из себя устройства для сбора информации, работая с различными датчиками, специализированными контроллерами или различными микросхемами для дальнейшей обработки полученных данных микроконтроллером *STM32*.



Рисунок 3 – передача данных по интерфейсу *USART*

Если в такой системе несколько ведомых устройств, а в качестве ведущих выступает 1 микроконтроллер, целесообразно использование интерфейса *SPI* (рис. 4), он обеспечит высокую скорость работы в полнодуплексном, последовательном режиме. В каждый момент времени может быть только одно ведущее устройство и несколько ведомых, которые не имеют возможности связи друг с другом. Синхронная связь, используемая при работе с данным протоколом, имеет более высокую помехозащищенность по сравнению с асинхронной. Количество линий будет зависеть от количества подключенных ведомых устройств, которые микроконтроллер, как ведущее устройство, выбирает в процессе обмена информацией (рис.3). При использовании этого интерфейса, ведущее устройство устанавливает контакт с ведомым по линии *MOSI*, а ведомые отвечают по линии *MISO*, линия *SS* предназначена для выбора устройства, с которым будет происходить обмен, каждое подчиненное устройство имеет уникальный дескриптор на шине.

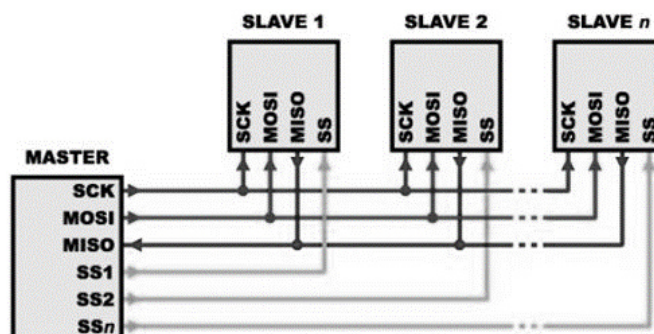


Рисунок 4 – сеть, состоящая из 1 главного и нескольких подчиненных устройств

Если система подразумевает наличие нескольких ведущих устройств, следует выбрать интерфейс *I<sup>2</sup>C* (рис. 5). Этот интерфейс отлично подходит для передачи информации на небольшие расстояния. Каждое устройство,

подключенное к шине может являться как передатчиком, так и приемником и имеет свой уникальный идентификатор. Двухпроводной интерфейс имеет меньшее количество линий, в сравнении с *SPI*, однако, по причине того, что этот интерфейс работает в полудуплексном режиме, одновременно в качестве ведущего устройства может использоваться только одно, следовательно, и скорость работы не такая высокая. В случае одновременного запроса нескольких устройств на работу с шиной, используется механизм арбитража для определения высшего приоритета. Режим передатчика/приемника происходит по линии *SDA*, линия *SCL* используется для тактирования.

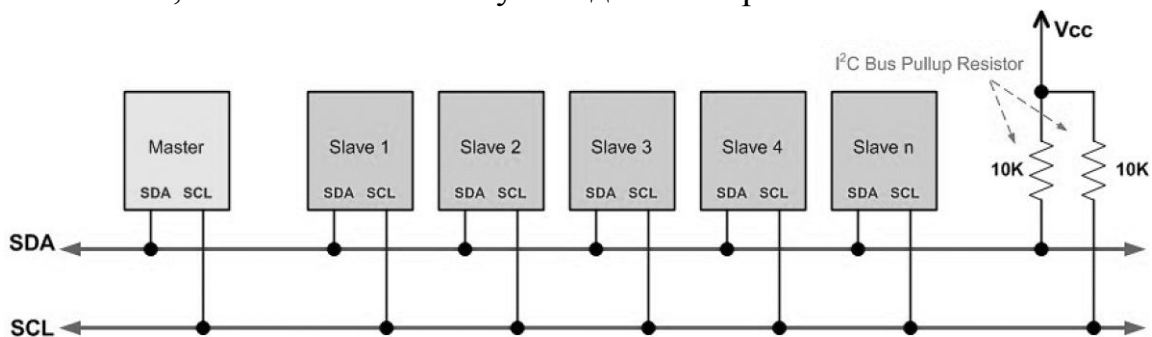


Рисунок 5 – сеть, состоящая из нескольких ведущих и нескольких подчиненных устройств

Последовательный интерфейс *USART* имеет преимущество в случае, когда обмен данными происходит между двумя устройствами (рис. 6). Он позволяет обеспечить высокую дальность передачи и простоту реализации. За счет возможности выбора скорости передачи, синхронного и асинхронного режима работы, подходит для широкого спектра устройств. При работе с этим протоколом 2 устройства могут одновременно читать и передавать данные по линиям *RX* и *TX*, первое устройство передает данные по своей линии *TX* на линию *RX* другого, второе устройство, в этот момент использует свои линии аналогично первому.

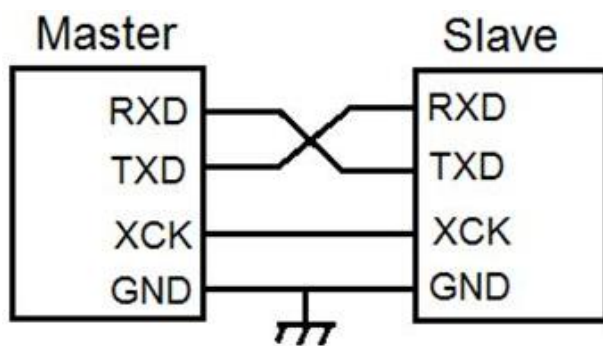


Рисунок 6 – подключение двух приемо-передающих устройств

Как видно, выбор используемого интерфейса напрямую зависит от типа информационной системы и конкретной задачи. В каких-то случаях необходимо быстрое действие, но не так важно количество задействованных линий. В некоторых системах момент удобства определяется количествами используемых устройств и их режимами работы.

#### Литература

7. Интерфейс SPI, описание и пример [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://microtechnics.ru/stm32-s-nulya-interfejs-spi/> (дата обращения 18.09.2021);
8. Интерфейс I<sup>2</sup>C в STM32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hubstub.ru/stm32/184-stm32-i2c.html> (дата обращения 18.09.2021);
9. Интерфейс USART в STM32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://istarik.ru/blog/stm32/120.html> (дата обращения 18.09.2021);

*Н.Н. Строев, к. т. н., доц.; Р.М. Коршунов, Н.А. Пикулев студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ GPS-ТРЕКЕРА**

Спутниковые *GPS*-устройства нашли широкое применение в современном мире. Они способны получать информацию от спутников, содержащую в себе сведения о точном времени и дате, скорости, географических координатах местоположения, высоте над уровнем моря и т.д.

Вся информация передается по протоколу *NMEA 0183* - это текстовый стандарт связи навигационного оборудования. Структура этого протокола выглядит следующим образом: каждая строка начинается с символа «\$», далее идет идентификатор сообщения, состоящий из 5 букв, первые 2 – идентификатор источника сообщения, следующие 3 – идентификатор строки, то есть формат сообщения. Далее идет список данных, разделенный запятыми, в случае отсутствия каких-либо данных, запятые все равно ставятся. После данных идет символ «\*», в след за которым указывается 8-битная контрольная сумма и 2 символа «\r\n» для перевода каретки и начала новой строки соответственно.

Одним из таких устройств, позволяющих получать и использовать получаемые по протоколу *NMEA 0183* данные, является представленный *GPS*-трекер. Данный модуль разрабатывался как многофункциональный прибор, обеспечивающий следующие возможности автономного применения.

- Спидометр
- Дальномер
- Одометр
- Часы реального времени

Устройство может быть использовано для отслеживания процессов перемещения, определения последовательностей координат территориальных объектов.

Модуль включает в себя микроконтроллер *Arduino Pro Mini* (рис. 1а), *GPS*-модуль *Ublox m80pro* (рис. 1б) с поддержкой *GLONASS* и выводом данных по *UART*, *LCD*-дисплей (рис. 1в) разрешением 128x64 пикселя с диагональю 0.91 дюйма на котором скомпонована вся информация, аккумулятор емкостью

500мАч и напряжением 3.7В, модуль заряда для литиевых батарей с защитой от переразряда и перезаряда, повышающий преобразователь для питания всей схемы, а так же кнопки для включения и смены режима. В режиме автономной работы устройство продолжает непрерывное функционирование в течении 5-6 часов.

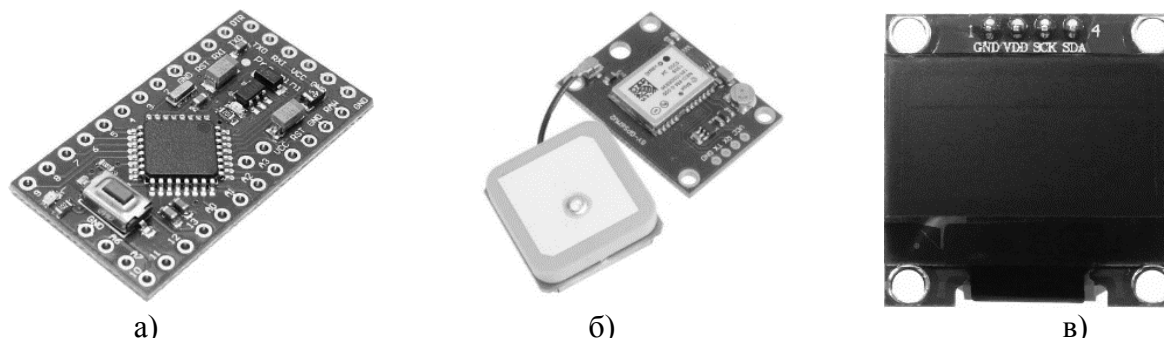


Рисунок 1 — Компоненты проекта: микроконтроллер *Arduino Pro Mini* (а); *GPS*-модуль *Ublox m80pro* (б); *LCD*-дисплей (в).

*GPS*-модуль *ublox m80pro* отправляет пакеты в формате *NMEA 0183* по интерфейсу *UART* 1 раз в секунду. Он подключен к цифровым выводам микроконтроллера *Arduino Pro Mini*. В свою очередь микроконтроллер занимается обработкой и выбором нужной информации, получаемой из строк.

Идентификаторы строк, которые обрабатываются микроконтроллером для получения данных:

- Дата и время *UTC* в формате «ДД,ММ,ГГГГ» (номер параметров - 1), «ЧЧММСС.ССС» (номера параметров: 2, 3, 4)
- Скорость - «*VTG*» в формате «скорость, единицы измерения» (номера параметров: 7, 8)
- Географические координаты - «*GLL*», широта и долгота в формате «ГГММ.ММММ» (номера параметров: 1, 3)
- Количество видимых спутников - «*GSV*» (номер параметра: 3)

Вся информация отображается на небольшом *LCD*-дисплее, который работает по интерфейсу *I2C*. Для получения корректных данных и правильной работы, сразу после включения девайса требуется некоторое время для установки связи со спутниками. При достижении необходимого числа спутников (в нашем случае это > 8) можно начинать работу с устройством (рис. 2).

В первом окне отображается вся основная информация. Оно включает в себя показания о времени (ЧЧ:ММ:СС), текущей дате (ДД/ММ/ГГГГ), скорости, количестве видимых спутников, преодоленном расстоянии с момента включения и расстоянии до нулевой точки. Обновление всей информации происходит 1 раз в секунду. Точность измерения напрямую зависит от количества видимых спутников.

При последующих нажатиях на кнопку происходит смена режимов. Таким образом пользователь может увидеть больше полезной информации касательно этих режимов, а так же ее отображение в увеличенном формате. Для сброса

максимальных значений необходимо удерживать нажатой кнопку смены активных режимов в течении 3 секунд непосредственно в выбранном окне.

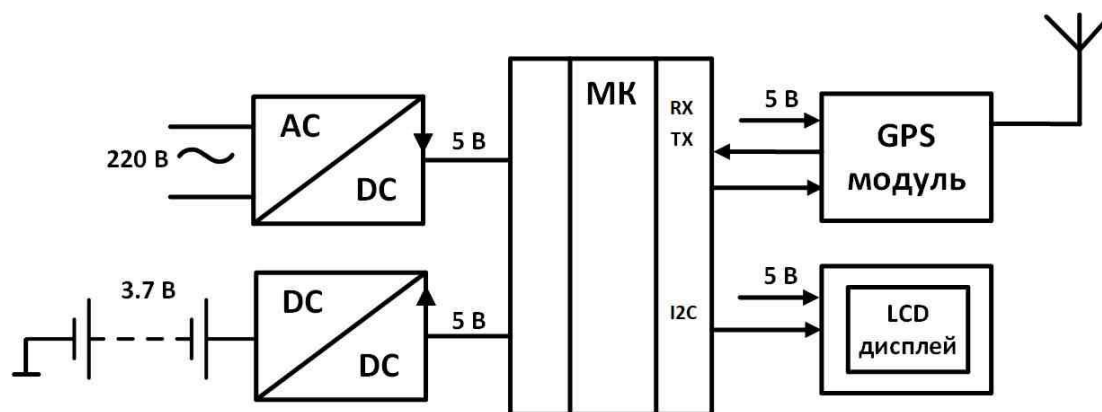


Рисунок 2 — Функциональная схема GPS-трекера

Режим спидометр выводит на дисплей информацию о текущей и максимальной скорости передвижения с момента включения девайса, либо с момента сброса.

Окно с показаниями дальномера отображает на экране вычисления расстояния до нулевой точки, текущее и максимальное значение, аналогично режиму спидометра и одометра. Эти два режима, в свою очередь, будут особенно полезны для велосипедистов, а так же для людей, которые поддерживают дневную норму пройденного расстояния.

Следующий режим содержит информацию о текущем местоположении в формате широта/долгота, которая может быть использована для определения местоположения.

Таким образом, изделие получилось очень компактным, относительно автономным, простым в использовании, многофункциональным, а так же очень информативным.

В плане дальнейших модификаций, стоит отметить возможность подключения GSM-модема для связи с телефоном пользователя. Использование такой связки GNSS и GSM модуля позволит получать координаты местоположения девайса посредством текстовых сообщений. Для уменьшения габаритных размеров устройства можно использовать микроконтроллер *Arduino* с напряжением питания 3.3В для исключения повышающего преобразователя из схемы, его можно заменить на миниатюрный стабилизатор питания.

#### Литература

10. Описание протокола NMEA 0183 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wiki.iarduino.ru/page/NMEA-0183/> (дата обращения 18.09.2021);
11. Работа с GPS модулем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wiki.iarduino.ru/page/GPS-module/> (дата обращения 18.09.2021).

*Н.Н. Строев, к.т.н., доц., Е.В. Строева, к.п.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ"МЭИ" в г. Смоленске)*

## **ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРИИ СЕГМЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И КОМПЛЕКСОВ**

Подготовка специалистов для электронной промышленности предполагает различные методы обучения, которые должны учитывать быстрое развитие отрасли. Высшие учебные заведения в целом справляются с базовой теоретической подготовкой, основанной на системе развития компетенций, использования продвинутых технологий доведения материала до студентов.

С проведением практических занятий и практик ситуация иная. Использование устаревших методов на базе слабо укомплектованных лабораторий не дает необходимого эффекта. Практики, проводимые на базовом предприятии, в целом приносят пользу, но далеки от совершенства в плане системности и, в принципе, носят лишь ознакомительный характер.

В последнее время активно практикуется трудоустройство студентов на предприятия с адаптированным под учебный процесс рабочим днем. Это хорошая система не может, к сожалению, иметь массовый характер, поскольку на первое место выходит не подготовка специалиста, а выполнение текущих производственных задач. Как было отмечено в [1], создание учебных центров на предприятиях имеют хорошую перспективу для интегрированной подготовки специалистов с привлечением как вузовских преподавателей так и квалифицированных специалистов предприятия. Однако, для создания центров подготовки требуется финансирование, которое не всегда возможно. Сам центр имеет значение для конкретного предприятия, которому не выгодно готовить специалистов без последующего трудоустройства. Отраслевые центры пока широкого развития не получили по причине их сложности и высокой стоимости их организации [2].

Целью нашего исследования было создание лабораторной базы для практического изучения студентами современных электронных устройств и комплексов и формирования связей с промышленными предприятиями и научными организациями для обеспечения подготовки специалистов с учетом реальных потребностей современного производства с центральной ролью выпускающей кафедры вуза.

Подобная лаборатория может представлять собой отдельное помещение на территории кафедры с ограниченным доступом, в котором размещаются образцы техники, передаваемой во временное пользование предприятиями на основании прямых договоров. Образцы техники размещаются по сегментам в зависимости от текущего состояния кооперации с предприятиями.

Основными функциональными сегментами могут быть следующие:

- приборы медицинской техники,
- измерительные приборы,
- газоанализаторы,



- системы промышленной автоматики,
- технологическая оснастка,
- источники вторичного электропитания и пр.

В каждом таком сегменте могут быть представлены образцы техники разных предприятий исходя из их заинтересованности.

От кафедры по каждому сегменту назначается куратор из числа преподавателей. От предприятия также назначаются кураторы, с которыми поддерживается связь при проведении работ в лаборатории.

Образцы техники передаются с частью документации, обеспечивающий необходимую информационную поддержку проводимых исследований.

Значительное внимание следует уделить подготовке программного обеспечения микропроцессорных комплексов для работы в системах реального времени, сервисного программного обеспечения промышленных объектов.

Для проведения исследований формируются группы студентов, с учетом их собственных интересов и интересов предприятий. Состав и численность таких групп зависит от задач исследований и их трудоемкости. Исходя из выбранных тематик, группы могут включать студентов разных направлений подготовки выпускающих кафедр.

В ходе работ могут заключаться хозрасчетные НИР, если задачи интересны предприятиям и могут быть использованы в их деятельности. Кроме того, результаты работ могут использоваться студентами для написания научных и выпускных квалификационных работ.

В качестве примера рассмотрим сегмент измерительной техники. Представлен осциллограф конкретной модели, техническая документация, включающая схемы устройства, ряд текстовых документов (ТО, ТУ). Задачи студентов: изучение схем и алгоритмов, составление фрагментов технических описаний, исследование элементной базы, составление методик различных работ с использованием данного прибора в составе комплексов. Например, использование данного осциллографа для снятия характеристик транзисторов, ИС, датчиков. Построение лабораторных работ по теоретическим курсам. Полученные методики могут быть затем оформлены студентами в виде статей и других научных работ. В таком случае публикация результатов дает определенную рекламу применяемому оборудованию и фирмам изготовителям.

После проведения работ техника возвращается предприятию либо передается вузу для дальнейшего использования.

Заинтересованность предприятий определяется следующими мотиваторами:

- общей рекламой производимой техники,
- подготовкой молодых специалистов,
- возможностью получения специалистов высокой квалификации,
- малой финансовой нагрузкой,
- развитием методик применения оборудования,
- получение новых идей и технических предложений по развитию конкретного сегмента и пр.

Отличительными особенностями такой лаборатории являются:

- замена техники в ней не требует значительных финансовых затрат, поскольку не предполагает процесс купли-продажи или коммерческую аренду техники;

- возможность проведения всех видов практик, предусмотренных учебными планами, начиная с первого курса,

- возможность проведения всех видов занятий по дисциплинам, связанных с сегментами оборудования, представленного в центре;

- дополнительная нагрузка на преподавателей сильно не увеличивается, зато появляется возможность повышения квалификации и участия в научных работах и пр.

Можно полагать, что в настоящее время внедрение данного предложения является крайне своевременным и нужным в условиях дефицита средств и одновременной необходимостью повышения эффективности подготовки специалистов соответствующими компетенциями.

Организационная работа может быть начата с подготовки и рассылки рекламы данного вида деятельности на предприятия отрасли.

Далее следует посетить предприятия, выразившие готовность участвовать в программах исследований для заключения соответствующих договоров.

При появлении в лаборатории первых образцов можно начинать работу.

Предпосылки для организации такой лаборатории реально существуют в филиале ФГБОУ ВО "НИУ"МЭИ" в г. Смоленске на кафедрах электронных и информационных направлений при участии заинтересованных предприятий электроники и приборостроения.

#### Литература

1. Строев Н.Н., Строева Е.В. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ НА ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ // Энергетика, информатика, инновации - 2020. (микроэлектроника и оптотехника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями). Сб. трудов X -ой Национальной научно-технической конференции с международным участием. В 3 т. Т 2. - 2020. - С. 353-357.
2. Позднеев Б. М. ПРИОРИТЕТЫ И ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ОПК В УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ [Электронный ресурс] URL: <https://xn--hlaelen.xn--p1ai/wp-content/uploads/2018/05/Pozdneev.pdf> (дата обращения: 16.07.2021).

*Н.И. Устинов, студ.; С.П. Астахов, к.т.н., доцент  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **СИГНАЛИЗАТОРЫ ОБЛЕДЕНЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Под летательным аппаратом в общем случае понимаются устройства (аппараты), основным назначением которых является осуществление полётов в атмосфере или космическом пространстве.

Наибольшим интересом среди летательных аппаратов обладают воздушные судна, отличительной особенностью которых является поддержание аппарата в атмосфере за счет взаимодействия с воздухом, отличного от взаимодействия с воздухом, отражённым от поверхности земли или воды.

Данный интерес обоснован повсеместным применением воздушных судов: воздушные суда авиации общего или коммерческого назначения, научно-исследовательские суда, народно-хозяйственные суда, суда военного назначения, суда для проведения спортивных мероприятий, беспилотные суда и т.д.

Научно-технический прогресс и бурные темпы развития цифровой и микропроцессорной техники последних лет поспособствовали мощным положительным изменениям динамики развития многим перспективных и востребованных направлений науки и производства, одним из которых является разработка и проектирование летательных аппаратов (воздушных судов).

Применение цифровых и микропроцессорных модулей в летательном аппарате позволяет не только расширить функционал аппарата (мониторинг состояния окружающей среды, воздушного пространства, микроклимата внутри кабины пилота и т.д.), но и решить многие часто возникающие проблемы, ограничивающие повсеместную применимость в узконаправленных целях и различных по атмосферным показателям воздушных пространствах серийно-изготавливаемых воздушных судов.

Одна из наиболее часто встречаемых проблем и одно из самых опасных для воздушного судна атмосферных явлений состоит в обледенении, в результате которого изменяются аэродинамические и летные характеристики, а, следовательно, и характеристики устойчивости и управляемости летательного аппарата. Под влиянием ледяных отложений может заметно измениться форма профиля крыла и горизонтального оперения, возникнуть состояние повышенной турбулентности и преждевременного срыва потока, что чрезвычайно опасно при эксплуатации в воздушном пространстве лётного судна.

Разработка способов устранения данного рода проблемы состоит в первую очередь в первичном обнаружении обледенения аэродинамических поверхностей. Для достижения этой цели инженерами разрабатывается целый ряд устройств, который можно обобщить как сигнализаторы (индикаторы) обледенения.

Устройства данного класса предназначены для проведения непрерывных измерений интенсивности обледенения аэродинамической поверхности, с выдачей информации оператору и/или в автоматическую систему противообледенения.

Преимущественное применение устройств данного класса – контроль обледенения воздушных судов и лопаток турбин в оборудовании промышленного назначения.

Поскольку от качества работы сигнализатора обледенения зависит качество полёта (а в ряде случаев и безопасность многих человеческих жизней), то в данным устройствам предъявляются довольно жесткие требования, чтобы добиться от них должного уровня контроля метеорологических условий полета и своевременного выявления начала процесса обледенения аэродинамических поверхностей летательного аппарата. Так, сигнализатор обледенения в общем случае должен:

- обеспечивать безотказность работы и выдачу достоверных информационных и регистрационных данных вне зависимости от условий обледенения;
- обеспечивать максимальную чувствительность;
- предоставлять возможность сигнализации об опасности обледенения, а также начала и окончания процесс обледенения аэродинамических поверхностей;
- проводить измерение интенсивности обледенения;
- быть простым в эксплуатации;
- иметь минимальные массо-габаритные показатели;
- иметь минимальное аэродинамическое сопротивление датчика.

Сигнализаторы обледенения в общем случае имеют следующую структурную схему (рисунок 1).

Основными элементами устройства являются датчик обледенения, электронный блок усиления сигнала и/или его обработки, а также устройство выдачи информации оператору.

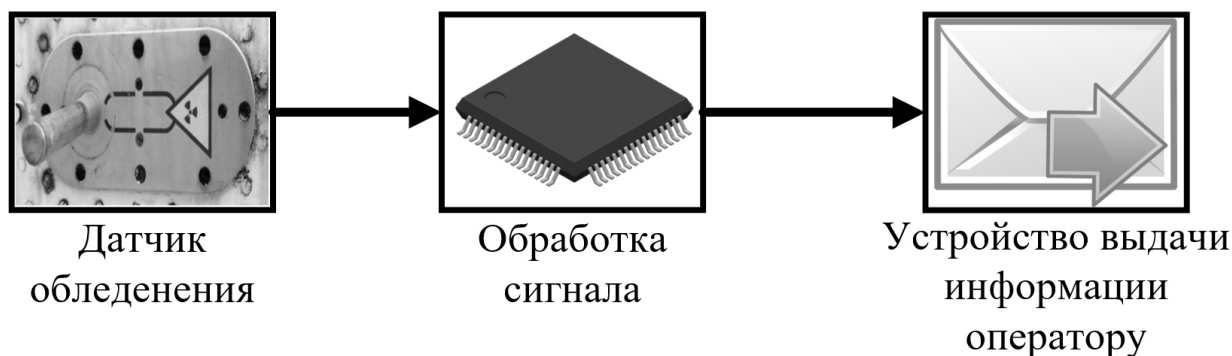


Рисунок 1 — Обобщенная структурная схема сигнализаторов обледенения

Рассмотрим наиболее широко используемые типы сигнализаторов обледенения, различающиеся в зависимости от физического принципа работы датчика обледенения:

- термомерные сигнализаторы. Принцип действия сигнализаторов данного типа заключается в поддержании постоянной температуры датчика за счёт изменения мощности нагревателя, отслеживая величину которой, можно оценить, возникает ли обледенение на датчике или нет;
- вибрационные сигнализаторы. Принцип действия сигнализаторов данного типа основан на измерении частоты колебаний некоторой мембраны. Обрастание льдом мембраны в данном случае соответствует увеличению частоты колебаний, что является своего рода индикатором возникновения обледенения;
- радиоизотопные сигнализаторы. Принцип действия сигнализаторов данного типа основан на ослаблении бета-излучения радиоактивного изотопа слоем льда, нарастающего на чувствительной поверхности штыря датчика;

– оптические (оптоэлектронные). Принцип действия сигнализаторов данного типа основан на искажении измерения интенсивности прямого и отраженного луча при наличии льда на датчике.

Наиболее приоритетным направлением в развитии устройств класс сигнализаторов обледенения является использованием оптоэлектронных датчиков, так как устройства, разработанные с применением этих датчиков, будут обладать наименьшими массо-габаритными показателями, относительно дешевыми и массово применимыми с различными системами противообледенения.

Таким образом, разработка сигнализаторов обледенения является достаточно востребованным и перспективным направлением современной электроники.

Наибольшими преимуществами обладают сигнализаторы обледенения, основанные на применении оптоэлектронных датчиков, так как устройства, разработанные с применением этих датчиков, будут обладать наименьшими массо-габаритными показателями, относительно дешевыми и массово применимыми с различными системами противообледенения.

#### Литература

1. Пермин, В.Ю. Беспилотники: воздушные роботы мирного назначения. – М.: изд. Дод, 2010. – 296 с.
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632с., ил.

*Я.А. Федулов, к.т.н., А.С. Федулова, ст.преп., А.С. Войцицкий, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **РАЗРАБОТКА РОБОТА, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕГО ДВИЖЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОТОКА ТЕПЛА**

В статье описаны основные этапы разработки робота с датчиками температуры, который для движения использует информацию, полученную из преобразованного теплового потока. Разрабатываемое устройство может быть применено в различных областях жизни человека, где требуется транспортировка объектов, имеющих высокую чувствительность к температурным изменениям.

*Составные части робота, осуществляющего движение с использованием потока тепла.*

Микроконтроллер *L293D* имеет простое устройство и доступен к приобретению, поэтому существует возможность создания действующей системы. Для реализации используется модель, разработанная в среде *Visio*-электронных схем для осуществления работы робота, основными элементами которого являются датчики температуры [\*DS1631S+\*](#), на электрической принципиальной схеме (рисунок 1) обозначаемые *F*. Характерными особенностями датчиков температуры является способность

преобразовывать сопротивление, когда выполняется повышение или понижение температуры при влиянии теплового потока. Запуск моторов необходимых для движения устройства, привязан к изменяющемуся сопротивлению, которое может меняться в пределах 10 Ом – 230 Ом.

Достаточно часто для разработок используются поведенческие функции живых организмов окружающих нас, например, летающие, сообщающие о переполнении, переохлаждении, сильном нагреве объекты. Было смоделировано движение к субъекту повышения температурного режима, в источниках [3] называемое тепловым движением.

Разработка робота, осуществляющего движение с использованием потока тепла, включает в себя необходимость выполнения следующих структурных особенностей:

- а) простота сборки схемы робота;
- б) скорость движения должна быть соизмерима с подающимся тепловым потоком;
- в) устройство должно работать продолжительное время.

Для учета всех характеристик, использованных в подборе расчетным путем элементов, позволит получить устройство, работающее оптимальное количество времени и будет соответствовать требуемым нормам, что даст возможность использовать данную систему в реальной работе.

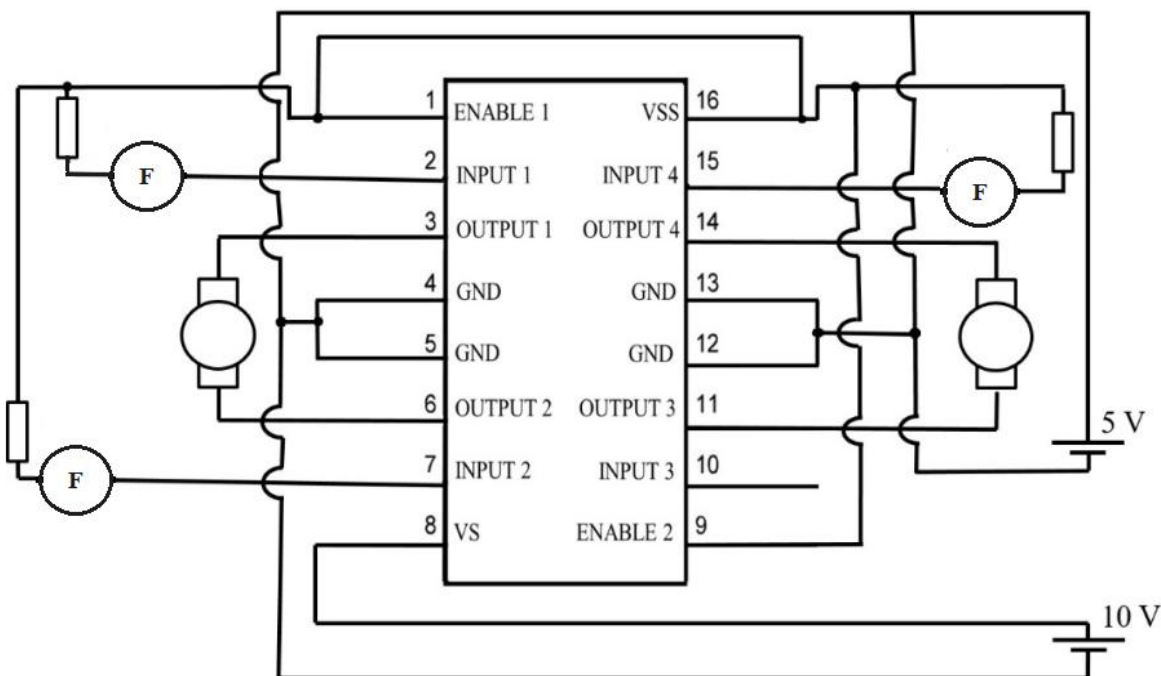


Рисунок 51 – Электрическая принципиальная схема робота

Далее представлены основные этапы работы робота, осуществляющего движение с использованием потока тепла.

Этап 1. Поток теплого воздуха направляется в сторону устройства с датчиком температуры.

Этап 2. Вход *INPUT1* драйвера электродвигателя получает положительный сигнал (1).

- Этап 3. Начало работы двигателя.
- Этап 4. Прекращение подачи потока воздуха.
- Этап 5. Вход *INPUT 1* получает уменьшающийся сигнал
- Этап 6. Двигатель замедляет работу.
- Этап 7. Полная остановка робота.

Создаваемая система является усовершенствованной моделью, созданного ранее робота-хвоста, в схеме доработаны моторы, осуществлена замена элементов на более мощные (редукторы с большим шагом), чтобы увеличить движущую мощность разрабатываемого устройства.

Работа устройства строится на соотношении номинала резистора и чувствительности терморезистора. При этом относительно большой показатель сопротивления резистора соответствует работе робота лишь при относительно высокой температуре, то есть чувствительность достаточно мала, в противном случае, когда относительно низкий показатель сопротивления резистора соответствует работе робота при относительно низкой температуре, то чувствительность достаточна для работы.

Для работы системы используется два источника питания: с номиналами напряжения 5 В и 10 В, это необходимо для корректной работы устройства.

Первый источник питания имеет два аккумулятора *LG18650*, используемых для питания микроконтроллера (максимальное напряжение по *DataSheet* равно 7 В).

Второй источник имеет два аккумулятора, имеющих схожий типоразмер с первым источником, но при этом с увеличенной емкостью (3000 *mA/h*) для осуществления питания электродвигателей (максимальное напряжение по *DataSheet* в пределах 10 В – 36 В (в зависимости от вида используемого двигателя)).

Для разрабатываемого устройства было выполнено подключение двух электродвигателей и трех датчиков температуры, при этом задняя передача осуществляется за счет левого и правого терморезистора, функциональная схема системы представлена на рисунке 2.

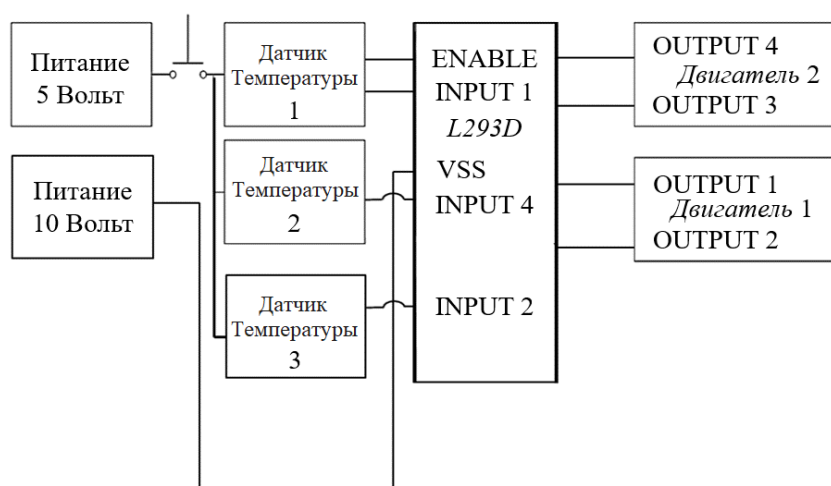


Рисунок 52 – Функциональная схема робота

Вход *INPUT* 4 применяется для питания резерва двигателя.

*Эксперименты при разработке.*

Для получения необходимых результатов работы системы был выполнен ряд испытаний.

1. Проверка работоспособности и функционирования системы показала, что существуют недостатки, связанные с корпусом, который имел большие габариты, и питанием, являющимся недостаточным для активного движения устройства. Эти проблемы были устранены далее.

2. Проверка достаточности используемых элементов. Выявлено, что двигатели недостаточно мощные для передвижения всей системы, при подаче достаточного для передвижения напряжения, перегревается микроконтроллер и двигающие элементы пробуксовывают.

3. Проверка системы с облегченным корпусом, с распределенным напряжением по двум входам, выявлено торможение системы при удалении системы от источника теплового потока.

4. Тестирование системы с установленными резисторами, позволяющие увеличить сопротивление температурного датчика. Выполнено благодаря компенсации проходящего через датчик температуры тока.

5. Работа устройства с подобранными аккумуляторами с относительно высокой емкостью, а также с электродвигателями увеличенного напряжения.

6. Устранение разбалансировки корпуса и увеличения массы разрабатываемой системы.

Были исправлены проблемы мощности двигателей для движения, тяжелого корпуса и недостаточной мощности электродвигателей. Достижение требуемой скорости возможно при использовании сверхчувствительных тепловых датчиков.

В настоящее время смоделирован робот, имеющий облегченный и усиленный корпус, достаточно мощные электродвигатели, добавлен редуктор с большим шагом и дополнительный тепловой рецептор, позволяющий осуществлять повороты системы.

Литература:

1. Сайт RoboCraft [Электронный ресурс]. URL: <http://robocraft.ru/blog/arduino/170.html> (Дата обращения 10.09.2021)
2. Войцицкий А.С., Рассказа Д.С. Разработка проекта «робот-трус» // ИТЭиЭ Сб.трудов XVII-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, 2020. Т 2. с.32-36
3. Ходунков В.П. Термометрия и инфракрасная радиометрия многофазных и многообъектных систем. - СПб.: Политехника, 2013. – 259 с.
4. Митин И.В., Русаков В.С. Анализ и обработка экспериментальных данных. М: МГУ, 2014. – 48 с.



А.О. Фомченков, студ.; К.В. Анисимов, студ.; И.В. Якименко, д. т. н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

## АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНФРАКРАСНЫХ ДАТЧИКОВ

При проведении анализа технико-экономических показателей ультразвуковых датчиков было определено, что ультразвуковой датчик *US-025* является наиболее подходящим для применения в модуле обнаружения препятствий устройства ориентирования в пространстве людей с ограниченными возможностями зрения [1]. Однако особый научный интерес представляет рассмотрение возможности применения современных инфракрасных датчиков в основе модуля обнаружения препятствий устройства.

Научная новизна и практическая применимость данной работы заключается в проведении анализа технико-экономических показателей инфракрасных датчиков обнаружения препятствий и осуществлении подбора наиболее подходящего для последующего внедрения в разрабатываемый модуль обнаружения препятствий устройства.

Целью данной работы является анализ технико-экономических показателей инфракрасных датчиков для разработки модуля обнаружения препятствий устройства для ориентирования в пространстве людей с ограниченными возможностями зрения.

Одними из распространённых и доступных инфракрасных датчиков расстояния на рынке электронных компонентов являются дальнометры производителя *Sharp*. Были выявлены особенности популярных модификаций, подлежащих рассмотрению.

В основе аналогового инфракрасного дальнометра *GP2Y0A02YK0F* (рис. 1 а) заложена комбинация устройств: *PSD (Position Sensing Detector)* – позиционно-чувствительный детектор; *IREM (InfraRed Emitting Diode)* – инфракрасные светодиоды; оптические линзы и схемы обработки сигналов. Влияние таких факторов, как отражающая способность объекта, температура окружающей среды и время эксплуатации датчика, снижается, поскольку в схеме обработки сигналов применяется метод триангуляции. Уровень напряжения прямо пропорционален расстоянию до объекта. Данный датчик возможно применять в качестве датчика приближения. Также модификация может использоваться в целях организации бесконтактного подключения. Диапазон измерения такого дальнометра варьируется от 20 см до 150 см. Следует отметить, что способности измерения расстояния инфракрасного датчика не ограничиваются строго 150 см, однако за верхней границей диапазона значительно снижается точность измерений.

Также существуют и другие модификации аналогового инфракрасного дальнометра производителя *Sharp*, которые рассчитаны на другие диапазоны измерения.

На торговых площадках особо распространён произведённый в КНР инфракрасный датчик обнаружения препятствий *E18-D80NK* (рис. 1 б).

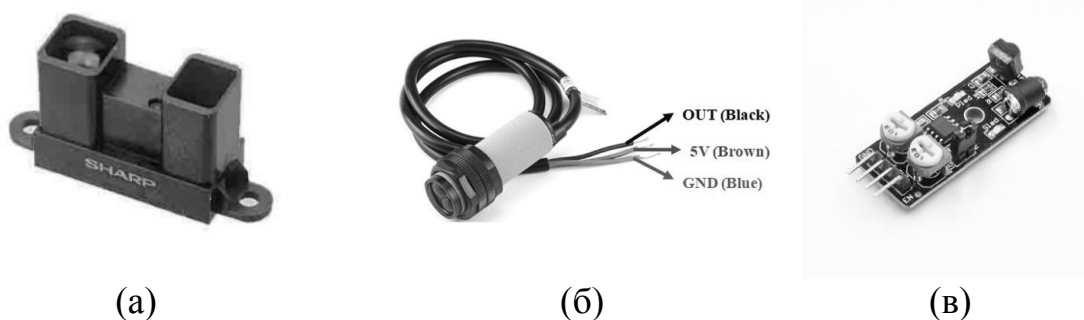


Рисунок 1 — Инфракрасные датчики:  
а — инфракрасный дальномер *GP2Y0A02YK0F*;  
б — инфракрасный датчик *E18-D80NK*;  
в — инфракрасный датчик *KY-032 (SENSOR IR-08H)*

В состав датчика входят инфракрасный передатчик (*IR Transmitter*) и приёмник (*IR Receiver*), которые размещены в одном модуле. В принципе работы датчика заложено измерение движения света от источника света до препятствия и возвращения обратно: модулированный инфракрасный сигнал излучается инфракрасным передатчиком, затем отражается от поверхности объекта обнаружения и поступает на инфракрасный приёмник. Результат измерения – цифровой сигнал: в случае отсутствия препятствий в диапазоне обнаружения устанавливается высокий уровень сигнала, при наличии препятствия в диапазоне обнаружения устанавливается низкий уровень сигнала. Ввиду использования модулированного инфракрасного сигнала датчик *E18-D80NK* в меньшей степени становится подверженным влиянию солнечного света. Данная модель обладает низкой стоимостью, способностью обнаруживать препятствия от 3 см до 80 см. Следует отметить, что датчик не может быть использован для измерения расстояния до препятствия: он определяет только факт наличия препятствия. Провести настройку диапазона обнаружения возможно встроенным потенциометром на обратной стороне датчика. Пользователь получает информацию о наличии препятствия, когда загорается светодиод красного цвета, также установленный на обратной стороне датчика. В наличии есть кабель длиной 45 см.

Производитель *ARDUINO* предлагает потребителям инфракрасный датчик обнаружения препятствий *KY-032 (SENSOR IR-08H)* (рис. 1 в). Данный модуль оснащён двумя полупроводниковыми фотоэлементами на плате: светодиодом инфракрасного излучения и фотоприёмником. Как и у датчика *E18-D80NK*, настройка диапазона обнаружения модуля проводится встроенным потенциометром. Аналогично, принцип работы заключается в отражении излучения светодиода от поверхности препятствия и возвращения сигнала на фотоприёмник. В момент приближения предмета к сенсору на выходе «OUT» устанавли-

вается низкий уровень сигнала, и загорается светодиод на плате модуля, который информирует пользователя о наличии препятствия в диапазоне обнаружения. Особенность устройства состоит в том, что его включение/выключение возможно проводить удалённо. Для этого необходимо предварительно снять переключатель «EN», подать на контакт «EN» управляющий сигнал: логический ноль или единицу. Также в модуле предусмотрена регулировка частоты излучения инфракрасного светодиода, которая по умолчанию установлена 38 кГц.

Сравнение технико-экономических показателей инфракрасных датчиков представлено в таблице 1.

Таблица 1 — Техничко-экономические параметры инфракрасных датчиков

| Характеристики модификаций инфракрасных датчиков | Модификация          |                      |                     |                      |               |                  |
|--|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------|------------------|
|  | <i>GP2Y0A51SK0F</i>  | <i>GP2Y0A41SK0F</i>  | <i>GP2Y0A21YK0F</i> | <i>GP2Y0A02YK00F</i> | <i>KY-032</i> | <i>E18-D80NK</i> |
| Напряжение питания, В                            | +4,5...<br>+5,5      | +4,5...<br>+5,5      | +4,5...<br>+5,5     | +4,5... +5,5         | +3,3...<br>+5 | +5               |
| Потребление при работе, мА                       | 12 – 22              | 12 – 22              | 30 – 40             | 33 – 50              | 20            | 25 – 100         |
| Типовое напряжение на выходе, В                  | 0,4                  | 0,4                  | 0,4                 | 0,4                  | –             | –                |
| Диапазон измерения/обнаружения, см               | 2 – 15               | 4 – 30               | 10 – 80             | 20 – 150             | 2 – 40        | 3 – 80           |
| Эффективный угол измерения, °                    | 30                   | 30                   | 30                  | 30                   | 35            | <15              |
| Точность, мм                                     | 0,3±1%               | 0,3±1%               | 0,3±1%              | 0,3±1%               | –             | –                |
| Габариты, мм                                     | 27×<br>13,2×<br>14,2 | 29,5×<br>13×<br>21,6 | 29,5×13×<br>13,5    | 29,5×13×<br>21,6     | 40×16<br>×10  | 45×<br>18×<br>18 |
| Масса, г   | 2,7                  | 3,5                  | 5                   | 5                    | 4             | 18               |
| Средняя цена на 2021 год, руб                    | 415                  | 470                  | 415                 | 590                  | 90            | 225              |

После проведения анализа данных, приведённых в таблице 1, были выявлены следующие достоинства и недостатки:

1. Инфракрасные датчики производителя *Sharp* модификаций *GP2Y0A51SK0F*, *GP2Y0A41SK0F*, *GP2Y0A21YK0F*, *GP2Y0A02YK00F*.

1.1. Достоинства:

- малое потребление при работе;

- наименьшее влияние на показания отражающей способности объекта, температуры окружающей среды и времени эксплуатации датчика;

- способность обнаружения объекта и определения расстояния до него;

- GP2Y0A51SK0F* обладает наименьшими массогабаритными параметрами среди рассмотренных датчиков, представленных в таблице 1;

- *GP2Y0A02YK00F* обладает самым широким диапазоном измерения среди рассмотренных датчиков, представленных в таблице 1.

#### 1.2. Недостатки:

- малый диапазон измерения за исключением модификации *GP2Y0A02YK00F*;

- высокая цена: *GP2Y0A02YK00F* обладает самой высокой ценой среди рассмотренных датчиков, представленных в таблице 1.

### 2. Инфракрасный датчик *E18-D80NK*, произведённый в КНР.

#### 2.1. Достоинства:

- невысокая цена

- способность обнаружения объектов.

#### 2.2. Недостатки:

- малый диапазон обнаружения;

- высокое потребление;

- наименьший эффективный угол обзора среди рассмотренных датчиков, представленных в таблице 1;

- самые наибольшие массогабаритные параметры среди рассмотренных датчиков, представленных в таблице 1;

- невозможно определить расстояние до объекта;

- не соответствует требованиям к эргономике и технической эстетике для разработки модуля обнаружения препятствий для портативного устройства ориентирования в пространстве людей с ограниченными возможностями зрения: наличие выносного кабеля длиной 45 см.

### 3. Инфракрасный датчик *KY-032 (SENSOR IR-08H)* производителя *ARDUINO*.

#### 3.1. Достоинства:

- самый широкий диапазон напряжения питания среди рассмотренных датчиков, представленных в таблице 1;

- малое потребление при работе;

- наибольший эффективный угол обзора среди рассмотренных датчиков, представленных в таблице 1;

- наименьшая цена среди рассмотренных датчиков, представленных в таблице 1;

- малая масса;

- включение/выключение возможно проводить удалённо;

- способность обнаружения объектов.

### 3.2. Недостатки:

- малый диапазон обнаружения;
- невозможно определить расстояние до объекта.

Посредством проведения сравнительного анализа технико-экономических показателей инфракрасных датчиков было выявлено, что наиболее подходящим для применения в модуле обнаружения препятствий портативного устройства ориентирования в пространстве является модификация *GP2Y0A02YK00F* производителя *Sharp*, поскольку обладает самым широким диапазоном измерения среди инфракрасных датчиков, представленных в таблице 1. Данный параметр является ключевым, поскольку при разработке упомянутого ранее портативного устройства техническими требованиями [2] определён диапазон измерения до 2 м. Также следует отметить, что эффективный угол измерения выбранного инфракрасного датчика составляет 30°, что также соответствует техническим требованиям [2]. Стоит отметить, что данная модификация является самой дорогой среди датчиков измерения расстояния и обнаружения, представленных в таблице 1. Высокая цена датчика играет большую роль, поскольку в будущем это скажется на себестоимости готового продукта: возрастут издержки на сырьё и материалы. Однако диапазон измерения и эффективный угол измерения обладают приоритетом высшего уровня по сравнению с таким параметром, как средняя цена на 2021 год, в контексте данной задачи. Также на показания модификации *GP2Y0A02YK00F* практически не оказывают влияние отражающая способность объекта, температура окружающей среды и время эксплуатации датчика. Остальные же рассмотренные датчики обладают либо малым диапазоном измерения, либо их показания в высокой степени подвержены влиянию внешних факторов, либо заявленные в таблице 1 модули не соответствуют требованиям к эргономике и технической эстетике: не выполняется условие обеспечения удобства использования устройства для пользователя в процессе жизнедеятельности.

### Литература

1. Фомченков А.О., Рыбаков И.В. Анализ технико-экономических показателей ультразвуковых датчиков // Сборник трудов: XVIII международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА (микроэлектроника и оплотехника, инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями)». — Смоленск: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2021. — Т.2. — С. 261-265.
2. О предоставлении гранта на выполнение научно-исследовательских работ и оценку перспектив коммерческого использования результатов в рамках реализации инновационного проекта: ДОГОВОР (СОГЛАШЕНИЕ) №15643ГУ/2020 от 8.07.2020. — С. 6-7.

*А.А. Хотеев, студ.; М.В. Беляков, проф.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛЮМИНОСКОПА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Необходимость развития люминесцентной диагностики обусловлена её широким использованием в таких областях как радиоэлектроника, медицина, экология, контроль пищевых продуктов, а также в конкретных научных исследованиях. Примером для последнего является диагностика объектов, впоследствии чего делаются некоторые выводы о составе вещества или выявления нежелательных или фальсифицированных примесей.

Ранее [1], был представлен демонстрационный вариант люминоскопа, представляющий собой тёмную камеру со встроенным светодиодом УФ спектра (Рисунок 1). Этот вариант был создан с целью реализации концепции в целом, а также для проверки некоторых опытов. Но, к сожалению, он имел несколько недостатков, главным из которых является отсутствие настраиваемой яркости.

Цель данной работы состоит в улучшении данной модели для удобства использования и настройки.



Рисунок 1 – Модель люминоскопа, нуждающаяся в улучшении

Несмотря на то, что эксплуатация прибора довольно проста, его нельзя было назвать надёжным, поэтому первым делом было решено добавить коннектор к кроне (Рисунок 2). Надёжная пайка защитит от нежелательных плохих контактов.



Рисунок 2 – Расположение коннектора на торце прибора

Вопрос регулировки яркости решает трёхвыводной переменный резистор[2], жаргонно также называемый «потенциометром» (Рисунок 3), с помощью которого можно увеличивать сопротивление, тем самым снижая напряжение, поступающее на светодиод.



Рисунок 3 – Переменный резистор 16K1-B1K, L20KC

Все элементы цепи, безусловно, могут иметь некоторые отклонения в своих характеристиках, которые определяют погрешность прибора. Для человека, использующего прибор, это может быть проблемой в измерениях и расчётах, но также стоит помнить о том, что сам прибор может работать некорректно или вовсе выйти из строя из-за опасных для него отклонений. К примеру, если напряжение питания батарейки может отклоняться в большую сторону, а сопротивление резистора в меньшую, то это пагубно скажется на работоспособности светодиода. Учитывая данную проблему, следует использовать «потенциометр» с небольшим начальным сопротивлением, что не приведёт к уменьшению срока службы светодиода, и небольшим конечным сопротивлением, для его плавного затухания.

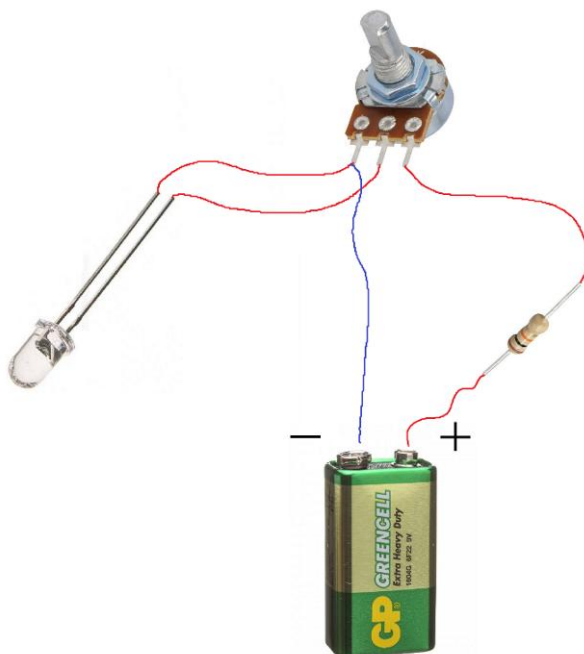


Рисунок 4 – Монтажная схема

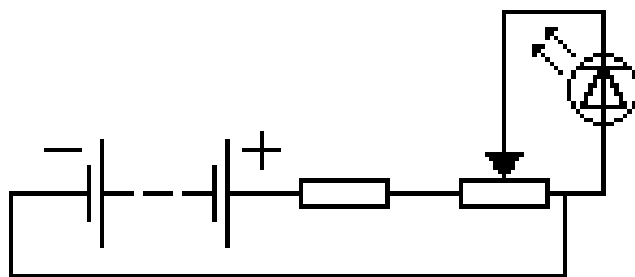


Рисунок 5 – Принципиальная схема

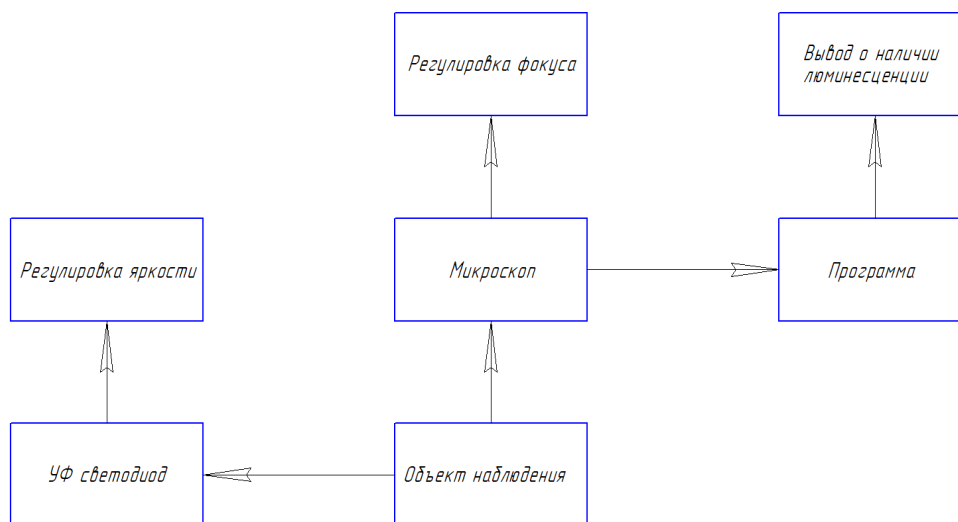
Стоит отметить, что общее сопротивление будет являться суммой сопротивлений, из-за последовательного подключения резисторов.

Ниже представлены монтажная и принципиальная схемы прибора соответственно:

В результате небольшой модернизации, прибор был заново собран. Его вид с крышкой и без представлен на рисунке:



Рисунок 6 – Вид прибора с крышкой и без неё  
Структура работы прибора представлена ниже:





Данное улучшение позволит удобно пользоваться данным прибором, особенно, когда в связи с большим количеством исследований приходится долго работать. А в зависимости от наблюдаемого объекта, будет возможна тонкая настройка яркости.

#### Литература

1. Хотеев А.А., Филатов Д.А., ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ВАРИАНТ ЛЮМИНОСКОПА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ // ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА: матер. восемнадцатой междунар. науч.-техн. конф., г. Смоленск, 22-23 апреля 2021, Т. 2. Секции 4, 5 – Смоленск: Универсум, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2021–С.271-273.

2. Переменный резистор 16K1-B1K, L20KC [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/492/DOC001492227.pdf>, свободный.

*А.А. Хотеев, студ.; М.В. Беляков, проф.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)  
А.Ю. Титов, учащийся; Д.А. Филатов, учащийся; рук. Т.П. Титова  
(МБОУ «Лицей №1 им. Академика Б.Н. Петрова»)*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ ДЛЯ ЧИСТКИ ЗУБОВ ПРИ ПОМОЩИ ЛЮМИНОСКОПА**

Для поддержания красоты и целостности зубов следует не только питаться здоровой пищей, но и придерживаться правил личной гигиены полости рта. Если в давние времена стоматология была полным кошмаром, то сейчас она довольно хорошо развита, причем даже по рассказам взрослых ещё можно услышать ужасающие истории о лечении зубов того времени. К счастью, все эти ужасы позади. Сегодня даже в самой заштатной клинике есть рентгеновский аппарат и действенные средства для обезболивания, а современные протезы выглядят так, что их не отличить от настоящих зубов.

Актуальность исследований предлагаемых на потребительском рынке зубных паст заключается в изучении особенностей влияния этих средств на состоянии зубов. А это, в свою очередь, напрямую связано с химическим составом зубных паст, так как введение различных добавок, элементов, по-разному влияет на зубы. Так, например, большинство зубных паст содержат фтор, кальций и фосфор. Фтор укрепляет зубы, защищает эмаль, предотвращает развитие кариеса. В человеческом организме фтор содержится в зубах, костях, щитовидной железе и коже. Кальций и фосфор нейтрализует кислоты, выделяемые бактериями, предотвращая возникновение кариеса.

И всё же, каждый человек, следящий за своими зубами должен понимать, какой пастой он их чистит. Дентин на 95% состоит из минералов. Нехватка какого-нибудь элемента, например, кальция или фтора, может привести к потере прочности эмали и вызвать кариозное разрушение. Именно по этой причине следует использовать лечебно-профилактические и укрепляющие пасты, способные нормализовать баланс минеральных веществ. Такие средства можно также чередовать с отбеливающими.

Стоит узнать, действительно ли производитель таких специальных зубных паст добавляет то или иное средство в свою продукцию и есть ли разница между этими пастами.

Цель данной работы: выяснить разницу между данными пастами с помощью метода электронной микроскопии при освещении светодиода ультрафиолетового спектра.

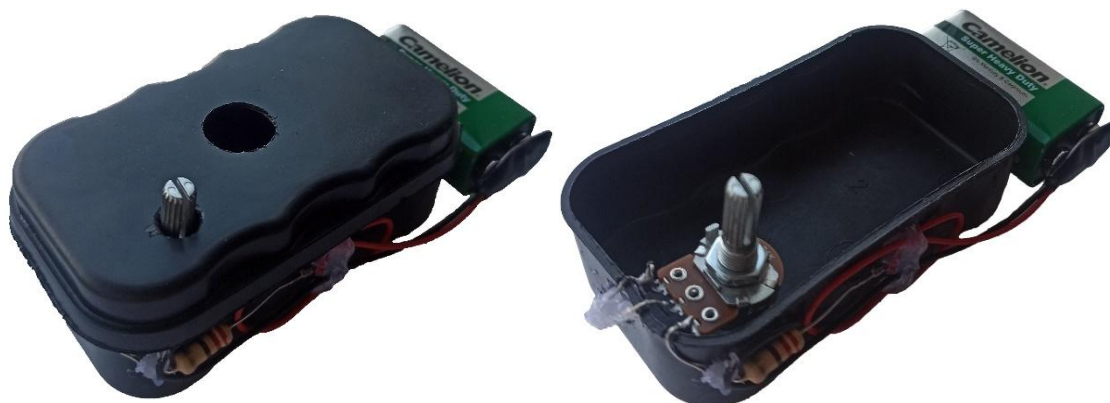


Рисунок 1 – Портативный люминоскоп

В прибор [1], представленный на рисунке 1 были помещены образцы зубных паст разного назначения. Для начала были сопоставлены пасты: 1) обычная, для ежедневной чистки зубов, содержащая фторид натрия с массовой долей  $1450 \text{ мг/м}^3$ ; 2) с минеральным комплексом, преимущественно содержащая кальций, а также с добавками фосфора, кремния, магния, ксилита 6% и других, но самое главное – не содержащая фтора. Её предназначение – это укрепление зубной эмали и как следствие – снижение чувствительности зубов; 3) отбеливающая, биоактивная зубная паста, содержащая полирующие частицы в сочетании с отбеливающим компонентом и некоторыми ферментами, расщепляющие зубной налет, как и второй образец, содержит ионы кальция для снижения чувствительности зубов, но имеет фториды с массовой долей  $1000 \text{ мг/м}^3$ , как первый образец.

Вид образцов в приборе представлен на рисунке 2.

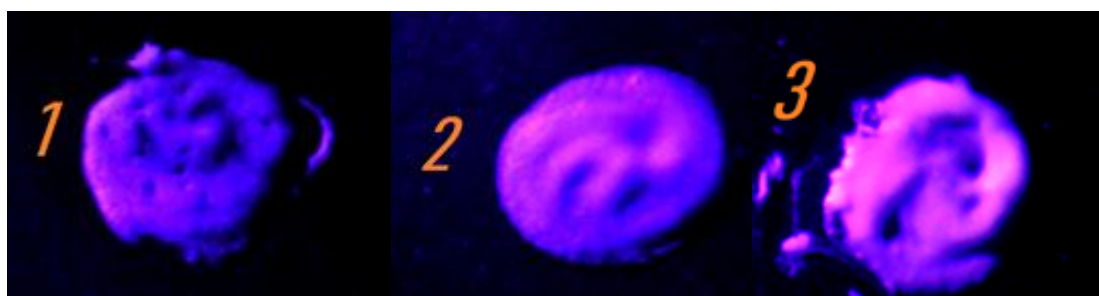


Рисунок 2 – Образцы зубной пасты под УФ

На рисунке 2: 1 – обычная паста; 2 – паста с минеральным комплексом; 3 – отбеливающая паста.

Как видно из рисунка 2, по сравнению с обычной зубной пастой, паста с минеральным комплексом даёт более выраженную люминесценцию за счет содержания кальция, а отбеливающая показывает самую яркую люминесценцию за счет сочетания кальция с отбеливающим комплексом.

В биологии существуют некоторые методы наблюдений за клетками, и одним из них является кальциевый имиджинг, основанный на оптическом измерении концентрации кальция с помощью флюоресцентных индикаторов, которые связываются с ионами кальция, которые способны излучать свет (флуоресцировать) при активации ультрафиолетом [2].

Данный метод имеет направленность на количественное измерение, в то время как собранный люминоскоп имеет качественное.

На рисунке 3 представлены те же образцы зубных паст, но без освещения УФ. Из фотографии видно, что обычная зубная паста отражает больше всего света, что не даёт нам точной информации о содержании того же кальция, а может свидетельствовать о других веществах. С помощью УФ излучения мы можем видеть действительную картину о содержании нужных нам веществ, в данном случае кальция или отбеливающих веществ, в чем и заключается польза люминоскопа.



Рисунок 3 – Образцы зубной пасты без освещения УФ

Также ещё были рассмотрены две пасты: 1) специальная, использующаяся при ношении ортодонтических скоб (брекетов); 2) цветная, ввиду содержания в ней биологических экстрактов (кора дуба, кедровое масло, и другие органические масла);

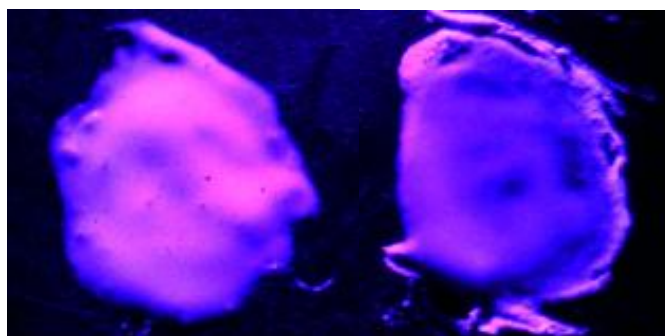


Рисунок 4 – Специальная паста и цветная (слева направо)

Исходя из рисунка 4 можно опять наблюдать похожую картину, что и в первый раз – паста с высоким содержанием кальция люминесцирует намного ярче, чем обыкновенная паста. Примеси в данной цветной пасте не влияют на люминесценцию.

#### Литература

1. Хотеев А.А., Филатов Д.А., ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ВАРИАНТ ЛЮМИНОСКОПА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ // ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА: матер. восемнадцатой междунар. науч.-техн. конф., г. Смоленск, 22-23 апреля 2021, Т. 2. Секции 4, 5 – Смоленск: Универсум, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2021–С.271-273.

2. Кальциевый имиджинг [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://cmi.to/calcium-imaging-метод-изучения-активности-нейроно/>, свободный.

*Т.В. Широких, к.т.н., доцент, В.Е. Иванов, к.т.н., доцент  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ЗАКЛАДОК ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЦВЕТА БРИЛЛИАНТОВ**

Оценить бриллиант по цвету – значит определить его цветовую тональность и степень отклонения окраски бриллианта от белого цвета, то есть цветовую насыщенность [1,2].

подавляющее большинство ювелирных алмазов имеют желтую окраску и в связи с этим шкала оценки цвета бриллиантов лежит в области от бесцветного до желтого (рис.1). Деление этой шкалы на группы по цветовой насыщенности определяется спросом на бриллианты и способностью человеческого глаза отделять друг от друга излучения разной насыщенности.



Рис.1 Эталоны цвета бриллиантов по системе оценки GIA

Перед каждым оценщиком бриллиантов часто встает вопрос, к какой цветовой группе отнести данный бриллиант. Это естественно, так как оценщик обладает определенным порогом цветоразличения по насыщенности. Причем каждый человек имеет свой индивидуальный порог как по цветовому тону, так и по насыщенности. Это обстоятельство уже предполагает несоответствие в визуальных оценках «спорных» по цвету бриллиантов

В данной работе затрагивается лишь одна сторона вопроса цветоразличения бриллиантов – выбор наилучшего поля сравнения, т.е. подбор материала для закладок при визуальном фотометрировании. Предлагаемая работа представляется актуальной еще и потому, что как в отечественной, так и доступной зарубежной литературе нет научно-обоснованных с колориметрической точки зрения рекомендаций по материалам, применяемым в качестве фоновых закладок при оценке цвета бриллиантов.

В технической литературе известно, что к «белым» относится целый ряд материалов: прессованный  $MgO$ ,  $BaSO_4$ ,  $MgCO_3$ , порошок полифторуглерода, нанесенные на подложки выкраски  $MgO$ ,  $BaSO_4$ , пигмента титаната магния, молочные стекла МС-14 и МС-20, фарфоры, светотехнические эмали на подложке, пластмассы, специальные бумаги.

Не всякие материалы могут быть использованы для оценки цвета бриллиантов: прессованные порошки грязнят бриллиант, выкраски на основе порошков разрушаются при эксплуатации, фарфор, эмали и пластмассы царапаются бриллиантом. Поэтому для проведения испытаний были выбраны специальные белые бумаги и молочное стекло марки МС-20 в качестве эталона белизны.

Предварительный отбор материалов проведен с использованием данных спектрофотометрических измерений коэффициента яркости, выполненной на лейкометре Цейса по отношению к белому эталону, коэффициент яркости которого принят за 100%. В таблице 1 приведены результаты этих измерений. Некоторые образцы бумаг имеют коэффициент яркости больше 100 % вследствие флуоресценции в области длин волн 330-400 нм.

Таблица 1 Коэффициенты яркости белых образцов

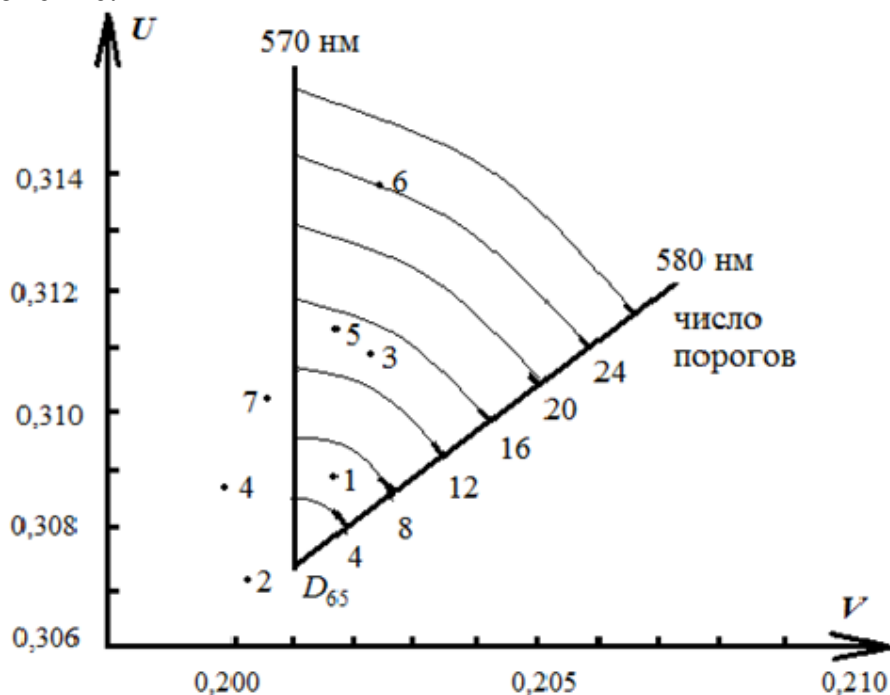
| Сорт бумаги   | Коэффициент яркости, % |
|---|------------------------|
| 1. Бумага фирмы « <i>Louis Glick</i> »                | 87,6                   |
| 2. Бумага фирмы « <i>Eickhorst&amp;Co</i> »           | 115,4                  |
| 3. Штампованная прокладка фирмы « <i>LouisGlick</i> » | 107,9                  |
| 4. Офсетная бумага №1 марки «Г»                       | 90,1                   |
| 5. Бумага по ГОСТ 2635-77                             | 99,1                   |
| 6. Молочное стекло                                    | 96,4                   |

Для полной характеристики цвета образцов бумаг, молочного стекла марки МС-20 и выкрасок на основе  $BaSO_4$  на приборе РМQ-3 [3] были измерены спектральные коэффициенты яркости этих образцов и рассчитаны их координаты цветности. Результаты расчета представлены на диаграмме цветности равноконтрастной системы  $u, v$  (рис.2) по отношению к стандартному белому источнику света  $D_{65}$ . Если принять по [4] пороговую разность цветности  $\Delta f = 0,0002$ , то цветность МС-20 отстоит на 3 цветовых порога от  $D_{65}$ , бумаги фирмы *Eickhorst&Co* на 6 цветовых порога, «Рубин и сын» на 15 и так далее.



Для выполнения экспериментальных исследований по выбору белых закладок использовали 56 бриллиантов весовой группы 0,40 – 0,59 кар, которые распределили по 4-м цветовым группам. Для более точного определения цвета бриллианта каждую цветовую группу разделили на 4 части (рис.3). На рисунке 3 шкала I характеризует визуальную оценку цвета бриллианта по отношению к эталону, II – пересчетная шкала, III - шкала фарб-чисел, характеризующих цвет бриллиантов, фарб-числа измерены на спектральном приборе *PMQ-3*[1].

В эксперименте принимали участие 10 оценщиков, каждый из которых присваивал бриллианту цвет от 0 до 15 по пересчетной шкале. Отклонение от приборной оценки (по фарб-числу) оценивалось погрешностью  $x_i = +1, +2, \dots$  или  $x_i = -1, -2, \dots$  в зависимости от того, в большую или меньшую сторону шло отклонение.



1 - выкраска  $BaSO_4$ ; 2 - MC-20; 3 - "Рубин и сын"; 4 - Кангас;  
5 - *Louls Glick*; 6 - ГОСТ 5.1244-72; 7 - ГОСТ 2635-77

Рис. 2 Координаты цветности бумаг в равноконтрастной колориметрической системе  $u, v$

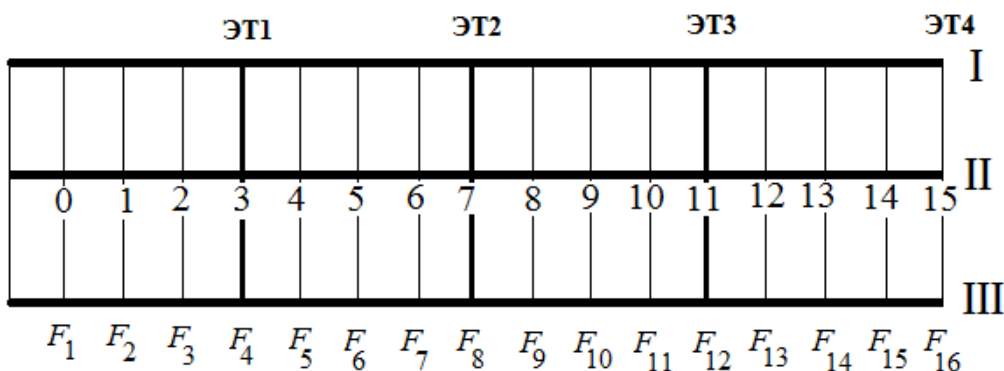


Рис. 3 Шкала визуальной и приборной оценок цвета бриллиантов

По результатам сравнения визуальной и приборной оценки построены «полигоны распределения», где по оси абсцисс откладывались значения визуальной погрешности ( $x_i$ ), а по оси ординат – частота появления ошибок ( $n_i$ ). Полигоны были построены для значений ошибок, совершенных каждым оценщиком на всех исследуемых закладках при естественном (дневное освещение северной части неба без прямых солнечных лучей) и искусственном (люминесцентными лампами) освещении.

Статистическая обработка результатов эксперимента позволила построить суммарный полигон ошибок для всех типов закладок при двух видах освещения.

В качестве примера на рис. 4 приведены распределения визуальных ошибок определения цвета бриллиантов при использовании бумаги фирмы «Eickhorst&Co» и молочного стекла МС-20.

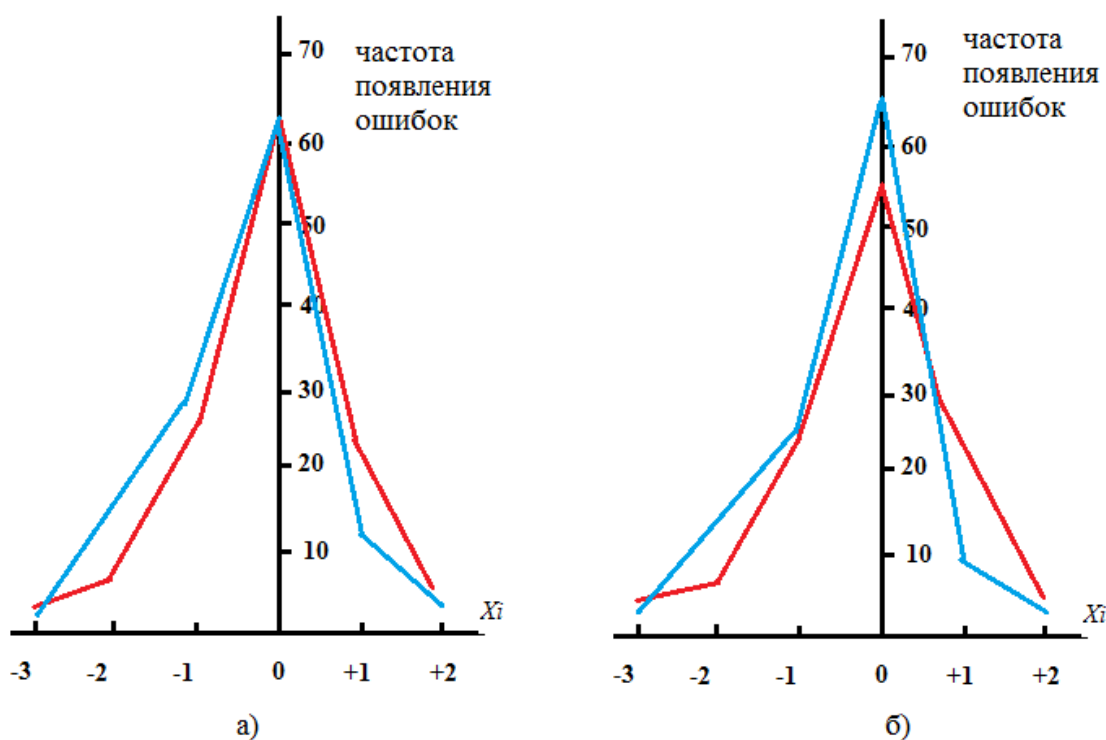


Рис.4. Распределение визуальных ошибок определения цвета бриллиантов при использовании молочного стекла МС-20 (рис. а) и бумаги фирмы «Eickhorst&Co» (рис. б) при искусственном (красные линии) и естественном (синие линии) освещении.

В качестве выводов можно отметить следующее:

1. При работе оценщиков цвета бриллиантов в условиях изменяющегося освещения целесообразно использовать в качестве закладок молочное стекло МС-20.

2. В условиях стабильного искусственного освещения бумаги марок «Louis Glick», «Eickhorst&Co», «Рубин и сын» (см. рис.2) могут быть рекомендованы в качестве закладок, хотя профессиональные оценщики отдают предпочтение бумаге фирмы «Eickhorst&Co»

#### Литература

1. Бочаров А.М., Ньюбин В.В., Широких Т.В. Исследование условий оценки цвета бриллиантов. Материалы VI Российской конференции с участием зарубежных специалистов “Физика и технология алмазных материалов”. -М.: АО Полярон, 1996.
2. Широких Т.В. Анализ факторов, влияющих на цвет бриллиантов.-Энергетика, информатика, инновации –2013- ЭИИ-2013: Сб. трудов III-й Международной научно-технической конференции в 2-х томах. Т.2 Секции
4. Смоленск: филиал МЭИ в г. Смоленске, 2013.-187-189
3. Широких Т.В., Иванов В.Е. Измерение цвета бриллиантов. Светотехника №3, 2018.- с. 38-42
4. Д. Джадд, Г. Вышецки Цвет в науке и технике.-М.: Изд. «Мир», 1978, 592 с.



**СОДЕРЖАНИЕ**  
**Научный симпозиум**

**«ЛОГИСТИКА И ЭКОНОМИКА РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ И  
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ(ЛЭРЭП)»,  
посвященный Академику РАН Валерию Павловичу Мешалкину**

1. *Кавченков В.П., Кавченкова Е.В. МОДЕЛЬ ДОЛГОСРОЧНОГО РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ АВСТРАЛИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ* 3
2. *Шунаев С.А., Иванов Д.А., Питерский Н.С. МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОГО ТРАНСПОРТА* 7
3. *Качнов К.А., Трушаков Р.В. ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ* 11
4. *Панченко С.В., Широких Т.В., Докучаев С.М. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ЭКОНОМИКИ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ* 14
5. *Уткин А.А., Семионов Е.В, Трушаков Р.В. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ЭНЕРГИЙ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА И СОЛНЦА* 18
6. *Федотов В.В., Рожков В.В. ПРЕДПОСЫЛКИ К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЗИЦИОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ* 22
7. *Булыгина О.В. ГИБРИДНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ПРОЕКТОВ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ* 27
8. *Василькова М.А., Зедаина А.В. ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ* 30
9. *Ковалев Н.С., Лобанева Е.И. АНАЛИЗ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ ПОЛИФОРМАТНЫХ И РАЗНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ* 35
10. *Лобанева Е.И., Пучков А.Ю. РЕДУКЦИЯ ОБУЧАЮЩИХ НАБОРОВ ДАННЫХ ДЛЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ* 38
11. *Михайлов Е.А. Булыгина О.В. ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ* 43
12. *Перепечкин П.А., Тютюнник А.А. СХЕМА ИНТЕГРАЦИИ МОДЕЛЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ* 46
13. *Перепечкин П.А., Тютюнник А.А. РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ КЛИЕНТОВ НА БАЗЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ* 50

14. Пучков А.Ю., Василькова М.А. МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ДАННЫХ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЧАСТНОГО СЕКТОРА 55
15. Беляков М.В. СПЕКТРАЛЬНЫЙ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА 59
16. Бобков В.И., Снытко Ю.Н. АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ИНФРАКРАСНОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА УСТОЙЧИВОГО К КАЧКЕ 63
17. Зедаина А.В., Оноприенко А.Г. РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ КАПИТАЛА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ 67
18. Кириллова Е.А., Даниленко Н.А. АНАЛИЗ ПОДХОДОВ И СИСТЕМ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ, РЕАЛИЗУЕМЫХ В РАМКАХ КООПЕРАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ 71
19. Кириллова Е.А., Жлобницкий М.Д. АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИЙ В ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО РОССИИ 76
20. Лебедева М.Ю., Пименова А.Д., Устиненкова А.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИИ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ 78

## СЕКЦИЯ 1

### ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

1. Вайтеленок Л.В. ИММИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В СРЕДЕ SIMINTESN 83
2. Долецкая Л.И., Солопов Р.В., Андреенков Е.С. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-10 кВ 88
3. Кавченков В.П., Назаров А.А. ВЫБОР ПРИОРИТЕТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РЕЖИМНОЙ НАДЕЖНОСТИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭЭС 91
4. Кудянова Д.В., Андреенков Е.С. ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОСЕТЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДАТА-ЦЕНТРОВ 95
5. Кудянова Д.В., Андреенков Е.С., ЗАРЯДНЫЕ СТАНЦИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ МИКРОСЕТЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА 98
6. Мурашкин А.А., Шунаев С.А. «СКРУГЛЕНИЕ» СИНГУЛЯРНОСТЕЙ ПРИ РАСЧЕТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ 101
7. Тарасов Д.Ю., Ковжевкин В.С. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИНИЙ И ВСТАВОК ПОСТОЯННОГО ТОКА 104
8. Шунаев С.А., Громовой М.В., Горюнова А.Д., Ларченкова С.Р. К ВОПРОСУ НАДЕЖНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ТОПОЛОГИЙ МИКРОСЕТЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА 107

## СЕКЦИЯ 2

### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

1. Андреев Е.О., Кабанова И.А. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ 111
2. Богатырев А.Ф., Макеенкова О.А., Белалов В.Р. К РАСЧЕТУ ТЕРМОДИФФУЗИОННОЙ ПОСТОЯННОЙ ПРИ НИЗКИХ ДАВЛЕНИЯХ 115
3. Божин Ю.М., Геращенко Н.Д., Мансуров Т.А., Мизеркин А.Г. ПОЛЕВОЙ РАСЧЕТ ОХЛАЖДЕНИЯ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ СРЕДАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ 118
4. Галковский В.А., Федоров П.А. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 122
5. Галковский В.А., Халютин С.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ НА ИСТОЧНИКЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ 125
6. Демин А.С., Саватеева И.С. ОЦЕНКА СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИСТОЧНИКОМ ТОКА 129
7. Кабанова И.А., Колденкова Т.А., Овсянникова А.С. БИВАЛЕНТНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ТЕПЛОВОГО НАСОСА В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ 132
8. Кабанова И.А., Овсянникова А.С., Колденкова Т.А. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛО И ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ 136
9. Кабанова И.А., Рябцев А.А. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОЭЖЕКТОРНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЕПЛА 141
10. Кабанова И.А., Мосин Е.В. РАЗВИТИЯ ИНТЕГРАЦИИ: ПОНЯТИЯ, ФУНКЦИИ, ЗАДАЧИ 143
11. Кабанова И.А., Смыков И.И. ЛУЧИСТЫЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ 146
12. Коваль А.С., Кондратенко А.Г. МОДЕЛЬ БЕЗРЕДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛИФТА НА БАЗЕ НИЗКОСКОРОСТНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПОТОКА 149
13. Крутиков К.К., Рожков В.В., Федотов В.В. ОСОБЕННОСТИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ДО НАСЫЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА ПОД НАГРУЗКОЙ АНАЛИТИЧЕСКИМ И ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ 154
14. Крутиков К.К., Рожков В.В. ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНАХ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 159
15. Куренков К.А., Бобылёв М.Г. ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЪЁМА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СИСТЕМАХ ГВС 164

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 16. | <i>Любова Т.С., Воловичев И.П. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ</i>   | 167 |
| 17. | <i>Любова Т.С., Лизанец С.В. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ</i>   | 170 |
| 18. | <i>Любова Т.С., Рамазанов Р.И. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДЕГАЗАЦИИ ВОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ</i>  | 172 |
| 19. | <i>Максимкин В.Л., Кулик Ю.Д., Самоченков А. Ю. ПОИСК АЛЬТЕРНАТИВНЫХ УПРОЩЁННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЁТА ВИД</i>  | 175 |
| 20. | <i>Михайлов В.А., Беззубенков Д.В. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ВОДНО-ХИМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ</i>  | 179 |
| 21. | <i>Михайлов В.А., Малахов О.В. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛОЙ КОГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЗОН</i>  | 181 |
| 22. | <i>Михайлов В.А., Позняков И.А. ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ</i>  | 184 |
| 23. | <i>Михайлов В.А., Федосова Т.Ю., Горбатовский Д.В. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОКОРТУРНОЙ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ С КОТЛОМ-УТИЛИЗАТОРОМ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ</i> | 186 |
| 24. | <i>Новиков Г.Ю., Перевозчикова Н.Д., Овсянникова А.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ОТЕЧЕСТВЕННОМ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ</i>                                 | 190 |
| 25. | <i>Новикова Е.Г., Новиков Г.Ю. СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ НЕЗАВИСИМЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ С ВКЛЮЧЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ «ЗЕЛеной ЭНЕРГЕТИКИ»</i>   | 193 |
| 26. | <i>Панченко С.В., Пучков А.Ю., Панченко Д.С. ТЕПЛОФИЗИКА СУХОЙ ГРАНУЛЯЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ</i>  | 196 |
| 27. | <i>Панченко С.В., Бобков В.И., Широких Т.В. ТЕПЛОФИЗИКА ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ В СЛОЕ ШИХТЫ ПРИ АГЛОМЕРАЦИИ</i>   | 202 |
| 28. | <i>Силкин И.В., Трушаков Р.В. ВЫБОР СПОСОБА ОРГАНИЗАЦИИ ПОДПИТКИ МЕСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ</i>   | 206 |
| 29. | <i>Трушаков Р.В., Томсон Г.К. АВТОНОМНЫЕ СРЕДСТВА ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИИ И ТЕПЛОГЕНЕРАЦИИ</i>  | 208 |
| 30. | <i>Федотов В.В., Рожков В.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ</i>                             | 211 |

31. Филиппенков К.Д., Рожков В.В. ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО ПОРЯДКА МЕТОДОМ СТАНДАРТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ПОЛИНОМОВ 216
32. Чернов В.А., Кисляков М.А., Кислякова Е.В. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ 221

### СЕКЦИЯ 3

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

1. Андреев М.А. ИЗМЕНЕНИЯ В КИБЕРУГРОЗАХ В 2020 ГОДУ 225
2. Болотов С.В., Захарченков К.В., Макаров Е.В., Фурманов В.А. ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ WELDINGCONTROL 227
3. Борисов А.В., Каспирович И.Е., Мухарлямов Р.Г. МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕГОЛОНОМНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ДВУМЯ ПОДВИЖНЫМИ АБСОЛЮТНО ТВЕРДЫМИ ВЕСОМЫМИ ЗВЕНЬЯМИ 230
4. Вителюева А.А., Тютюнник А.А. АНАЛИЗ ЗАЩИЩЁННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ЕДИНИЦЫ ПРИ ПОМОЩИ ОТКРЫТО-ЛИЦЕНЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ 234
5. Вителюева А.А., Тютюнник А.А. ПРИКЛАДНЫЕ СРЕДСТВА АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ИНТЕРНЕТ-СРЕДЕ 237
6. Денисов В.Н., Курилин С.П. МОДЕЛЬ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ 240
7. Зайченко Е.А., Барыгин А.А., Плотников А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ЗАЩИТЫ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОКЕТОВ PYTHON 244
8. Канищев О.А., Бобков В.И. АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТЬЮ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМОВ ЗИП 249
9. Каспирович И.Е. СТАБИЛИЗАЦИЯ СВЯЗЕЙ В ЗАДАЧЕ ВОРОНЦА 252
10. Козлов С.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПЛАТФОРМ В ПРОГРАММАХ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ 256
11. Курилин С.П. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ 259

12. Миненкова Е.А., Тютюнник А.А. НЕЙРОННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МОДИФИКАЦИЙ РНК-ЦЕПОЧЕК при ПОМОЩИ LSTM СЕТЕЙ 264
13. Миненкова Е.А., Тютюнник А.А. АНАЛИЗ СРЕДСТВА ГЕНЕРАЦИИ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ «METASPLOIT PAYLOAD GENERATOR» ФРЕЙМВОРКА METASPLOIT 267
14. Мухарлямов Р.Г., Бадяева В.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ «КОНЬ-НАЕЗДНИК» 270
15. Полячков А.В. МОДЕЛЬ МНОГОКООРДИНАТНОЙ АССОЦИАТИВНОЙ ПАМЯТИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НА FPGA 275
16. Сеньков А.В., Кузьмин А.И. ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ НЕФОРМАЛИЗОВАННЫХ ПУНКТОВ В АКТАХ О НЕСЧАСТНОМ СЛУЧАЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕ ПО ФОРМЕ H-1 ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ 278
17. Тихонов В.А., Козлова А.Р. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РЕЗЕРВИРУЕМЫХ СИСТЕМ 280
18. Фомченков В.П. СЕТЕВАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ИНТЕГРИРОВАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ 283
19. Мисник А.Е., Шалухова М.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ ВАФЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА 288
20. Якимов Е.А., Садовский В.Т., Барыгин А.С., Плотников А.А. ВЕБ-ПЛАТФОРМА ДЛЯ УДАЛЕННОГО ИЗУЧЕНИЯ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ 291
21. Якимов Е.А., Садовский В.Т., Плотников А.А., Барыгин А.С. ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УДАЛЕННОГО ИЗУЧЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ 296
22. Якимов А.И., Скрылев Н.П. ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ПО ВІМ ДОКУМЕНТАЦИИ 300

#### **СЕКЦИЯ 4**

##### **МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И ОПТОТЕХНИКА**

1. Амелин С.А., Клямеров К.П. ПРОЕКТИРОВАНИЕ SPICE-модуля ДРАЙВЕРА LED-СВЕТОДОВ С ЕДИНИЧНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ МОЩНОСТИ 304
2. Амелин С.А., Амелина М.А. ДЕЛИТЕЛЬНОЕ ЗВЕНО КАК ЭЛЕМЕНТ СРАВНЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ 308
3. Амелин С.А., Амелина М.А. ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА ЛОГОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ 312
4. Амелина М.А., Амелин С.А. ПОСТРОЕНИЕ НЕПРЕРЫВНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ С ПРОИЗВОЛЬНОЙ ТОПОЛОГИЕЙ В РЕЖИМЕ REAK CURRENT MODE 317

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 5.  | <i>Амелина М.А., Амелин С.А. НЕПРЕРЫВНЫЕ МОДЕЛИ СОСТАВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ</i>   | 323 |
| 6.  | <i>Андреев А.Д., Амелин С.А. РОБОТ-ОХРАННИК</i>   | 326 |
| 7.  | <i>Андреев А.Д., Амелин С.А. СОВРЕМЕННАЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ IP-КАМЕРА</i>  | 329 |
| 8.  | <i>Астахов С.П., Давыдов К.С. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОБОГРЕВА ЦЕХОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ</i>   | 332 |
| 9.  | <i>Астахов С.П., Строев Н.Н. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СХЕМАХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКОВ ГАЗОВ И ЖИДКОСТИ</i>                 | 334 |
| 10. | <i>Астахов С.П., Строев Н.Н., Поликарпов А.А., Григорьев В.В. ОСОБЕННОСТИ ОСНОВНЫХ КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПОДВЕСОВ ДЛЯ БВС</i>                | 339 |
| 11. | <i>Астахов С.П., Якименко И.В., Астахова Т.С. РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ СРЕДСТВ ИНДИКАЦИИ ПЕШЕХОДНОГО ПЕРЕХОДА НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ О ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ</i> | 342 |
| 12. | <i>Белов И.Н., Корогодова Я.В., Хрякова Е.С. ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ</i>   | 346 |
| 13. | <i>Беляков М.В., Ефременков И.Ю., Боровикова А.Н. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ СКИСАНИЯ МОЛОКА</i>               | 350 |
| 14. | <i>Беляков М.В., Ефременков И.Ю. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ СВЕТИЛЬНИКА «ОГОНЬ ЛИНЗОВЫЙ»</i>   | 353 |
| 15. | <i>Беляков М.В., Ефременков И.Ю. ПРОВЕДЕНИЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ «МАЯКА ВЕРТОДРОМНОГО»</i>   | 356 |
| 16. | <i>Беляков М.В., Янкин Н.А., Пятченков Д.С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА КАРТОФЕЛЯ</i>                 | 358 |
| 17. | <i>Борисенкова А.В., Рассказа Д.С. РАЗРАБОТКА ВОЛШЕБНОЙ ПАЛОЧКИ С ГОЛОСОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ</i>   | 362 |
| 18. | <i>Волков В.В., Филатов М.А., Строев Н.Н. РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО ТАЙМЕРА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ЗВУКОВОГО ОПОВЕЩЕНИЯ</i>  | 365 |
| 19. | <i>Волков В.В., Филатов М.А., Строев Н.Н. РАЗРАБОТКА УМНОЙ АЦЕТОНОВОЙ БАНИ</i>  | 368 |
| 20. | <i>Волков В.В., Филатов М.А., Строев Н.Н. РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ СОГЛАСОВАННОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ УСТРОЙСТВ СКАНИРУЮЩИХ СИСТЕМ</i>   | 370 |
| 21. | <i>Волков В.В., Филатов М.А., Строев Н.Н. ПРИНЦИПЫ И АППАРАТУРА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ</i>  | 373 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 22. | <i>Глинков С.Н., Амелина М.А. СРАВНЕНИЕ ОЧЕРЕДЕЙ ПАМЯТИ FIFO С РАЗЛИЧНЫМИ ИНТЕРФЕЙСАМИ НА ПЛИС ФИРМЫ XILINX</i>                              | 376 |
| 23. | <i>Глинков С.Н., Амелина М.А. СРАВНЕНИЕ АРХИТЕКТУР ПОСТРОЕНИЯ АЛГОРИТМА БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ НА ПЛИС ФИРМЫ XILINX</i>               | 379 |
| 24. | <i>Глинков С.Н., Амелина М.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА AXI4 В ПЛИС ФИРМЫ XILINX</i>  | 382 |
| 25. | <i>Гращенко Ю.С., Смолин В.А. СРАВНЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ СОБСТВЕННОЙ РАЗРАБОТКИ С МОДУЛЯМИ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ</i>           | 384 |
| 26. | <i>Гращенко Ю.С., Смолин В.А. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ВЫТЯЖКИ ДЛЯ КУХНИ</i>                          | 388 |
| 27. | <i>Гращенко Ю.С., Смолин В.А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ВЫТЯЖКИ ДЛЯ КУХНИ</i>   | 392 |
| 28. | <i>Гращенко Ю.С., Смолин В.А. ВОЗМОЖНОСТЬ ИНТЕГРАЦИИ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ С МОДУЛЯМИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ</i>                       | 395 |
| 29. | <i>Дроздецкий С.В., Бушуев И.С. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО КОНТУРА КОСОГО МОСТА С ПРЯМОХОДОВЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ ВТОРИЧНОЙ ОБМОТКИ</i>              | 398 |
| 30. | <i>Дроздецкий С.В., Еремин А.С. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО КОНТУРА ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ</i>                                       | 402 |
| 31. | <i>Дроздецкий С.В., Полищук Н.А. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ С ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ</i>  | 406 |
| 32. | <i>Дроздецкий С.В., Полищук Н.А., Юрченков А.Д. РАЗРАБОТКА ЛАЗЕРНОГО ЭЛЕКТРО-УКУЛЕЛЕ</i>   | 410 |
| 33. | <i>Дроздецкий С.В., Полищук Н.А., Юрченков А.Д. ПОСТРОЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ МОДЕЛИ ОДНОТАКТНОГО ПРЯМОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ</i> | 413 |
| 34. | <i>Дроздецкий С.В., Юрченков А.Д. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ МОДЕЛИ ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ЗВЕНЬЕВ КОРРЕКЦИИ</i>             | 418 |
| 35. | <i>Жбанов И.Л., Жбанова В.Л. МЕТОД НЕЛИНЕЙНОГО ШИФРОВАНИЯ ФОТО И ВИДЕО ИЗОБРАЖЕНИЙ</i>   | 421 |
| 36. | <i>Жбанова В.Л., Гафуров В.Р. СТРУКТУРА ФОТОКОЛОРИМЕТРА</i>  | 424 |
| 37. | <i>Жбанова В.Л., Марина А.В. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ОПТИЧЕСКОГО ВИЗИРА</i>                            | 428 |
| 38. | <i>Жбанова В.Л., Романкова Н.О. СПЕКТРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДЛЯ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ И СЖАТИЯ 3D-СЕТОК</i>  | 431 |
| 39. | <i>Жбанова В.Л., Антипова Ю.Д. РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СУБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ ЦВЕТОВЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ</i>                                      | 435 |



|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 40. | <i>Жбанова В.Л., Бешапошникова В.Д. УВИОЛЕВЫЕ СТЁКЛА ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ</i>  | 438 |
| 41. | <i>Жбанова В.Л., Соломатин В.А. ПАРАМЕТРЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШАБЛОНОВ МНОГОСЛОЙНЫХ СЕНСОРОВ</i>                       | 443 |
| 42. | <i>Зиенко С.И., Жбанова В.Л. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МАТРИЧНЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ</i>                               | 446 |
| 43. | <i>Зиенко С.И., Констанденков Р.Д. ОСОБЕННОСТИ КРИВОЙ ВИДНОСТИ ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА</i>  | 451 |
| 44. | <i>Зиенко С.И., Констанденков Р.Д. ОСОБЕННОСТИ МОНОХРОМНОГО И ДИХРОМНОГО ЗРЕНИЯ НАСЕКОМЫХ</i>  | 455 |
| 45. | <i>Иванова И.А., Амелин С.А. ПРОСТЕЙШИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ УГАРНОГО ГАЗА НА ОСНОВЕ МОДУЛЯ С ДАТЧИКОМ MQ-7</i>                         | 459 |
| 46. | <i>Клауга В.А., Клямеров К.П., Амелин С.А. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ВНУТРИПЕРИОДНОГО СЖАТИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ НА ПЛИС</i>             | 464 |
| 47. | <i>Клауга В.А., Клямеров К.П., Амелин С.А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЦЕХОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ</i>   | 467 |
| 48. | <i>Клямеров К.П., Дроздецкий С.В. РАЗРАБОТКА и моделирование работы ДВУХТАКТНОГО ПОЛУМОСТОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ</i>                         | 470 |
| 49. | <i>Ковалев В.А., Смолин В.А. УПРАВЛЕНИЕ СТЕНДОМ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА</i>       | 476 |
| 50. | <i>Комачев К.В, Каткова А.А. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ</i>   | 479 |
| 51. | <i>Костенков В.А., Якутина С.С. НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА</i>                              | 482 |
| 52. | <i>Лысенков А.А., Амелина М.А. УСТРОЙСТВО ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НА БАЗЕ ПРОГРАМИРУЕМОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ</i>             | 485 |
| 53. | <i>Лысенков А.А., Амелина М.А. КОМПЛЕКС СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЛОГО ПОМЕЩЕНИЯ</i>                   | 488 |
| 54. | <i>Лысенков А.А., Амелина М.А. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА АКУСТИЧЕСКОЙ ПАРКОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА</i>                           | 492 |
| 55. | <i>Ляпин А.И., Пивоварова Е.В., Хомченко А.В. К ВЫВОДУ ЗАКОНА ОМА ДЛЯ НЕОДНОРОДНОГО УЧАСТКА ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФОРМЕ</i> | 495 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 56. | <i>Мальшикина М.Е., Мальшикин В.В., Ермоченков М.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ РЕАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ</i>                           | 498 |
| 57. | <i>Могилевец Р.А., Рыжиков А.С., Якименко И.В. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ДШИ 200-1-1</i>  | 501 |
| 58. | <i>Найденев В.А. ПРУЖИННЫЙ МАЯТНИК КАК ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ</i>  | 504 |
| 59. | <i>Николаенков И.В., Смолин В.А. РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ</i>   | 506 |
| 60. | <i>Павловская В.А., Амелин С.А. ПЕРВИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ</i>   | 511 |
| 61. | <i>Павловская В.А., Амелин С.А. ВЕНТИЛЯТОР С ФУНКЦИЕЙ САМОНАВЕДЕНИЯ</i>   | 513 |
| 62. | <i>Пахомов Н.С., Якименко И.В. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЛЮСТРЫ</i>  | 516 |
| 63. | <i>Пляц Д.С., Блинов А.О. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ</i>  | 519 |
| 64. | <i>Подмастерьев А.О., Якименко И.В. СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПОМЕХ ДЛЯ ИНТЕРФЕЙСА RS-485</i>   | 522 |
| 65. | <i>Пронин Д.А., Амелина М.А. СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ В МАТЛАВ/SIMULINK</i>   | 525 |
| 66. | <i>Пронин Д.А., Амелина М.А. РАЗНОВИДНОСТИ СПЕКТРОАНАЛИЗАТОРОВ</i>  | 529 |
| 67. | <i>Пронин Д.А., Амелина М.А. ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ В МАТЛАВ/SIMULINK</i>   | 532 |
| 68. | <i>Пятченков Д.С., Парфененков И.А., Беляков М.В. РАСЧЁТ ЭФФЕКТИВНОЙ ОТДАЧИ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП ДЛЯ ТЕПЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ</i>                              | 537 |
| 69. | <i>Пятченков Д.С., Шумилин А.А., Беляков М.В. СВЕТИЛЬНИК ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУХА</i>  | 540 |
| 70. | <i>Пятченков Д.С., Янкин Н.А., Беляков М.В. ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СОЛАНИЗАЦИИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ</i>  | 543 |
| 71. | <i>Рассказа Д.С., Шляхтова М.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ И ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЛОКОВ УСТРОЙСТВА</i> | 545 |
| 72. | <i>Рассказа Д.С., Шляхтова М.С. ВЫБОР ОСНОВНОЙ КОМПОНЕНТОЙ БАЗЫ ДЛЯ БЛОКОВ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ</i>   | 550 |
| 73. | <i>Рассказа Д.С., Шляхтова М.С. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОРПУСА СТЕНДА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ</i>  | 553 |
| 74. | <i>Рыжиков А.С., Могилевец Р.А., Якименко И.В. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИТАРНОГО УСИЛИТЕЛЯ</i>                                    | 556 |

75. Смолин В.А., Мартынов Д.Д. РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА С ПИТАНИЕМ ПО ТОКОВОЙ ПЕТЛЕ 559
76. Снытко Ю.Н., Бобков В.И. ИСЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 562
77. Строев Н.Н., Козенова А.О. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ 565
78. Строев Н.Н., Козенова А.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАТИНОВЫХ РЕЗИСТОРОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ 570
79. Строев Н.Н., Коршунов Р.М. ВЫБОР ИНТЕРФЕЙСА СВЯЗИ ДЛЯ СИСТЕМ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32 573
80. Строев Н.Н., Коршунов Р.М., Пикулев Н.А. РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ GPS-ТРЕКЕРА 577
81. Строев Н.Н., Строева Е.В. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРИИ СЕГМЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И КОМПЛЕКСОВ 580
82. Устинов Н.И., Астахов С.П. СИГНАЛИЗАТОРЫ ОБЛЕДЕНЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ 582
83. Федулов Я.А., Федулова А.С., Войццицкий А.С. РАЗРАБОТКА РОБОТА, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕГО ДВИЖЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОТОКА ТЕПЛА 585
84. Фомченков А.О., Анисимов К.В., Якименко И.В. АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНФРАКРАСНЫХ ДАТЧИКОВ 589
85. Хотеев А.А., Беляков М.В. МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛЮМИНОСКОПА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ 594
86. Хотеев А.А., Беляков М.В., Титов А.Ю., Филатов Д.А., Титова Т.П. ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ ДЛЯ ЧИСТКИ ЗУБОВ ПРИ ПОМОЩИ ЛЮМИНОСКОПА 597
87. Широких Т.В., Иванов В.Е. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ЗАКЛАДОК ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЦВЕТА БРИЛЛИАНТОВ 600

Научное издание

ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2021  
(электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика,  
математическое моделирование и информационные технологии в производстве,  
микроэлектроника и оплотехника)  
Сб. трудов XI -ой Межд. науч.-техн. конф.  
Сборник трудов в 2-х томах  
Том 1

Подписано в печать 29.10.2021 г.

Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub> . Тираж 300 экз. Печ. л. 38,5 Усл. печ. л. 35,8.

Издательство «Универсум»

Отпечатано в издательском секторе филиала МЭИ в г. Смоленске  
214013 г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

ISBN 978-5-91412-476-9

