ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА

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

XVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

22 – 23 апреля 2021 г.

СБОРНИК ТРУДОВ

ТОМ 1

СЕКЦИИ 1,2,3

СМОЛЕНСК
2021

УДК 621.31+621.3+536+621.1+62.003+621.38
И74

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.
Кандидат технических наук, доцент Окунев Б.В.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве). Сб трудов XVIII-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 3 т. Т 1. – 2021. – 356 с.

ISBN 978-5-91412-466-0

В сборнике публикуются труды участников Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика», в которых изложены результаты оригинальных научно-технических работ в области электроэнергетики, электротехники и теплоэнергетики, математического моделирования и информационных технологий в производстве.

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

ISBN 978-5-91412-466-0

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

СЕКЦИЯ 1
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Г.А. Ариненков, студ.; рук. Д.Д. Гордиевский, ст. преп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ВЕЛИЧИНУ ЕЕ ПОТЕРЬ

Стремительное увеличение доли электроприемников с нелинейным и несимметричным характером нагрузки в процессе наращивания энергетических мощностей на последние десятилетия обусловлено бурным развитием и внедрением микропроцессорной техники во все сферы деятельности человека. Данное обстоятельство приводит к ряду негативных последствий, основным из которых является снижение качества электрической энергии (ЭЭ). В свою очередь, ухудшение качества ЭЭ не только негативно сказывается на работе электроприемников, но и увеличивает потери в электрических сетях, поэтому актуальным становится исследование влияния качества электрической энергии на величину ее потерь.

На сегодняшний день основным нормативным документом по расчету потерь ЭЭ в электрических сетях является Приказ Минэнерго №326 [1], в котором методы расчета потерь электроэнергии подразделяются в зависимости от точности и объема исходной информации на: метод оперативных расчетов, метод расчетных суток, метод средних нагрузок, метод числа часов наибольших потерь, метод оценки потерь по обобщенной информации. При этом в указанных методах не отражена необходимость учёта качества ЭЭ при расчете технических потерь, следовательно эта часть дополнительных потерь ошибочно относится к коммерческим потерям электроэнергии. Ввиду существенного увеличения доли нелинейных и несимметричных нагрузок, видится нецелесообразным модификация представленных в [2] методов расчета потерь электроэнергии с учетом ее качества.

Количественной характеристикой качества электрической энергии являются показатели качества электроэнергии (ПКЭ). Согласно [2] нормируются следующие ПКЭ: отклонение частоты, колебания напряжения и фликер, медленные изменения напряжения, несимметрия напряжений в трехфазных системах, несинусоидальность напряжения, прерывания напряжения, провалы напряжения и перенапряжения, импульсные напряжения.

Следует отметить, что в данной работе будет рассмотрено влияние лишь части ПКЭ, не учтенных в [1]. Согласно [3], несимметрия и несинусоидальность напряжений оказывают наибольшее влияние на величину потерь ЭЭ. Поскольку они являются интегральными характеристиками, то целесообразно исследовать влияние качества ЭЭ на величину ее потерь на примере метода средних нагрузок.

Дополнительные потери мощности вызваны протеканием тока несимметрии, а также токов высших гармоник по элементам электрической сети. Причем величина этих токов различна для вращающихся машин, силовых трансформаторов, линий электропередачи (ЛЭП) и батарей статических конденсаторов.

Дополнительные потери активной мощности для вращающихся машин определяются по формуле [3]:

$$\Delta P_{\text{ВМ}}=\left(K_2\cdot K_{2U}^2+K_v\cdot\sum_{v=2}^{\infty}b_v\cdot K_{U(v)}^2\right)\cdot P_н, \qquad (1)$$

где: K_2, b_v, K_v – вспомогательные коэффициенты, приведенные в [3];

K_{2U}, $K_{U(v)}$ – коэффициенты несимметрии напряжений по обратной последовательности и v-ых гармонических составляющих напряжения, характеризующие качество ЭЭ и определяемые согласно [2];

$P_н$ – номинальная активная мощность машины.

Тогда величина дополнительных потерь электроэнергии для вращающихся машин по методу средних нагрузок может быть определена по формуле:

$$\Delta W_{BM}=k_k\cdot\Delta P_{BM}\cdot T_j\cdot k_ф^2=k_k\cdot\left(K_2\cdot K_{2U}^2+K_v\cdot\sum_{v=2}^{\infty}b_v\cdot K_{U(v)}^2\right)\cdot P_н\cdot T_j\cdot k_ф^2. \qquad (2)$$

где: k_k – коэффициент, учитывающий различие конфигураций графиков активной и реактивной нагрузки различных ветвей сети;

$k_ф^2$ – квадрат коэффициента формы графика нагрузки за расчетный период;

T_j – продолжительность j-го расчетного периода, ч.

Дополнительные потери активной мощности в силовых трансформаторах:

$$\Delta P_T=\left(K_2\cdot K_{2U}^2+K_v\cdot\sum_{v=2}^{\infty}b_v\cdot K_{U(v)}^2\right)\cdot S_H. \qquad (3)$$

где: S_H – номинальная мощность силового трансформатора.

Тогда дополнительные потери электроэнергии в силовом трансформаторе:

$$\Delta W_T=k_k\cdot\Delta P_{T.cp}\cdot T_j\cdot k_ф^2=k_k\cdot\left(K_2\cdot K_{2U}^2+K_v\cdot\sum_{v=2}^{\infty}b_v\cdot K_{U(v)}^2\right)\cdot S_H\cdot T_j\cdot k_ф^2. \qquad (4)$$

Дополнительные потери активной мощности в ЛЭП:

$$\Delta P_{ЛЭП}=\left(3\cdot I_2^2+\sum_{v=2}^{\infty}a_v\cdot I_v^2\right)\cdot r. \qquad (5)$$

где: I_2, I_v – действующие значения токов обратной последовательности и v–й гармоники;

a_v – вспомогательные коэффициенты, приведенные в [3];

r – сопротивление фазного проводника ЛЭП.

Дополнительные потери электроэнергии в ЛЭП:

$$\Delta W_{ЛЭП}=k_k\cdot\Delta P_{ЛЭП}\cdot T_j\cdot k_ф^2=k_k\cdot\left(3\cdot I_2^2+\sum_{v=2}^{\infty}a_v\cdot I_v^2\right)\cdot r\cdot T_j\cdot k_ф^2. \qquad (6)$$

На основе полученных выражений дополнительных потерь электроэнергии в основных элементах электрических сетей, может быть произведена оценка экономического ущерба от неучета показателей качества электроэнергии при расчете ее потерь, который для двухставочного тарифа определяется по выражению:

$$\Delta Э = \sum_{i=1}^{n} a_i \cdot \Delta P_{\Sigma i} + \sum_{i=1}^{n} b_i \cdot \Delta W_i, \qquad (7)$$

где: a_i – стоимость 1 МВт мощности для двухставочного тарифа i-ого элемента системы электроснабжения, руб/МВт;

b_i – стоимость 1 МВт·ч электроэнергии для i-ого элемента системы электроснабжения, руб/МВт·ч;

n – количество элементов системы электроснабжения;

$\Delta P_{\Sigma i}$ – дополнительные потери мощности в i-ом элементе системы электроснабжения, МВт;

ΔW_i – дополнительные потери электроэнергии в i-ом элементе системы электроснабжения, МВт·ч.

Апробацию предложенной модификации метода средних нагрузок для расчета потерь ЭЭ произведем на примере подстанции 110/10 кВ и части ее распределительной сети (рисунок 1).

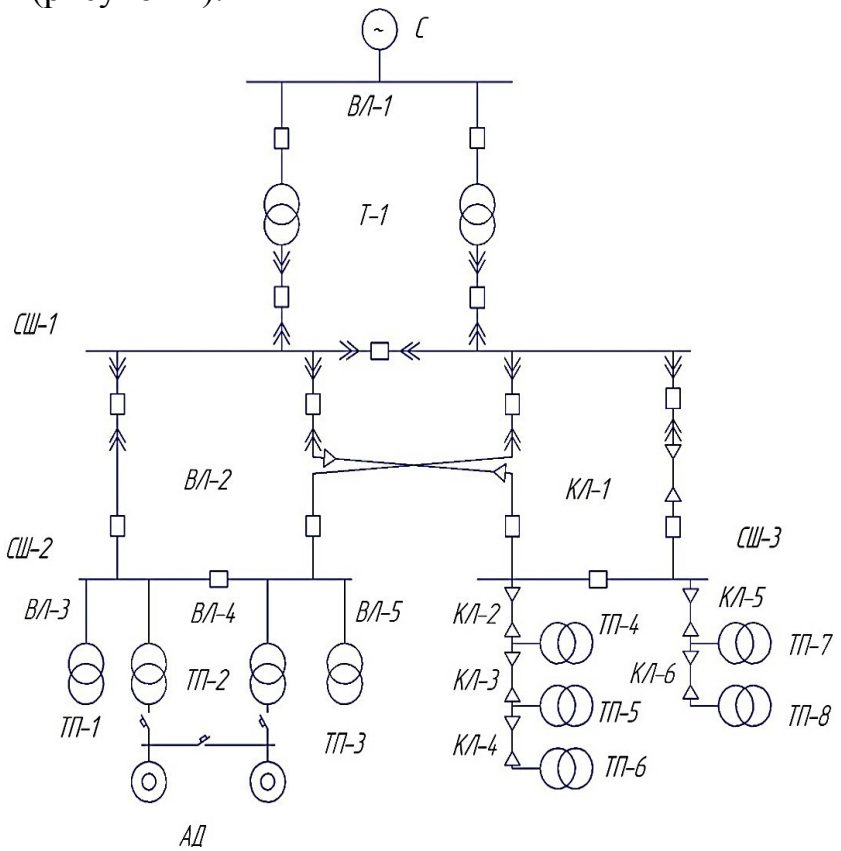


Рисунок 1. Схема ПС 110/10 кВ и части ее распределительной сети.

В таблицах 1-2 приведены необходимые для расчета параметры проводников и основного оборудования рассматриваемой сети. Годовой отпуск ЭЭ с шин распределительного устройства составляет $W = 186$ тыс. МВт·ч. Суммарная

нагрузка от группы АД составляет P_{Σ} = 400 кВт, мощность каждого двигателя составляет от 5 до 100 кВт. Для простоты расчета значения ПКЭ во всех точках сети приняты одинаковыми: K_{2U} = 2 %; $K_{U(5)}$ = 4 %; $K_{U(7)}$ = 3 %.

Таблица 1.

Параметры проводников ВЛ и КЛ

Обозначение	Проводник	$n_{Ц}$, шт	I_2, А	$I_{v(5)}$, А	$I_{v(7)}$, А	L, км
ВЛ-1	АС-120	2	20	14	6	50
ВЛ-2	АС-185	2	6	-	-	2
ВЛ-3	АС-150	1	1	-	-	0,4
ВЛ-4	АС-150	2	3	-	-	0,4
ВЛ-5	АС-150	1	2	-	-	0,4
КЛ-1	ААШв 3х240	2	-	4	2	3
КЛ-2	ААШв 3х185	1	-	1,5	0,55	1
КЛ-3	ААШв 3х240	1	-	1	0,4	0,2
КЛ-4	ААШв 3х185	1	-	0,5	0,35	0,6
КЛ-5	ААШв 3х150	1	-	0,5	0,35	0,5
КЛ-6	ААШв 3х150	1	-	0,5	0,35	0,65

Таблица 2.

Параметры силовых трансформаторов

Обозначение	Марка	$S_{НОМ}$, кВА	n	$k_з$
Т-1	ТДН 110/10	25000	2	0,7
ТП-1	ТМН 10/0,4	250	1	
ТП-2	ТМН 10/0,4	630	2	
ТП-3	ТМН 10/0,4	400	1	
ТП-4	ТМН 10/0,4	1000	1	
ТП-5	ТМН 10/0,4	250	1	
ТП-6	ТМН 10/0,4	400	1	
ТП-7	ТМН 10/0,4	250	1	
ТП-8	ТМГ 10/0,4	800	1	

Расчет дополнительных потерь мощности и электроэнергии производится по выражениями (1)-(6), его результаты приведены в таблицах 3-4.

Таблица 3.

Дополнительные потери электроэнергии в силовых трансформаторах

Обо-зна-чение	S, кВА	K_2	K_{2U}^2	K_v	b_v	$K_{U(5)}^2$	$K_{U(7)}^2$	ΔP, кВт	ΔW, МВт·ч
Т-1	25000	0,5	7^2	0,3	0,19	10^2	6^2	10	84,88
ТП-1	250	2,67	7^2	-	-	-	-	0,27	2,65
ТП-2	630	2,67	7^2	-	-	-	-	0,67	6,67
ТП-3	400	2,67	7^2	-	-	-	-	0,43	4,23

ТП-4	1000	-	-	1,62	0,19	10^2	6^2	0,77	7,63
ТП-5	250	-	-	1,62	0,19	10^2	6^2	0,19	1,91
ТП-6	400	-	-	1,62	0,19	10^2	6^2	0,31	3,05
ТП-7	250	-	-	1,62	0,19	10^2	6^2	0,19	1,91
ТП-8	800	-	-	1,62	0,19	10^2	6^2	0,62	6,10

Таблица 4.

Дополнительные потери электроэнергии ВЛ и КЛ

Обо-значе-ние	I_2^2, А	$I_{v(5)}^2$, А	$I_{v(7)}^2$, А	r, Ом	$a_{v(5)}$	$a_{v(7)}$	ΔP, кВт	ΔW, МВт·ч
ВЛ-1	20^2	14^2	6^2	6,75	3,2	3,7	100	120,9
ВЛ-2	6^2	-	-	0,16	-	-	0,02	0,17
ВЛ-3	1^2	-	-	0,08	-	-	$0{,}2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
ВЛ-4	3^2	-	-	0,04	-	-	$10 \cdot 10^{-3}$	0,01
ВЛ-5	2^2	-	-	0,08	-	-	$1 \cdot 10^{-3}$	0,01
КЛ-1	-	4^2	2^2	0,13	3,2	3,7	0,01	0,13
КЛ-2	-	$1{,}5^2$	$0{,}55^2$	0,17	3,2	3,7	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$13 \cdot 10^{-3}$
КЛ-3	-	1^2	$0{,}4^2$	0,03	3,2	3,7	$0{,}1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
КЛ-4	-	$0{,}5^2$	$0{,}35^2$	0,1	3,2	3,7	$0{,}1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
КЛ-5	-	$0{,}5^2$	$0{,}35^2$	0,10	3,2	3,7	$0{,}1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
КЛ-6	-	$0{,}5^2$	$0{,}35^2$	0,13	3,2	3,7	$0{,}2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$

Суммарные дополнительные потери мощности и электроэнергии в рассматриваемой сети составили ΔP_Σ=110 кВт; ΔW_Σ=247,93 МВт·ч.

Дополнительные потери ЭЭ относительно годового отпуска составят:

$$\delta W_\Sigma = \frac{\Delta W_\Sigma}{W} \cdot 100 = \frac{247{,}93}{186 \cdot 10^3} \cdot 100 = 0{,}13\%.$$

Анализ данных таблиц 3-4 показывает, что наибольшая доля дополнительных потерь ЭЭ приходится на ВЛ, что объясняется их большой протяженностью. Для рассмотренного конкретного примера учет ПКЭ оказывает относительно небольшое влияние на величину потерь ЭЭ, однако по мере увеличения разветвленности сети, а также ухужшения качества ЭЭ доля дополнительных потерь ЭЭ будет расти.

Экономический ущерб от неучета ПКЭ составит:

ΔЭ=964,6·110+1947,8·34,15+2400,7·8+1391,1·205,78=1,43 млн. руб,

где a_i и b_i, приняты согласно [4]: для ТП распределительной сети $b_i = 1947{,}8$ руб/МВт·ч; для АД $b_i = 2400{,}7$ руб/МВт·ч; для ВЛ-1 и Т-1 $b_i = 1391{,}1$ руб/МВт·ч; для всех элементов сети $a_i = 964{,}6$ руб/кВт.

Результат расчета экономического ущерба от неучета ПКЭ показывает, что его величина существенна, следовательно, при расчете технических потерь ЭЭ необходимо учитывать качество ЭЭ.

Литература
1. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. № 326.

2. Межгосударственный стандарт. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 32144-2013 – Издание официальное. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

3. Шидловский, А. К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов. – Киев: Наук. думка, 1985. – 268 с.
4. Атомэнергосбыт. Предельные уровни нерегулируемых цен на электрическую энергию (мощность). [Электронный ресурс]. https://atomsbt.ru/smolensk/. (Дата обращения 31.05.20).

П.С. Баранов, студ., Т.В. Иванова, студ.; рук. Л.И. Долецкая, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

МЕДОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4 кВ.

Совершенствование системы защиты распределительных электрических сетей напряжением 0,4 кВ от аварийных режимов является одним из эффективных направлений повышения их надёжности и бесперебойного электроснабжения потребителей электроэнергии.

Наименее надёжным элементом распределительных электрических сетей являются воздушные линии 0,4 кВ. При этом до девяносто процентов всех аварийных режимов приходится на однофазные короткие замыкания.[1]

Главной причиной этого являются однофазные короткие замыкания (ОКЗ) на нулевой рабочий провод и металлические конструкции (электрооборудование, заборы и т.д.).

Для проверки надёжности и чувствительности защитных аппаратов ВЛ 0,4 кВ – предохранителей и автоматических воздушных выключателей- необходимо определять значения минимальных токи ОКЗ в конце защищаемых участков линий. [2]

Сложность в определении величины тока ОКЗ заключается в влиянии на его величину большого количества факторов: материал и сечения проводов ВЛ (фазных и нулевого), тип, мощность, схема соединения обмоток трансформатора ТП 10/0.4 кВ, удаленность от ТП места КЗ и т. д.

Для определения таких токов используются два способа, которые могут давать различные результаты:

- способ замера;
- способ расчета токов.

Способ замера точнее, но не всегда возможно – при эксплуатации и при проектировании новых электрических установок. Поэтому применяют расчеты разными методами

В [3] приведены расчетные методы определения токов в электрических сетях. Так для расчета несимметричных режимов работы электрических сетей – токов ОКЗ применяются следующие методы расчета:

– «классический» – метод, в систему уравнений которого входят комплексные напряжения и токи фаз, а также составление уравнений ведется для всех фаз с учетом взаимной индукции между ними;

– метод симметричных составляющих – метод, в котором трехфазная несимметричная система представлена в виде суммы трех симметричных составляющих: системы прямой, обратной и нулевой последовательностей;

–производной от метода является метод петли «фаза-нуль», используемый в сетях 0,4 кВ. Главное преимущество этого метода – простота, а недостатками является сложение модулей комплексных сопротивлений, сопротивление нулевой последовательности ВЛ принимается равным сопротивлению прямой последовательности, не учитывается сопротивление питающей сети, не учитывается наличие электрической нагрузки;

– метод фазных координат – метод расчета установившихся и аварийных режимов при любой несимметрии. Недостаток метода – увеличенный объем обрабатываемой информации и работа с несимметричной матрицей узловых проводимостей.

Основными же методами расчета токов однофазного короткого замыкания на ВЛ 0,4 кВ являются:

– точный метод, основанный на методе симметричный составляющих;

– метод «петли фаза-нуль», предполагающий расчет полного сопротивления петли из основных составляющих расчетной схемы.

Ошибка будет в сторону увеличения общего сопротивления, т.е. даст запас с точки зрения гарантированного срабатывания защитного аппарата.

При применении точного метода выполняется расчет основных показателей сети с помощью схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей. Ток однофазного КЗ определяется по формуле:

$$I_к = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{срН}}{\sqrt{(2 \cdot r_{1сум} + r_{0сум})^2 + (2 \cdot x_{1сум} + x_{0сум})^2}}, \quad (1)$$

где $U_{срН}$ - среднее номинальное напряжение ступени точки КЗ, В; $r_{1сум}$, $x_{1сум}$ - соответственно суммарное активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности цепи до точки КЗ, Ом; $r_{0сум}$, $x_{0сум}$ - соответственно суммарное активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности цепи до точки КЗ, Ом;

В методе «петли фаза-нуль» ток однофазного КЗ рассчитывается по формуле:

$$I_к = \frac{U_ф}{\frac{Z_Т}{3} + Z_П}, \quad (2)$$

где $I_К$ – ток ОКЗ, А; $U_Ф$, - фазное напряжение сети, В; $Z_Т$ – полное сопротивление трансформатора току однофазного замыкания на корпус, Ом; $Z_П$ - полное сопротивление фазный провод-нулевой провод (петли «фаза-нуль»), Ом.

Для пяти ВЛ 0,4 кВ были рассчитаны токи однофазного короткого замыкания по рассмотренным методам. В таблице 1 приведены результаты расчетов, а также следующие характеристики электрической сети 0,4 кВ:

– номинальная мощность трансформаторов ТП 10/0,4 кВ, $S_{НТ}$;

–длина ВЛ, L, км.;

Таблица 1 –Токи ОКЗ.

№ ТП	$S_{НТ}$,кВА	L ВЛ, км	Ток ОКЗ, А	
			Точный метод	Метод «петли фаза-нуль»
1	63	0,76	122,8	123,9
2	250	0,65	200	257
3	250	0,97	143,55	171,4
4	40	0,45	172,88	184,83
5	40	0,89	183,66	186,3

Данные таблицы 1 позволяют сделать вывод, что значения токов, вычисленные методом «петли фаза-нуль» несколько превышают значения, вычисленные точным методом. Это позволяет гарантировать большую чувствительность защиты к токам ОКЗ, т. к. появляется запас по току при выборе защитного аппарата. В тоже время при больших объемах проверок защиты в эксплуатируемых сетях применение приближенного метода расчета токов ОКЗ значительно снижает их трудоемкость.

Литература

1. Валеев, Р.Г. Повышение уровня электробезопасности в электрических сетях напряжением до 1000 В при однофазных коротких замыканиях [Текст]: дис.....канд. тех. наук: 05.26.01. – Челябинск, 2014. – 220 с.

2. Кабышев А.В. Электроснабжение объектов. Ч. 2. Расчет токов короткого замыкания в электроустановках до 1000 В: учебное пособие / А.В. Кабышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009 – 168 с.

3.ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1кВ.— Введ. 1995–01–01.— М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003.

П.С. Баранов, студ.; рук. Л.И. Долецкая, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ«МЭИ» в г. Смоленске)

ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ ВЛ ПРИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРАХ

Одной из основных задач при строительстве воздушной линии (ВЛ) является выбор сечения проводов. От выбора их параметров в значительной степени зависят технико-экономические показатели системы электроснабжения потребителей, то есть выбор сечения проводов является оптимизационной задачей.

Задача оптимизации сечений проводов, разделяется на три составные части: выбор критериев оптимальности, составление математической модели и отыскание метода ее реализации.

В электроэнергетике для выбора оптимального варианта технического решения необходимо опираться на минимум затрат на сооружение и эксплуатацию ВЛ при условии, что сравниваемые варианты будут давать необходимый экономический эффект. В настоящее время в условиях рыночных отношений в качестве сравнительной экономической оценки различных вариантов технических решений используют суммарные дисконтированные затраты [1]. Эти затраты складываются из капиталовложений и издержек за срок службы объекта. Данный критерий был выбран и для решения задачи выбора оптимальных сечений проводов.

В качестве модели затрат на сооружение и эксплуатацию ВЛ была использована формула, полученная по методике, приведённой в [2].

$$З_t = \sum_{t=1}^{Т_{РАСЧ}} (К_t + И_t)\cdot(1+Е_{Н.П.})^{1-t} = a_0 \cdot U^{a_1} \cdot F^{a_2} \cdot n^{a_3} + \sum_{t=1}^{Т_{РАСЧ}} C_0 \left(\frac{I^2 \cdot \rho \cdot l \cdot \tau}{n \cdot F}\right)(1+Е_{Н.П.})^{1-t} \qquad (1)$$

где $З_t$ – сумма дисконтированных затрат, тыс. руб.; $К_t$ – капитальные затраты в год t, тыс. руб.; $И_t$ – эксплуатационные издержки в год t, тыс. руб.; $Е_{Н.П.}$ – норма дисконта; t – текущие годы строительства и эксплуатации объекта; $Т_{РАСЧ}$ – срок службы объекта, лет; дисконтированные затраты приводятся к началу расчетного периода (t = 1); C_0 – удельные затраты на компенсацию потерь, тыс.руб./кВтч; I – расчетный ток линии, А; ρ – удельное активное сопротивление линии, Ом/км; l – длина линии, км; τ – время максимума потерь, ч; U – напряжение ВЛ, кВ; n – количество цепей линии; a_0, a_1, a_2, a_3 – коэффициенты аппроксимации капитальных вложений.

Выбор наилучшего решения при использовании детерминированных моделей (моделей с фиксированными параметрами) вида (1) соответствует минимуму критерия оптимальности З. Для выбора оптимального сечения провода необходимо исходить из минимума затрат на сооружение и эксплуатацию ВЛ при условии, что сравниваемые варианты линий с различными сечениями обеспечивают требуемый энергетический эффект.

Сечение проводов ВЛ является дискретной величиной и при детерминированных исходных параметрах имеет место существование интервалов нечувствительности экономически целесообразных сечений к изменению электрической нагрузки. Изменение нагрузки в пределах того или иного интервала не приводит к изменению экономически целесообразного сечения проводов ВЛ, соответствующему этому интервалу.

Для одноцепной ВЛ 110 кВ, сооружаемой на стальных опорах были рассчитаны составляющие формулы (1): удельные капиталовложения $К_t$ и затраты на эксплуатацию $З_t$. Результаты приведены в таблице 1 для проводов Расчеты выполнены для сечений проводов $120 \div 300$ мм^2 и изменении расчетного тока от 50А до 200А при следующих детерминированных исходных данных: $a_0 = 80{,}854$ тыс.руб.; $a_1 = 0{,}0667$ тыс.руб.; $a_2 = 0{,}427$ тыс.руб.; $a_3 = 0{,}646$ тыс.руб; $Т_{РАСЧ}$=10 лет; C_0=0,00202 тыс.ру./кВт·ч ; $\tau = 3570$ ч.; $n = 1$; $\gamma = 31{,}7$ м/Ом · мм^2.

Таблица 1 – Удельные капиталовложения и затраты на эксплуатацию ВЛ-110 кВ

№	Сечение провода F, мм^2	Удельные капиталовложения K_t, тыс.руб./км	Расчетный ток линии I_p, А	Затраты на эксплуатацию З, тыс.руб./км
1	2	3	4	5
1	120	854,4	50 100 150 200	933,9 1172,4 1569,8 2126,3
2	150	939,8	50	1003,4

			100 150 200	1194,2 1512,2 1957,3
3	185	1027,9	50 100 150 200	1079,4 1234,1 1491,9 1852,9
4	240	1148,7	50 100 150 200	1188,5 1307,7 1506,4 1784,7
5	300	1263,5	50 100 150 200	1295,4 1390,7 1549,7 1772,3

На рис.1 приведены кривые зависимостей значений критерия оптимальности от величины расчетного тока для применяемых сечений проводов З=f(I), построенные по данным таблицы 1. Из условия равенства затрат на сооружение и эксплуатацию ВЛ для сравниваемых смежных сечений F1 и F2 получены значения расчетных токов в точках пересечения кривых – границы экономических интервалов нагрузки проводов.

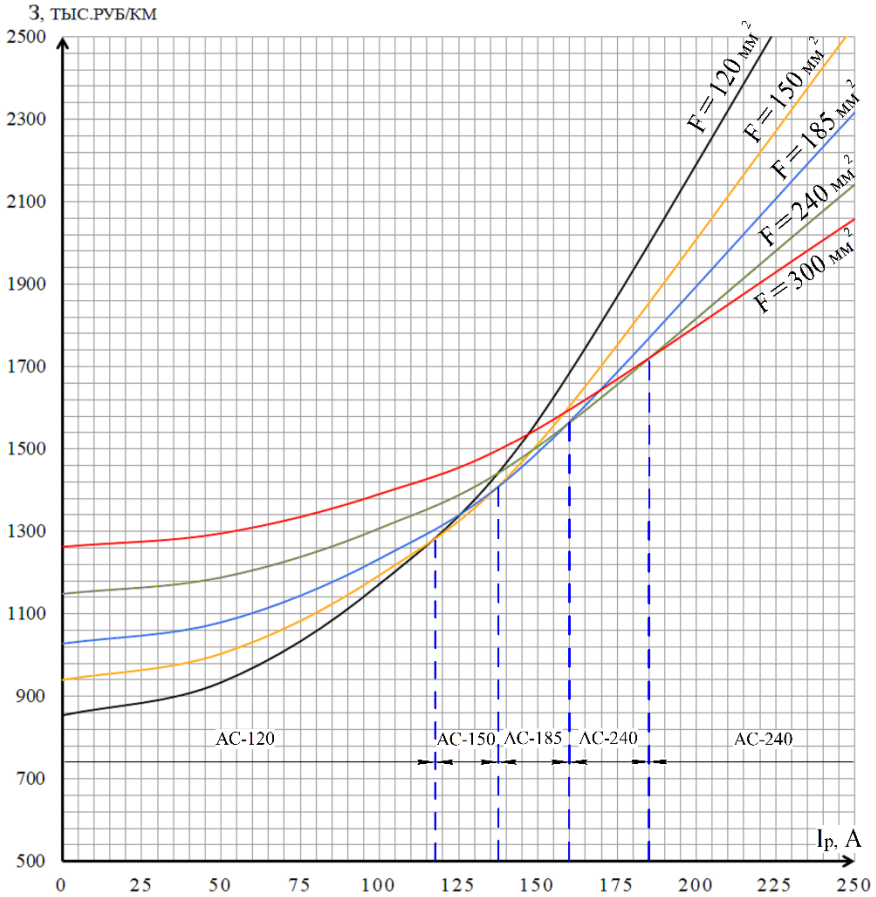


Рисунок 1 – Экономические интервалы сечений проводов для ВЛ-110 кВ, сооружаемой на стальных опорах

Для выбора экономически целесообразного сечения провода проектируемой ВЛ нужно отложить значение ее расчетного тока I_p по оси абсцисс и визуально определить, в экономический интервал какого сечения попадет значение I_p. Но удобнее пользоваться данными таблицы 2, в которой приведены полученные граничные значения токов для экономических интервалов нагрузки при применяемых сечениях.

По приведенному алгоритму могут быть получены экономические интервалы нагрузок для выбора сечений проводов ВЛ при различных значениях детерминированных параметров, соответствующих условиям сооружения и эксплуатации ВЛ по напряжению, стоимостным показателям, показателям электропотребления и др.

Таблица 2 – Экономические интервалы сечений проводов ВЛ

Интервал I_p, А	0÷118	118÷138	138÷160	160÷185	>185
F, мм^2	120	150	185	240	300

Литература

1. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с. : ил.
2. Баранов П.С., Иванова Т.В., Долецкая Л.И. Математическая модель затрат на сооружение и эксплуатацию линий электропередач // «Информационные технологии, энергетика и экономика» (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделтрование и информационные технологии в производстве). Сборник трудов XVII-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 3 т. Т 1. филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. 2020 с. 3-5. (16-17 апреля 2020 г. в филиале ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

О.К. Бешта, А.А. Мурашкин, С.Н. Красикова, студ.; рук. С.А. Шунаев, ст.преп.
(Филиал ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в г. Смоленск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ КОМУТАЦИЯХ В СЕТЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Довольно большое количество промышленных электроприводов и технологических процессов для своего питания используют постоянный ток. Причем в таких случаях довольно часто необходимо изменять значение этого напряжения. Такие виды транспорта как метрополитен, троллейбусы, электрокары и другие виды транспорта получают питающее напряжения из сетей постоянного тока с постоянным напряжением. Современные электрические ВИЭ генерируют энергию на постоянном токе. [1] Однако, данные источники подключены через инверторы в единую энергосистему, в следствие чего увеличиваются потери. Кроме того, требуется дополнительное капиталовложение. Также в сети появляются гармоники, что снижает качество элетроэнергии. В данных условиях становится актуальной концепция распределенной генерации (известная также как концепция микросетей). В ней процессы генерации и потребления энергии на постоянном токе происходят без преобразования постоянного напряжение в синусоидальное, а затем наоборот.

На рисунке 1 изображена одна из возможных структурных схем сети постоянного тока. Система состоит из солнечной батареи, ветрогенератора и дизельного генератора, которые подключены к шине постоянного тока (DC-шине) через преобразователь постоянного тока с контролем максимальной мощности (*MPPT*) и регулированием напряжения на шине постоянного тока. Преобразователь постоянного тока обеспечивает синхронизацию системы с сетью во время запуска. К шине постоянного тока подключен аккумулятор через двунаправленный понижающий-повышающий преобразователь, который контролирует процессы заряда/разряда во время тяжелых для эксплуатации переходных процессов, таких как резкое изменение уровня инсоляции и различные аварийные режимы в системе. К выходным клеммам шины постоянного тока подключена нагрузка.

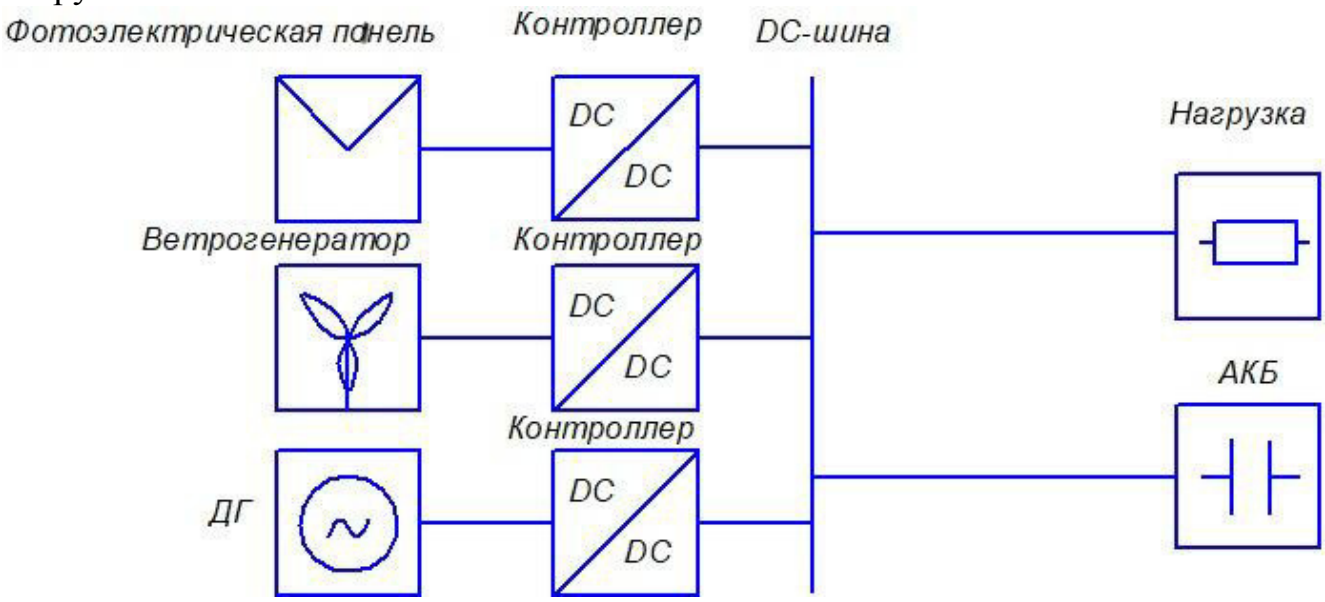


Рисунок 1 Блок-схема моделируемой сети.

Для осуществления связи между узлами используется концепция drop-контроля. Drop-контроль – концепция управления микросистемой, базирующаяся на изменении напряжения на шине постоянного тока, а именно на падении напряжения на шине, исходя из этого падения, с помощью логических элементов осуществляется подключение вспомогательных источников питания или же их отключение, при возвращении уровня напряжения в предшествующие состояние. В случае drop-контроля функция управления системой распределяется между контроллерами источников, расположенными по всей системе.

Для того чтобы подключение источников произошло, необходимо всегда знать минимально возможное рабочее напряжение на нагрузке, и не допускать падения напряжения ниже этого уровня, в связи с этим должен осуществляться постоянный контроль напряжения на шине. Так как нагрузка содержит индуктивные элементы, то при коммутациях в сети возможно возникновение переходных процессов. Соответственно данные переходные процессы при реализации drop-контроля на DC-шине могут привести к некорректной работе алго-

ритма управления этой сетью. Необходимо выяснить величину этих всплесков, чтобы в дальнейшем при реализации данной концепции отстраиваться от них.

Для оценки всплесков производилось математическое моделирование и просчитывалось «поведение» напряжения на шине в рамках математической модели. Моделирование проводилось с использованием программы «*Matlab Simulink*». Моделирование заключалось в изменении освещенности фотоэлектрического элемента, что могло приводить к условиям, необходимым для подключения или отключения источника от сети. И в момент коммутации возникали «всплески» напряжения. Модель системы приведена на рисунке 2.

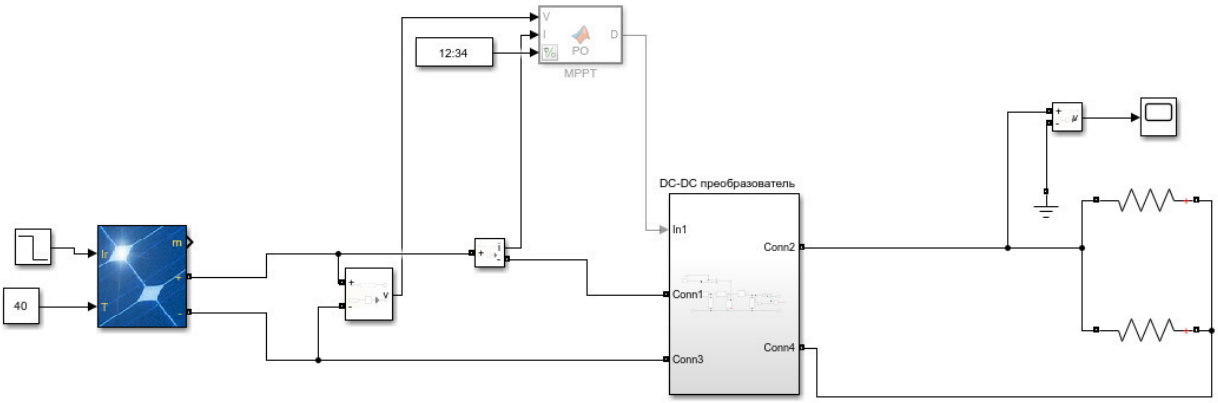


Рисунок 2 Модель системы без АКБ в *Simulink.*

Для моделирования работы преобразователя постоянного тока был выбран модуль *1Soltech 1STH-215-P*.

DC-DC преобразователь спроектирован по бустерной схеме (Рисунок 3), входное напряжение-40В, выходное 500В. Преобразователь управляется специальным блоком *Matlab Function*.

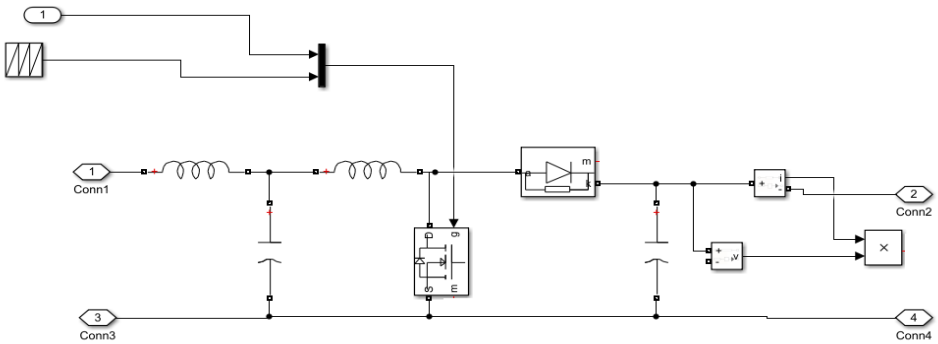


Рисунок 3 Схема *DC-DC* преобразователя

В цепи присутствуют амперметр (*current measurement*) и вольтметр (*voltage measurement*), необходимые для работы преобразователей, а также вольтметр измеряющий напряжение на шине. Нагрузка состоит из двух резисторов по 100 Ом.

Полученная графическая осциллограмма напряжения на шине постоянного тока представлена на рисунке 4.

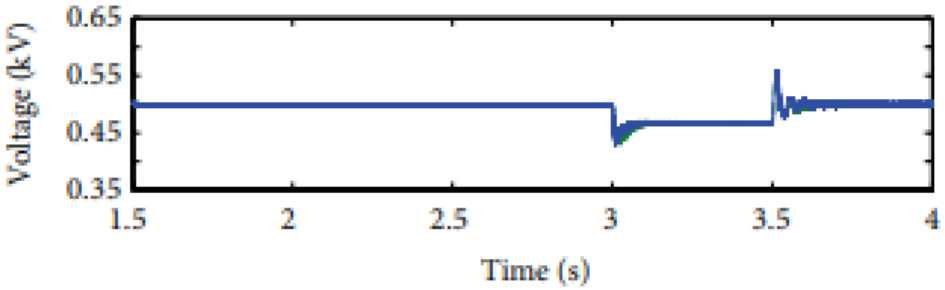


Рисунок 4-результаты опыта.

На рисунке 4 показана характерная работа контроллера, который после начала переходного процесса (3с) идентифицирует провал напряжения до 450 В и в дальнейшем начинает его восстановление приблизительно через 0.5с. Данное действие сопровождается резким скачком напряжения до 550В. Такой размах напряжения может негативно сказаться на электроприёмниках.

Таким образом, при построении стратегии управления топологией микросети постоянного тока путём реализации управления на основе drop-контроля на DC-шине необходимо отстраиваться от данных скачков напряжения.

Литература

1. Андреенков Е.С., Шунаев С.А. Разработка источника электроэнергии для автономных систем технических средств охраны на базе возобновляемого источника энергии //В сборнике: Наукоемкие инновационные технологии и экологическая безопасность в энергетике - 2019 Международная научно-практическая конференция. 2019. С. 6-12.

С.И. Блакунова, студ.; рук. Л.И. Долецкая, к.т.н,
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»в г.Смоленске)

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В системах электроснабжения потребителей (СЭС) одной из главных задач является обеспечение качества электроэнергии. Показатели качества электроэнергии по частоте, напряжению в электрических сетях СЭС и требования к их допустимым значениям приведены в [1]. Качество напряжения оценивается рядом показателей: отклонение напряжения, колебание напряжения, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности и др. При этом, важнейшим показателем является отклонение напряжения на зажимах электроприемников (ЭП), т.е в точках подключения ЭП к электрической сети. Согласно [1], отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать ±10 % номинального значения напряжения в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Значения отклонений напряжения на зажимах ЭП часто выходят за допустимые пределы и для соблюдения нормативных требований необходимо регулирование напряжения в питающих электрических сетях.

Для регулирования напряжения применяются следующие способы:

-генераторами электрических станций при изменении токов возбуждения;

-изменением параметров электрической сети;

-изменением величины передаваемой реактивной мощности при использовании устройств компенсации реактивной мощности;

-изменением коэффициентов трансформации трансформаторов на ПС электрических сетей при помощи устройств переключения ответвлений обмоток ПБВ (переключение без возбуждения) и РПН (переключение под нагрузкой).

На трансформаторах ПС электрических сетей, как правило, установлены устройства ПБВ и РПН. Их необходимо использовать в первую очередь, т.к. для регулирования напряжения не требуется дополнительных затрат.

Регулировочные ответвления устройств ПБВ трансформаторов 6-10/0,4кВ имеют пределы регулирования $\pm 5\%$. Трансформаторы с ПБВ необходимо отключать от сети для переключения регулировочных ответвлений. На трансформаторах напряжением 35 кВ и выше устройства РПН дают более широкий диапазон регулирования напряжения (до 16%) и не требуют отключения от сети для переключения регулировочных ответвлений [3].

При использовании устройств ПБВ и РПН необходимо выбрать закон регулирования с учетом параметров режима электрических сетей и особенностей работы потребителей электроэнергии.

Для регулирования напряжения применяются законы стабильного и встречного регулирования. Более эффективным является закон встречного регулирования, так как при его применении удается обеспечить допустимые отклонения напряжения одновременно для всех или большинства подключенных к электрическим сетям потребителей.

При выборе закона регулирования напряжения проводится электрический расчет сети и выбираются параметры устройств регулирования: ступени регулирования для трансформаторов с ПБВ; ступени и диапазоны регулирования, зоны нечувствительности для трансформаторов с РПН. Расчеты проводятся с учетом двух предельных режимов: наибольших и наименьших суточных нагрузок ЦП. Методика выбора параметров устройств регулирования напряжения трансформаторов приведена в [4].

За основу выбора параметров устройств регулирования принимается отклонение напряжения, диапазон отклонения на шинах 0,4 кВ потребительских подстанций ТП 6-10 кВ/0,4 кВ.

Отклонение напряжения в точках подключения ЭП не должно превышать допустимых значений:

$V_+ \geq V \geq V_-$ (1)

где V_+-верхнее допустимое отклонение напряжения;

V_--нижнее допустимое отклонение напряжения;

V-фактическое отклонение напряжения на вводах ЭП.

Тогда диапазон отклонения на шинах 0,4 кВ ТП :

-верхний предел $V_В = V_{++\Delta U_Б}$ (2)

-нижний предел $V_Н = V_{\mp\Delta U_У}$ (3)

где $\Delta U_Б$, $\Delta U_У$ - потери напряжения (%) от шин ТП 10/0,4 кВ, соответственно, до ближайшего электроприемника (ЭПб) и наиболее удаленного электропримника (ЭПу).

Выбор параметров устройств регулирования производится в следующем порядке:

Определяется отклонение напряжения на шинах 6-10 кВ ЦП (%) в режиме наибольших нагрузок:

$V'_ц = V'_В + \Delta U'_{БРТ} - E_1$ (4)

где $V'_В$ - наибольшее допустимое положительное отклонение напряжения на шинах до 1 кВ ближайшего к ЦП ТП; $\Delta U'_{БРТ}$ - потеря напряжения на участке от ЦП до шин 0,4 кВ ближайшего ТП в режиме наибольших нагрузок, E_1 - добавка напряжения ТП.

Определяется отклонение напряжения на шинах ЦП (%) в режиме наименьших нагрузок:

$V''_{ЦН} \geq V''_Н - E_1 + \varepsilon + \Delta U''_{БРТ}$, (5)

где ε - зона нечувствительности (разница между верхним и нижним напряжениями срабатывания) регулятора напряжения;

$V''_Н$ - наименьшее допустимое отклонение напряжения на шинах до 1 кВ ближайшего к ЦП ТП;

$\Delta U''_{БРТ}$ - потери напряжения на участке от ЦП до шин 0,4 кВ ближайшего ТП.

Для ПБВ рассчитываются добавки напряжения для ответвлений, зону регулирования, отклонение напряжения на шинах 10 кВ ЦП в режиме наименьших нагрузок:

$$V''_{нв} \leq V''_В + \Delta U''_{КРТ} - E_К, (6)$$

где $\Delta U''_{КРТ}$ – потери напряжения на участке от ЦП до шин 0,4 кВ ближайшего регулируемого трансформатора «к»-ой зоны (с добавкой E_k), $V''_В$ - верхний пределы отклонения напряжения в режиме наименьших нагрузок.

Для разветвленной распределительной сети, когда имеется несколько зон ТП с добавками E_k, отклонение напряжения на шинах ЦП в режиме наименьших нагрузок $V''_{ЦВ}$ определяется по уравнению (6) и по полученному значению производится настройка регулятора, в остальных случаях V''определяется из уравнения (5).

По рассмотренной методе был проведен выбор параметров устройств регулирования напряжения силовых трансформаторов при следующих исходных данных:

-диапазон регулирования РПН трансформатора 110 кВ ЦП: $\pm 9(\pm 1{,}5 \cdot 6)$;

-верхний и нижний пределы отклонения напряжения на шинах 0,4 кВ ТП в режиме наибольших нагрузок $V'_В = 8\%\, V''_В = 0$

-значения нагрузок участков ВЛ 10 кВ от ЦП;

-задана электрическая схема ВЛ 10 кВ.

В результате расчетов получены следующие результаты:

1.Потери напряжения по сети 10 кВ до двадцати двух подключенных ТП составили: минимальные потери $\Delta U_{л.min}$ =0,417…1,685 % ,

максимальные потери $\Delta U_{л.max}$= 1,666…6,740 % ,

потеря напряжения трансформатора $\Delta Uт = 4{,}324 \ldots 1{,}959\%$.

Суммарная потеря напряжения до шин 0,4 кВ ТП $\Delta U_{max} + \Delta U_{T}$ =5,990…8,699%.

2.Отклонение напряжения в режиме наибольших нагрузок на шинах 10 кВ ЦП (для ближайшей ПС 10/0,4):

$Vцп' = 13{,}990\%$.

Отклонение напряжения в режиме наименьших нагрузок на шинах 10 кВ ЦП:

$V''_{нв} = -7{,}23\%$,

3.Получены три зоны регулирования (зона, которая определяет величину отклонения напряжения от уставки, при которой регулятор не выдает команду на регулирование напряжения), три добавки напряжения для ответвлений ПБВ: $E_1 = 5\%$ на 10ти ТП, $E_2 = 7{,}5\%$ на 10ти ТП, $E_3 = 10\%$ на 2х ТП.

По итогам расчета можно сделать следующие выводы:

1.Отклонение напряжения не выходит за пределы регулировочной возможности РПН (-9%: $V''_{нв} \leq V'_{цп}$).

2.Необходимое положение ответвления регулятора в режиме наибольших и наименьших нагрузок. Для режима наибольших нагрузок отклонение напряжения на шинах 10 кВ ЦП $V'_{ЦП} = 8{,}99\%$. Ближайшим стандартным является ответвление (+1,5 $\cdot$ 6) = 9%. Для режима наименьших нагрузок $V''_{ЦП} = -7{,}23\%$, ближайшее стандартное ответвление (-1,5$\cdot$ 5)=-7,5%.

3.Ступень регулирования напряжения между двумя соседними ответвлениями $\delta U_{СТ,}(\%)$: $\delta U_{СТ} = 1{,}5\%$.

4.Диапазон регулирования трансформатора РПН:

$Д = [+9 - (7{,}5)] = 16{,}5\%$

5.Зона нечувствительности РПН составляет $\varepsilon = 1{,}8\%$

6.Регулирование напряжения на подстанции ЦП ($\pm 9\%$) обеспечивает необходимый уровень напряжения у потребителя.

Изложенная в данной статье методика может использоваться для решения задач по обеспечению качества напряжения в электрических сетях.

Список литературы:

1. ГОСТ 32144-2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

2. Ананичева С.С. ,Алексеев А.А. «Качество электроэнергии, регулирование напряжения и частоты в энергосистемах», Екатеринбург, 2012.

3. Михалков А.В.. «Что нужно знать о регулировании напряжения», 2003, ЭНАС, Библиотека электромонтера

4. Красник В.В. «Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств: Производственно-практическое пособие», 2012г ,НЦ ЭНАС,.

А.Д. Богданов, студ.; рук. Л.И. Долецкая, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

НОРМАТИВНЫЕ ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4 КВ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Одним из основных показателей эффективности работы электроэнергетических объектов при передаче и распределении электроэнергии является уровень потерь. На сегодняшний день электрические сети имеют большие потери электроэнергии - это значительные финансовые и материальные потери электросетевых компаний. За счет снижения потерь сетевые компании могут направить дополнительные средства на техническое переоснащение сетей, повысить уровень качества электроснабжения потребителей, обеспечить снижение электроэнергетических тарифов [1].

Для обеспечения снижения потерь электроэнергии в сетях необходимо затратить достаточно большие средства на проведения технического перевооружения системы, требующего больших капитальных вложений, и одним из способов снижения потерь является нормирование потерь электроэнергии.

В целом по электросетям РФ относительные потери составляют 12,22% от отпуска электроэнергии. Согласно экспертной оценке, предельные значения по относительным потерям электроэнергии в сетях не должны быть более 4-5%. [1]

На сегодняшний день для энергоснабжающих организаций (ЭСО) электрических сетей для качественной оценки работы применяются методы, основанные на принципе нормирования потерь электроэнергии, при котором устанавливаются значения нормативов потерь. Норматив потерь определяется и утверждается на регулируемый период времени (расчетный год) на основании уровня расчетных технологических потерь электроэнергии за отчетный период (отчетный год, предшествующий расчетному году).

Нормирование потерь электроэнергии проводится для решения следующих задач:

• выявление элементов электрических сетей с повышенным уровнем технических потерь;

• определения центров коммерческих потерь электроэнергии;

• определение и оценка резервов сетевого предприятия для обеспечения снижения сетевых потерь;

• оценка влияния основных факторов, характеризующих сетевую систему и ее режимы работы (например, электроснабжение, уровень рабочего напряжения, режимы работы сети) при их различных значениях, на уровень технологических потерь электроэнергии;

• выработка мероприятий для снижения потерь и оценка их фактической эффективности.

Значительный процент от уровня потерь электроэнергии в сетях с различными параметрами всех напряжений приходится на нагрузочные потери в линиях на 0,4 кВ – примерно 79%. Поэтому обоснование нормативов в сетях 0,4 кВ имеет важное значение.

В соответствии с [1] для определения уровня нагрузочных потерь в сети 0,4 кВ применяют следующие подходы:

1. определение величины потерь электроэнергии в линиях 0,4 кВ при соответствующем изменении потерь напряжения;

2. оценка уровня потерь электроэнергии в зависимости от схемы и нагрузки сети.

При рассмотрении потерь в сетях 0,4 кВ городских систем электроснабжения необходимо учитывать потери во внутренних сетях многоэтажных зданий с применением первого подхода.

Потери электроэнергии во внутренних электрических сетях (линиях) жилых зданий многоэтажной застройки от вводно-распределительных устройств (ВРУ) до квартир можно определять по разности показаний, снятых со счетчиков электроэнергии, расположенных на вводе в здание, и квартирных. Но в многоэтажные жилые дома старой застройки часто не оборудованы приборами учета электроэнергии на линиях внутри зданий, отходящих от ВРУ к квартирам. Счетчики электроэнергии установлены на линиях, питающих силовую нагрузку домов (лифты и др.). Для этих условий нужно проводить расчеты потерь мощности по отдельным элементам с учетом схемы, режимных параметров сети и особенностей конструктивной комплектаций питающих линий.

В основу расчета потерь электроэнергии в сетях 0,4 кВ внутри многоэтажных зданий предлагается использовать метод «числа часов наибольших потерь мощности», учитывая при этом значения потерь напряжения [2].

Потери в сети за установленный расчетный период Т (год) по формуле:

$$\Delta W = \Delta P_{max} \tau_0 \ ,$$

где ΔP_{max} – величина потерь активной мощности при работе на режимах наибольших нагрузок, кВт;

τ_0 - число часов относительно наибольших потерь мощности ч/год.

Внутренние питающие линии здания включают горизонтальные и вертикальные участки с подключением квартир – стояков. Для каждого участка линии использовано выражение, устанавливающее зависимость между потерей мощности $\Delta P_{уч}$ % и потерей напряжения $\Delta U_{уч}$, %:

$$\Delta P_{уч} = \Delta U_{уч} / cos^2 \varphi \, ,$$

где cosφ — коэффициент мощности электроприемников квартир.

На каждом участке разветвленных вертикальных линии (стояков) многоэтажных домов учитывается изменение числа присоединенных квартир, а, следовательно, нагрузка и потери напряжения.

В расчетах используется коэффициент одновременности $К_{0уч}$, зависящий от числа квартир, который рассчитывается как отношение удельной мощности n-ого количества квартир $Р_{уд}$ и удельной мощности на ввод для одной квартиры. Значения $К_{оуч}$ и $Р_{уд}$ применяются согласно нормативов [3]. Расчетная максимальная нагрузка $Р_{Руч}$, кВт на участках питающих линий определяется по формуле:

$$P_{руч} = K_{оуч} P_{уд} n_{уч} \ ,$$

где - $K_{оуч}$ - коэффициент одновременности участка;

$n_{уч}$ - количество квартир, данного участка линии.

Потери напряжения на любом участие линии $\Delta U_{уч}$, % рассчитываются по формуле:

$$\Delta U_{уч} = \frac{P_{уч} l_{уч}}{CF_{уч}}$$

или

$$\Delta U_{уч} = \frac{K_{оуч} P_{уд1} n_{уч} l_{уч}}{CF_{уч}} \ ,$$

где $l_{уч}$,- длинна вертикального участка принимается равной высоте этажа, м;

С – коэффициент, зависящий от конструктивного исполнения схемы, напряжения и материала проводников;

$F_{уч}$ - сечение проводника, мм^2.

Таким образом, потери мощности на участке определяются:

$$\Delta P_{уч} = \frac{K_{оуч}{}^2 P_{уд}{}^2 n_{уч}{}^2 l_{уч}}{100 CF_{уч} cos^2 \varphi}$$

Суммарные потери мощности в стояке $\Delta P_{ст}$ при количестве участков Z и одинаковых сечениях и длинах участков, что имеет место в вертикальных стояках зданий, определяются:

$$\Delta P_{ст} = \frac{P_{уд}{}^2 l_{уч}}{100 CF_{уч} cos^2 \varphi} \sum_{i=1}^{Z} K_{оуч\,i}{}^2 n_{уч\,i}{}^2$$

При значительной длине горизонтального участка от ВРУ до стояка, когда L_0 значительно больше, чем высота этажа, потери мощности для всей сети $\Delta P_{зд}$ определяются выражением:

$$\Delta P_{зд} = \Delta P_{уч} + \Delta P_{СТ} = \frac{P_{уд}{}^2}{100 CF_{уч} cos^2 \varphi} \left(K_{огу}{}^2 n_{гу\,i}{}^2 L_n + l_{уч} \sum_{i-1}^{Z} K_{оучi}{}^2 n_{уч\,i}{}^2 \right),$$

где $K_{ОГУ}$, $K_{ОУЧi}$ - коэффициенты одновременности соответственно для горизонтального участка, *i*-го участка стояка;

$n_{гу}$, $n_{учi}$ - количество квартир, присоединенных к горизонтальному, i-му участку питающей линии.

На основании представленной методики был выполнен расчет потерь электроэнергии во внутренних сетях 0,4 кВ двух пятиэтажных жилых домов. В каждом доме находятся 70 квартир и 4 стояка. Для городских ТП-10(6)/0.4 кВ в жилых районах с газовыми кухонными плитами в квартирах значения T_{max} на шинах 0,4 кВ принято равным 4500ч/год, время τ=3043 ч/год. Удельная активная нагрузка квартир равна $P_{ст} = 4{,}5$ кВт/кв., $cos\varphi = 0{,}94$ [3].

Для жилых домов рассчитаны:

а) потери активной мощности в стояках $\Delta P_{ст}$ при четырехпроводном исполнении и сечениях проводов от 25 до 35 мм^2 в зависимости от нагрузки стояка

(число присоединенных квартир и типа кухонных плит);

б) потери активной мощности горизонтальных участков питающих линий - при подключении к ним от одного до четырех стояков и по линиям в целом $\Delta P_{гу}$ при четырехпроводном исполнении и сечениях проводов от 25 до 50 мм^2 в зависимости от нагрузи линий;

в) суммарные потери мощности во внутренних сетях зданий $\Delta P_{зд}$.

Результаты расчетов двух зданий представлены в таблице 1.

Таблица 1

№ дома	$P_р$, кВт	Потери мощности, кВт		Потери, кВт
		$\Delta P_{ст}$	$\Delta P_{уч}$	$\Delta P_{зд}$
1	18,53	0,13	0,13	0,26
2	22,74	0,36	0,90	1,26
Всего	41,27	0,49	1,03	1,52

Отпуск электроэнергии во внутренние электросети домов:

$$W_\varepsilon = P_p T_{max} = 41{,}27 * 4500 = 185{,}72 \text{ тыс. кВт*ч}$$

Потери электроэнергии в электрических сетях 0,4 кВ жилых зданий:

$$\Delta W_{зд} = \Delta P_{зд} \tau = 1{,}52 * 3043 = 4625{,}4 \text{ тыс. кВт*ч}$$

Норматив потерь электроэнергии равен:

$$\Delta W_{зд}\% = \frac{\Delta W_{зд}}{W_\varepsilon} = 2.5\ \%$$

Рассмотренную в статье методику определения потерь электроэнергии можно рекомендовать для оценки нормирования потерь электроэнергии для различных типов жилых домов по числу этажей, количеству квартир и др. характеристиках.

Литература

1. Шведов Г.В., Сипачева О.В., Савченко О.В. Потери электроэнергии при её транспортировке по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение. Учебное пособие для вузов. Под редакцией Ю.С. Железко - М.: Издательский дом МЭИ, 2013.

2. Тульчин И.К. Нудлер Г.И. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий. - М: Энергоатомиздат, 1990.

3. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. РД 34.20.185-94(с дополнением раздела 2, утвержденным Приказом Минтопэнерго России от 29.06.99 №213) - М.: Энергоатомиздат, 1995.

К.О. Бонадысев, М.Ю. Матюшин, Д.А. Рыжкин, студ.; рук. Е.С. Андреенков, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «МЭИ» в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ»

Использование современных информационных технологий находит всё более широкое применение в повседневной жизни человека, в значительной степени влияя на многие её стороны. Так, подобные технологии порой способны привести к существенному сокращению временных и материальных ресурсов за счёт автоматизации исполнения определённых операций, например, в бытовом секторе.

Одной из относительно недавних инноваций, возникшей в середине 70-х годов прошлого века, является система «умный дом», призванная интегрировать электронные домашние устройства в единую сеть, контролируемую блоком-контроллером. Иными словами, такая система представляет собой комплекс оборудования, регулирующего работу устройств бытовой техники и приборов освещения, управляющего системой кондиционирования воздуха, охраны и т.д. В настоящее время комплектующие в виде различных датчиков и управляющих элементов предлагаются многими производителями, среди которых можно назвать *Wiren Board*, *Beckhoff Automation*, *Z-Wave* и другие. Домашняя автоматизация вызывает ряд положительных эффектов, среди которых существенными являются сокращение электропотребления, расхода воды и газа, повышение безопасности и уровня комфорта, а также минимизация ущерба от непредвиденных поломок и аварий.

Следует отметить, что все вышеперечисленные достоинства использования системы «умный дом» в достаточной мере компенсируются двумя основными недостатками: относительно высокой стоимостью оборудования и трудоёмкостью его установки, что также требует немалых финансовых затрат. В связи с этим представляется актуальным вопрос, относящийся к оценке экономической эффективности использования подобной системы, поскольку срок возврата инвестиций может существенным образом варьироваться в зависимости от множества факторов, среди которых можно выделить количество и качество оборудования, размер жилой площади, тарифы на жилищно-коммунальные услуги (ЖКУ) и т.д. На основании результатов расчёта срока окупаемости становится возможным ответить на вопрос о целесообразности приобретения данной системы.

Таким образом, в данной работе проводится оценка экономической эффективности эксплуатации системы «умный дом», причём для большей показательности были выбраны одно- и трёхкомнатная квартиры с одинаковым по составу и различающимся по количеству согласно числу комнат оборудованием. Проведя сравнение двух различных вариантов реализации домашней автоматизации, становится возможным наглядно убедиться в важности расчёта срока возврата инвестиций, что особенно актуально при планировании финансовой деятельности на определённый период времени.

Целью данного исследования является сопоставление вариантов применения системы «умный дом», позволяющее оценить целесообразность приобретения и установки такой системы на примере двух квартир различной конфигурации. Для достижения цели были определены следующие задачи: выбор оборудования для каждого из объектов; расчёт суммарной оплаты ЖКУ за один год до и после установки системы «умный дом»; проведение расчётов для определения величин чистого дисконтированного дохода и индекса доходности; определение срока возврата инвестиционных вложений.

Расчётная площадь однокомнатной квартиры, в которой проживает два человека, была выбрана согласно статистическим данным и составила 43,2 м^2, что соответствует средней площади такой квартиры в городе Смоленске. Ана-

логичным образом была выбрана площадь трёхкомнатной квартиры с четырьмя жильцами, размер которой составил 84 м^2. В обеих квартирах предполагается использование централизованной системы отопления, что, в свою очередь, означает невозможность сокращения расходов за счёт регулирования работы данной системы.

В качестве источника информации о тарифах на ЖКУ и их актуальных нормах потребления использовался официальный сайт г. Смоленска [1]. После установки системы «умный дом» снижение объёма потребляемых услуг может достигать значений в 30% для электропотребления и 35% для водопотребления.

В обеих квартирах системы «умный дом» были собраны на базе оборудования компании *Wiren Board*. [3] Для однокомнатной квартиры стоимость комплектующих вместе с установкой составила 133120 руб., а для трёхкомнатной – 175200 руб.

Результаты расчета снижения эксплуатационных ежемесячных затрат приведены на рис. 1 и 2.

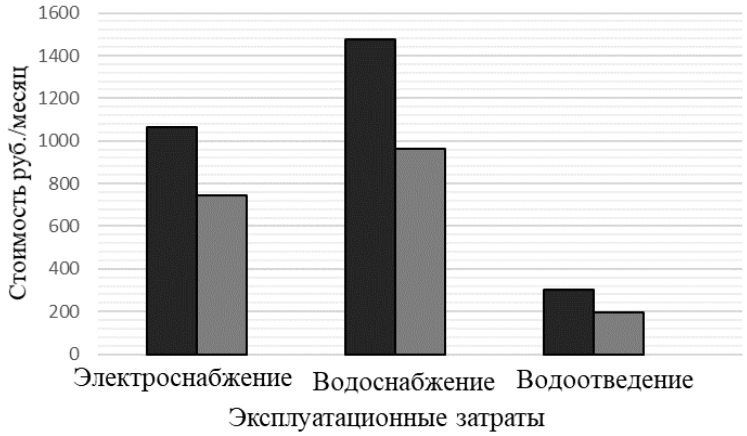


Рисунок 1 – Ежемесячные затраты на эксплуатацию в однокомнатной квартире

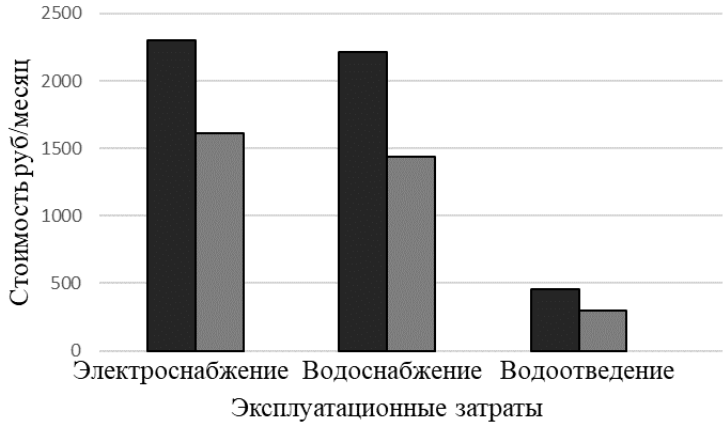


Рисунок 2 – Ежемесячные затраты на эксплуатацию в трёхкомнатной квартире

При отсутствии системы «умный дом» суммарная ежегодная оплата ЖКУ составляет 48600 руб. для однокомнатной квартиры и 87000 руб. для трёхком-

натной; после проведения домашней автоматизации – 37300 руб. и 67600 руб. соответственно.

Для оценки экономической эффективности эксплуатации системы «умный дом» в одно- и трёхкомнатной квартирах в расчётах используются следующие основные критерии общей экономической эффективности:

- чистый доход за период (ЧД);
- чистый дисконтированный доход (ЧДД);
- индекс доходности (ИД);
- срок возврата инвестиций.

Чистый дисконтированный доход является показателем, характеризующим эффективность финансовых вложений. Благодаря ЧДД можно рассчитывать изменения величины денежных потоков по следующей формуле:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^{T} \frac{Э_t}{(1+E)^t},$$

где E – норма дисконта, принятая равной 10%, что соответствует практическому значению; $Э_t$ – текущий экономический эффект, достигаемый на t-ом шаге расчёта. Сумма текущих эффектов представляет собой разницу доходов и расходов на данном шаге, что численно равно чистому доходу за расчётный период. Проект с наибольшим значением величины ЧДД считается наиболее выгодным.

Для одно- и трёхкомнатной квартир значения величины ЧДД соответственно равны:

$$\text{ЧДД} = \left(\frac{11315}{(1+0{,}1)^1} + \frac{12503}{(1+0{,}1)^2} + \frac{13815}{(1+0{,}1)^3} + \ldots + \frac{25150}{(1+0{,}1)^9} + \frac{27791}{(1+0{,}1)^{10}} \right) - 133120 = 238113 \text{ руб.}$$

$$\text{ЧДД} = \left(\frac{19489}{(1+0{,}1)^1} + \frac{21535}{(1+0{,}1)^2} + \frac{23796}{(1+0{,}1)^3} + \ldots + \frac{43320}{(1+0{,}1)^9} + \frac{47868}{(1+0{,}1)^{10}} \right) - 175200 = 356041 \text{ руб.}$$

Индекс доходности демонстрирует степень эффективности работы вложенных средств за расчётный период T и рассчитывается следующим образом:

$$\text{ИД} = \frac{1}{K} \sum_{t=0}^{T} \frac{P_t - З_{TEK}^t}{(1+E)^t},$$

где P_t – доходы на t-м шаге, руб.; $З_{TEK}^t$ – текущие затраты на t-м шаге, руб.; T – продолжительность расчётного периода, год; K – первоначальный затраченный капитал, руб.

Для одно- и трёхкомнатной квартир значения величины ИД соответственно равны:

$$\text{ИД} = \frac{1}{133120} \cdot \left(\frac{11315}{(1+0{,}1)^1} + \frac{12503}{(1+0{,}1)^2} + \frac{13815}{(1+0{,}1)^3} + \ldots + \frac{22760}{(1+0{,}1)^8} + \frac{25150}{(1+0{,}1)^9} + \frac{27791}{(1+0{,}1)^{10}} \right) = 0{,}79$$

$$\text{ИД} = \frac{1}{175200} \cdot \left(\frac{19489}{(1+0{,}1)^1} + \frac{21535}{(1+0{,}1)^2} + \frac{23796}{(1+0{,}1)^3} + \ldots + \frac{39203}{(1+0{,}1)^8} + \frac{43320}{(1+0{,}1)^9} + \frac{47868}{(1+0{,}1)^{10}} \right) = 1{,}17$$

Если ИД > 1, то проект заслуживает внимания и подробного анализа, причём чем больше индекс доходности, тем более выгодным является проект.

Срок возврата инвестиций – это период времени от начала реализации проекта до полного возмещения инвестированных средств.

При расчёте срока окупаемости средний экономический эффект достигает значений в 18125 руб. для трёхкомнатной квартиры и 10547 руб. для однокомнатной, причем средний прирост эффекта составил 82,2 руб. и 47,8 руб. соответственно в связи с ежегодным ростом тарифов на ЖКУ. Таким образом, при первоначальном объёме инвестиций в 175200 руб. и 133120 руб. срок окупаемости для трехкомнатной квартиры составит приблизительно 9,5 лет, а для однокомнатной – чуть более 12 лет. По полученным значениям величины срока возврата инвестиций становится очевидно, что трёхкомнатная квартира окупается заметно быстрее однокомнатной, о чем также свидетельствует индекс доходности.

Исходя из изложенного становится очевидно, что учёт срока окупаемости имеет особую значимость при финансовом планировании, причём особенно удобно использовать при этом индекс доходности, показывающий экономическую целесообразность установки системы за определённый период времени. Таким образом, если существует потребность в возврате финансовых вложений за десятилетний период, то при наличии трёхкомнатной квартиры (ИД = 1,17) такая потребность будет удовлетворена, тогда как во втором случае (ИД = 0,79) необходим более долгий срок возврата, что говорит о невыгодности проекта.

Следует сделать важное замечание, что приведённые значения соответствуют наилучшим условиям, т.е. рациональному и эффективному использованию системы; на практике может наблюдаться значительное варьирование этих показателей в отдельных случаях. В расчётах применялись фиксированные величины сокращения электро- и водопотребления (30% и 35% соответственно), тогда как на практике эти величины могут принимать либо более низкие значения, увеличивая срок возврата инвестиций, либо могут быть непостоянными, что усложняет его расчёт.

Существует целая совокупность факторов, имеющих существенное влияние на конечную величину срока окупаемости. Среди таких факторов можно выделить, например, величину жилой площади, среднее сокращение потребления коммунальных услуг, количество и качество оборудования и т.д. Исследование влияния изменения входных параметров на величину срока окупаемости, что возможно реализовать при проведении полного факторного эксперимента, потенциально представляет определённый практический и научный интерес, а потому такая цель может лечь в основу дальнейших исследований.

Литература

1. Официальный сайт города Смоленска. – Режим доступа: https://www.smoladmin.ru/
2. Сопер М.Э. Практические советы и решения по созданию "Умного дома": самоучитель по электронике / М.Э. Сопер; [пер. с англ. А.Ю. Карцева]. - М.: NT Press, 2007. - 421 с.
3. Wiren Board – решения для автоматизации. – Режим доступа: https://wirenboard.com/ru/

А.Д. Будехин, студ.; рук. В.П. Кавченков, д.т.н., проф.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

НАДЕЖНОСТЬ ВЛ 110КВ И СПОСОБЫ ЕЁ ПОВЫШЕНИЯ

В наше время электрические сети обязаны обеспечивать потребителя качественным электроснабжением. ЛЭП являются одним из самых повреждаемых элементов электрической сети из-за территориальной протяженности и климатического воздействия. Количество технологических нарушений ВЛ выше в сравнении с данным показателем трансформаторов и выключателей. Также важно сказать то, что в настоящее время большая часть ВЛ построены 40-50 и более лет назад, по экономическим условиям многие электросетевые компании не могут позволить себе массовое строительство новых линий, что поднимает важность продления сроков службы ЛЭП. Для этого нужно знать причины их повреждаемости.

На рисунке 1 указаны удельное количество технологических нарушений на 100 км длины ВЛ различных классов напряжения из которого видно, что больше всего нарушений приходится на линии 110кВ.

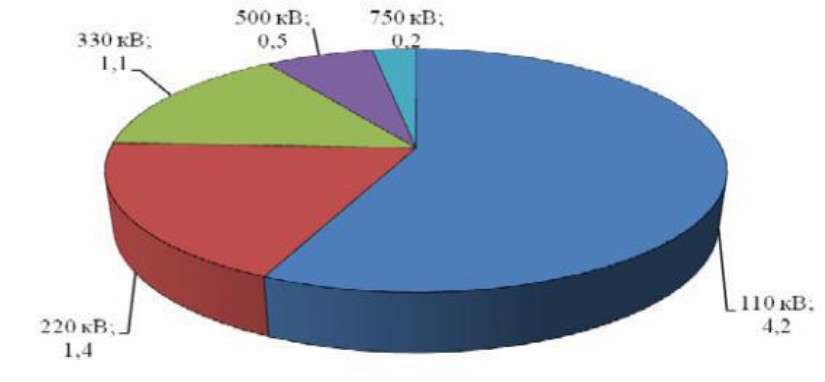


Рис1. Удельное количество технологических нарушений на 100 км длины ВЛ различных классов напряжения.

Рассмотрим основные причины повреждаемости воздушных линий электропередач (рис 2).

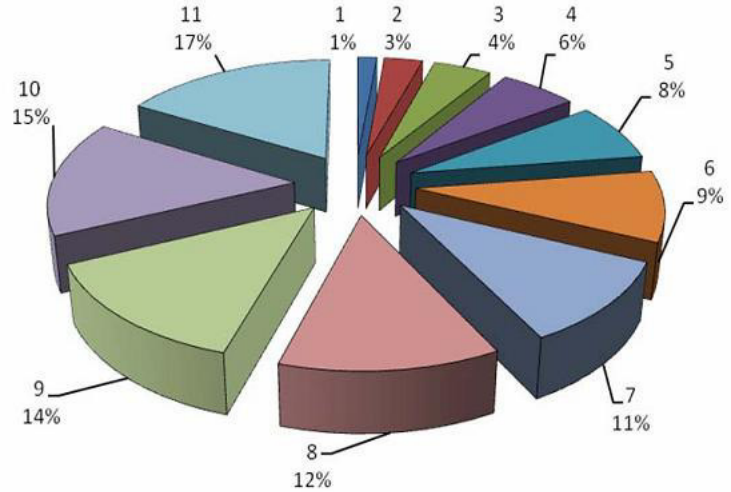


Рис.2 Основные причины повреждений элементов ВЛ напряжением 110-750 кВ.

Максимальный процент повреждаемости линий происходит из-за загрязнений изоляции и птиц (17%). Следующими основными причинами являются: нерасчетные режимы в сети (15%); дефекты эксплуатации (14%);
стихийные явления (землетрясения, оползни, пожары и т.д.) (12%); дефекты проектирования, изготовления (11%). Оставшиеся причины это: дефекты проектирования, строительства и монтажа, хищение элементов опор, проводов, атмосферные перенапряжения, – посторонние воздействия (падение деревьев, наезды, набросы, расстрелы изоляторов), гололёдное-ветровые нагрузки, потеря несущей способности, износ, коррозия (31%).

Анализ технологических нарушений позволил выявить основные причины повреждения отдельных элементов ВЛ. Самыми повреждаемыми элементами ВЛ являются провода и грозотросы, затем идут гирлянды изоляторов, а после опоры и арматура. Рассмотрим их по порядку.

Больше всего повреждений проводов происходит из-за образования дефектов при эксплуатации (22.8%). Так же большой процент повреждений происходит по причине посторонних воздействий (18%), гололёда с ветром (превышающим расчетные условия) (16,5%), некорректного проектирования и дефектов монтажа (12,2%), снижения прочности, коррозия и износ (11,4%). Так же небольшое количество повреждений происходит из-за атмосферных перенапряжений, пляски, вибрации, хищения, повреждений на выходе провода из зажима.

У грозотроса главными причинами повреждений являются: снижение прочности, коррозия, старение (32,9%); атмосферные перенапряжения (23,4%); гололед с ветром (превышающие расчетные) (17,3%). Так же имеют место быть повреждения от посторонних воздействий, дефектов эксплуатации, протекания токов короткого замыкания, плясок, вибрации, дефектов проектирования и монтажа, а также прочих причин.

Следующими после проводов и грозотросов по повреждаемости на линиях электропередач следуют гирлянды изоляторов. На данный момент используются изоляторы трех типов – это стеклянные, фарфоровые и полимерные. В целом повреждения изоляторов происходят из-за старения, механических нарушений, расстрела, дефектов эксплуатации, дефектов изготовления и монтажа, плясок проводов, атмосферных перенапряжений, загрязнения, птиц, посторонних воздействий.

Для разных видов изоляторов выделяются разные основные типы повреждений:
- для стеклянных основными являются расстрел (29,1%) и атмосферные перенапряжения (27,1%),
- для фарфоровых - старение (46,9%) и атмосферные перенапряжения (27,1%),
- для полимерных: дефекты изготовления и монтажа (76,7%).

Основными причинами повреждения опор являются: дефекты монтажа и производства, климатические нагрузки, коррозия, старение, ветер, гололед, оползни, сели, землетрясения, посторонние воздействия. Опоры используются двух видов: металлические и железобетонные.

Для металлических опор основными повреждениями являются, в первую очередь, хищения элементов опоры, проводов и тросов (26,2%), затем сверх расчётные гололед и ветер (25,7%), а также дефекты изготовления и монтажа (12,9%) и посторонние воздействия (17,6%).

Для железобетонных опор причины повреждений это сверх расчётные гололед и ветер (38,7%), дефекты изготовления и монтажа (24%), а также посторонние воздействия (13,4%).

Основными причинами повреждаемости для линейной арматуры являются снижение прочности (34,6%) и дефекты монтажа (30,3%). Также это дефекты проектирования и изготовления, дефекты эксплуатации, пляска проводов, ветер, посторонние воздействия.

Из предыдущего анализа видно, что у элементов ЛЭП имеются недостатки, но они могут показать направления для их совершенствования. Поэтому очень важно постоянное развитие конструкций и технологий всех элементов, составляющих воздушные линии электропередач. Важно
использовать новые современные технические решения и материалы, которые повысят надежность и срок службы ЛЭП. Например, это использование проводов марок AERO-Z, АСВТ и АСВП.

Провода AERO-Z разработанные компанией Nexans уже активно используются по всему миру, а в России первое их продвижение было в 2004 г. Они имеют преимущества по сравнению с самыми распространенными проводами марки АС. За счет измененной конструкции уменьшается пляска проводов и количество поломок из-за гололедных образований. Практически полностью предотвращается коррозии внутри провода, а также снижается уровень усталости металла в проводе, что приводит к увеличению срока службы. Меньше провисание провода. Снижается вероятность его обрыва при внешних воздействиях. Появляется возможность применения провода с большим сечением при том же удельном весе, что приводит к решению проблем с перегрузками ВЛ и снижению тепловых потерь при транспортировке электроэнергии. Также возможно использование существующей арматуры при монтаже.

Провода АСВТ и АСВП созданы российскими разработчиками. Данные провода имеют более высокую прочность и пропускную способность, чем провода АС и AERO-Z. Также из-за уменьшения максимальной стрелы провеса можно уменьшить высоту опор, что приведет к уменьшению проблем связанным с грозовыми перенапряжениями. Прочность на разрыв провода также выше, что приводит к уменьшению поломок от внешних воздействий. В сравнении с проводом марки АС аэродинамические характеристики лучше на 35%, гололедные характеристики на 25%. Уменьшение коррозии из-за новой конструкции также присутствует.

Следующую инновацию рассмотрим для гирлянд изоляторов. Сейчас самыми перспективными являются полимерные изоляторы. Как было отмечено, основной проблемой по статистике для полимерных изоляторов были дефекты изготовления и монтажа. К данному моменту технология создания полимерных изоляторов была существенно улучшена, что увеличило надежность изоляторов.

Преимуществами полимерных изоляторов являются высокая надежность и долговечность, высокая стойкость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды, высокая механическая прочность, их стоимость, а также малые затраты на транспортировку, монтаж, ремонт и замену изоляторов.

Далее рассмотрим композитные опоры. На данный момент разработаны композитные опоры для напряжений 0.4-220 кВ. Их преимущества состоят в хорошей устойчивости климатическим нагрузкам (ветрам, гололедам), к посторонним воздействиям, а также не подверженности коррозии. Кроме того, под данные опоры разработаны стойки из композитных материалов.

Также необходимо обратить внимание на метод горячего цинкования материала опор, который создает защитный слой цинка, что повысит их прочность, а также увеличит продолжительность эксплуатации.

Важно развивать технологию опор из гнутых стальных профилей. Преимуществами этих опор являются: повышенная гибкость конструкций, что делает их более устойчивыми к воздействия при пляске и обрыве проводов, а также гололеде и землетрясениях; сниженный вес конструкций опор, высокая механическая прочность при пучениях; увеличение срока службы; повышение удобства и безопасности монтажа, что позволит уменьшить связанные с этим нарушения.

В настоящее время надежность ЛЭП является серьезной проблемой действующей энергетики, но при внедрении новых технологий можно улучшить довольно много показателей, связанных с основными причинами нарушений на линиях, и обеспечить надежное электроснабжение потребителей.

Список литературы

1. Утеулиев Б.А. Обеспечение надежности действующих воздушных линий электропередачи для энергетики будущего. Новосибирский государственный технический университет г. Новосибирск, Россия, 2017 г.
2. Каверина Р.С., Коган Ф.Л., Яковлев Л. Повышение надежности воздушных линий 35-750 кВ. Новости ЭлектроТехники. - №5(47).- 2007.
3. Доронина О.И., Шевченко Н.Ю, Бахтиаров К.Н. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015 – № 9-2. – С. 226-230;

И.Н. Голдесов, студ.; Д.Н. Голдесов, студ.; рук. Л.В. Вайтеленок, ст.преп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленск)

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, РЕАГИРУЮЩИЕЙ НА АВАРИЙНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИГНАЛОВ

Постоянное развитие электроэнергетических сетей (ЭЭС) положительно влияет на качество и функциональные возможности любого вида оборудования. Одну из важнейших функций на объекте несет релейная защита (РЗ), которая предназначена для быстрого, автоматического выявления и вывода из работы повреждённого элемента ЭЭС в аварийных ситуациях, с целью обеспечения нормальной работы всей системы. Одним из главных оценочных критериев РЗ является её чувствительность.

Оценка способности РЗ, реагировать на аварии, которые могут возникать в пределах защищаемой зоны, а так же зоны необходимого реагирования осу-

ществляется при помощи коэффициента чувствительности, значение которого для различных типов защит и реле можно найти в “Правилах” [1].

Обычные защиты такие как, дифференциальная защита (трансформатора, электродвигателя, электрогенератора, линии электропередачи), максимальная токовая защита, токовая отсечка и другие, реагируют при превышении действующего тока промышленной частоты 50 Гц заданной уставки. Такая уставка выбирается по условию отстройки при наихудшем варианте эксплуатационного режима: максимальная нагрузка при параллельном отключении одного из элементов, пуск либо самозапуск двигателей, внешнее короткое замыкание (КЗ) и т.п. Для некоторых цепей токи при таких режимах практически сопоставимы с токами КЗ, а для защит от однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) могут быть даже больше. В результате выбранные по данному принципу защиты могут иметь очень низкую чувствительность.

Для повышения чувствительности работы РЗ возможно применение защит, уставки которых выбираются не по токам 50 Гц, а по параметрам сети, которые имеют место только в аварийном режиме.

Так например, при КЗ во вращающихся электрических машинах, таких как двигатель или генератор, ток может вызывать мощную дугу в месте КЗ, пожар, а так же повреждение обмоток статора указанных машин. Обычно для двигателей и генераторов более 5 МВТ или же 5 МВТ и меньше, если чувствительности недостаточно, применяют продольную дифференциальную защиту, ток срабатывания которой составляет порядка $0{,}5I_{ном}$ ($I_{ном}$ – номинальный ток машины).

Для уменьшения тока срабатывания и как следствие, повышения чувствительности в [2] предлагается выполнить подключение таким образом, чтобы ток в реле определялся геометрической суммой не вторичных, а первичных токов. Для реализации данной самобалансирующей защиты используются одножильные кабели, которые подключены к началу и концу фазной обмотки статора и пропущены через окно шинных трансформаторов тока ТА, установленных в шкафу нулевых выводов (рис. 1).

Поскольку токи кабелей в каждом трансформаторе проходят навстречу друг другу, то ток небаланса в реле получается весьма мал и составляет (0,05-0,2) $I_{ном}$. Так же данное подключение даёт возможность, не отстраиваться от апериодических составляющих при внешних КЗ, пусках и самозапусках.

За счет наличия в пусковом токе и токе самозапуска двигателей и генераторов составляющих обратной последовательности, дополнительно можно повысить чувствительность установкой дифференциальной фильтровой направленной защиты обратной последовательности [2].

Для этого защита отстраивается от тока небаланса в реле в указанных режимах при помощи фильтра токов обратной последовательности, выполненного с использованием дифференциального реле КА серии РНТ. Подключение устройства происходит по дифференциальной схеме к трансформаторам тока (рис. 2). Для предотвращения ложного срабатывания при внешнем несимметричном КЗ, со стороны питания устанавливается реле мощности KW1 обратной последовательности, действующее при повреждении в машине.

При обрыве в токовых цепях защита не действует, так как ток в реле меньше тока обратной последовательности в нагрузочном режиме.

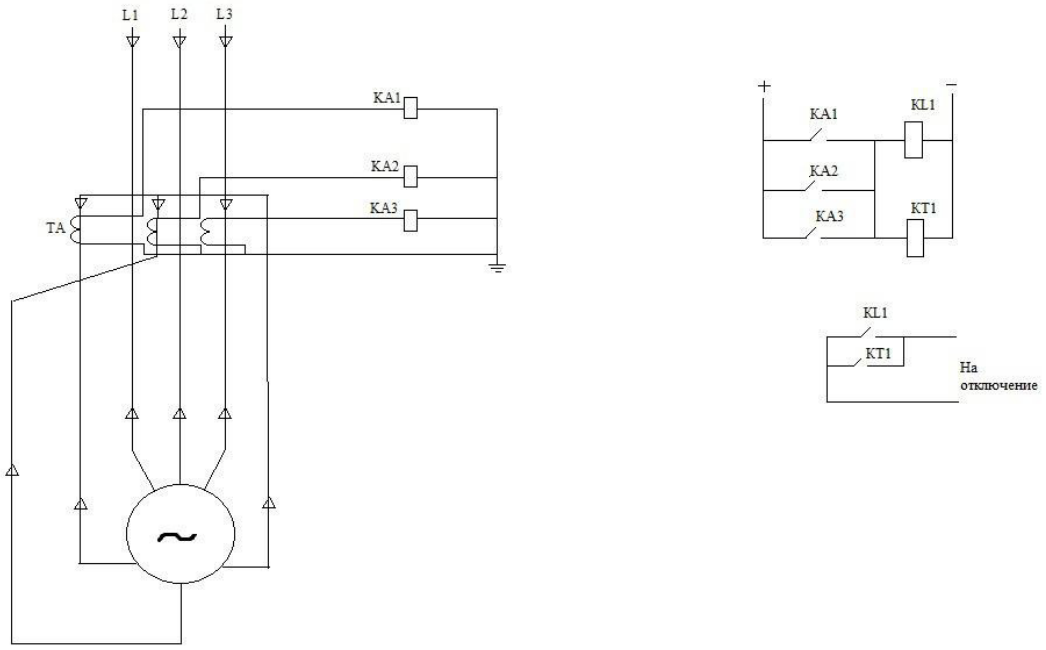


Рис 1. Самобалансирующая дифференциальная защита

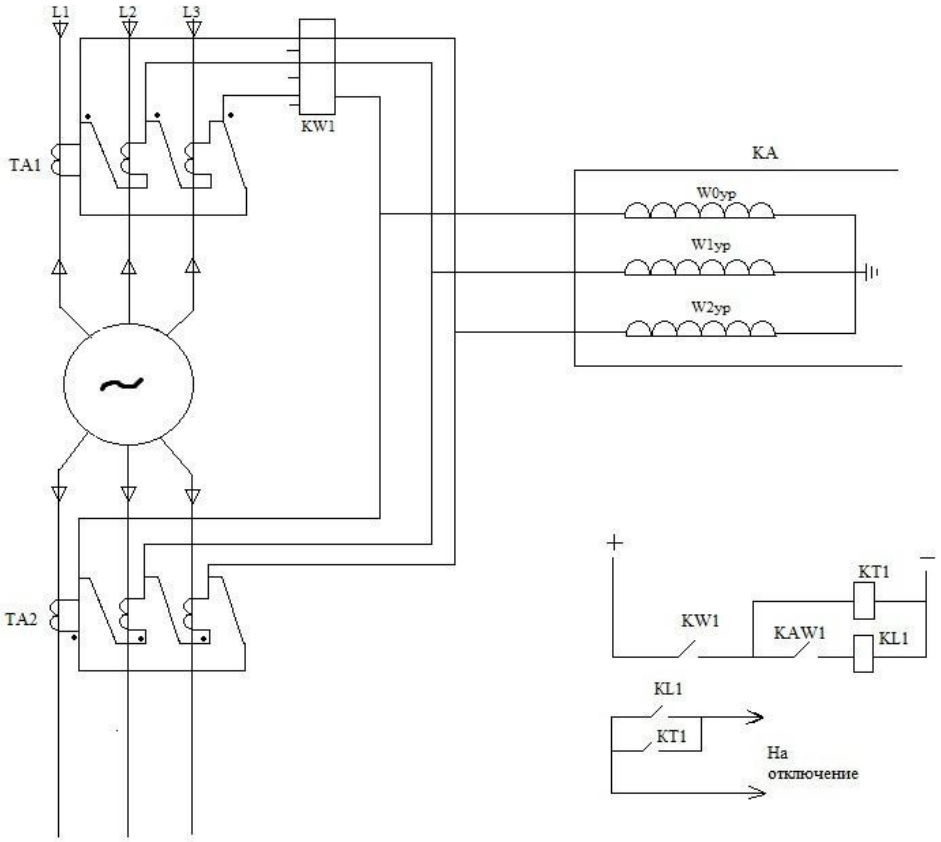


Рис. 2 Дифференциальная фильтровая направленная защита обратной последовательности

Защиты с фильтрами симметричных составляющих могут применяться и для защиты силовых трансформаторов в сложно несимметричных аварийных режимах в сетях напряжением 110-220 кВ. В настоящее время отсутствует какая-либо специальная защита от данного вида повреждений. Основным видом защиты трансформаторов 110-220 кВ является дифференциальная защита, МТЗ.

Для повышения чувствительности РЗ трансформатора возможна установка дополнительных органов, реагирующими на напряжение нулевой и обратной последовательности [3]. Если на трансформаторе установлена защита на базе использования электромеханических реле, то есть возможность установить фильтровые реле обратной и нулевой последовательности. Если же защита установлена на базе микропроцессорных реле, то в [4] предлагается использовать незадействованные входы по напряжению обратной последовательности для пуска МТЗ, для реагирования на режимы сложной несимметрии.

Применение защит с аварийными сигналами для линий можно рассмотреть на примере защит линий электропередачи сверхвысокого напряжения (ВЛ СВН). Трудности, связанные с ВЛ СВН, такие как: увеличение длины и передаваемой мощности, изменение электрических сетей - приводят к повышенным требованиям к надёжности данных ВЛ СВН, а следовательно, и к работе РЗ, устанавливаемой на этих линиях. Поэтому в последнее время можно заметить установку РЗ, которая реагирует на токи и напряжения волновой стадии электромагнитных переходных процессов.

Для целей построения РЗ ВЛ СВН от всех видов КЗ в исследованиях [5] была представлена принципиальная возможность контроля переходных процессов. В основе данных защит полагают, что в начальный момент возникновения КЗ направление распространения волн переходного процесса в различных точках системы не зависит от характеристик электрической цепи и относится к расположению места повреждения на ЛЭП (рис. 3). Таким образом, в отличие от токов и напряжений промышленной частоты, данные, получаемые с ЛЭП, в меньшей степени зависят от протяженности, режима работы и схемы. Требуется производить контроль измерительными органами направления распространения волн при КЗ для селективности защиты в замкнутых сетях, который характеризуется знаком мгновенной мощности в соответствии с направлением вектора потока энергии. Сравнение зафиксированной органами направления информации по концам защищаемой линии путем передачи ВЧ сигналов позволяет реализовать селективный выбор поврежденной линии.

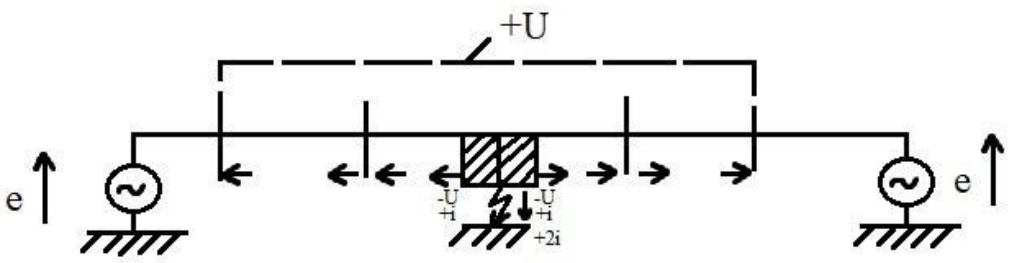


Рис. 3 Распространение и направление волн на участках передачи при КЗ. +*u* – напряжение линии, предшествующее моменту пробоя; -*u* – напряжение волны; +*i* – ток волны

Таким образом, были рассмотрены защиты, использующие аварийные составляющие сигналов. Анализируя их, можно прийти к выводу, что применение данных защит позволит повысить эффективность, надежность использования РЗ для различного электрооборудования.

Литература

1. https://en-res.ru/wp-content/uploads/2020/02/pue.pdf
2. https://raschet.info/sposoby-povyshenija-chuvstvitelnosti-zashhit-jelektrodvigatelej-i-jelektrogeneratorov/
3. Попов И.Н., Лачугин В.Ф., Соколова Г.В. Релейная защита, основанная на контроле переходных процессов. М.: Энергоатомиздат, 1986, 248 с.
4. https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-chuvstvitelnosti-releynoy-zaschity-silovyh-transformatorov-sistemy-promyshlennogo-elektrosnabzheniya-v/viewer
5. Лачугин В.Ф., Попов И.Н., Соколова Г.В., Зейналов А.Д. Исследование волновых процессов для релейной защиты линий сверхвысокого напряжения // Электричество. 1983. № 3. С. 1-7.

Е.Д. Гурьянов, В.И. Шанкеев, С.И. Блакунова, студ.; рук. Л.И. Долецкая, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОЦЕНКА ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ТОЧКЕ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

В системах электроснабжения общего назначения государственным стандартом [1] нормируются допустимые значения показателей качества электроэнергии (ПКЭ). Превышение нормируемых значений ПКЭ ухудшает условия эксплуатации электрооборудования энергоснабжающих организаций и потребителей электроэнергии, отрицательно влияет на показатели работы электродвигателей, установок электрического освещения и других электроприемников.

Важным показателем качества электрической энергии является отклонение напряжения от номинального в точках подключения потребителей к электрическим сетям энергоснабжающих организаций.

Для решения задач по обеспечению требований нормативных документов необходимы замеры и оценка значений ПКЭ, в том числе и отклонений напряжения, в пунктах контроля (ПК) качества электроэнергии эксплуатируемых электрических сетей [2].

Значения отклонений напряжения в точках электрической сети постоянно изменяются при изменении нагрузки случайным образом. Поэтому отклонения напряжения в точках электрической сети являются случайными величинами и для оценки результатов их замеров в ПК необходимо применять методы теории вероятностей и математической статистики [2].

В данной статье приведены результаты статистической оценки данных измерений отклонений напряжения в точке подключения потребителя электроэнергии к сборным шинам 10 кВ трансформаторной подстанции 35/10 кВ. В результате замеров в течении 24 часов получена выборка объемом N = 100 случайных значений отклонений напряжения δU в диапазоне от –8% до 7%.

Статистическая обработка результатов замеров проводилась в соответствии с [3] по следующему алгоритму:

1. Диапазон значений δU был разбит на 15 интервалов (k = 15) с границами от нижнего $\delta U_н$ до верхнего значения $\delta U_в$ и для каждого интервала рассчитаны вероятности попадания в них значений отклонений напряжения в процентах. $P_*, \%$ и в относительных единицах P_*, о.е. Результаты расчетов приведены в табл. 1:

Таблица 1. Вероятности значений отклонения напряжения.

№ интервала	1	2	3	4	5	6	7
$[\delta U_н - \delta U_в]$	–8 – (–7)	–7 – (–6)	–6 – (–5)	–5 – (–4)	–4 – (–3)	–3 – (–2)	–2 – (–1)
$P_*, \%$	1,1	1,4	1,8	2,7	4,2	10,3	16,5
P_*, о.е.	0,011	0,014	0,018	0,027	0,042	0,103	0,165
P, о.е.	0,0048	0,01	0,0197	0,0449	0,0779	0,1156	0,127

№ интервала	8	9	10	11	12	13	14	15
$[\delta U_н - \delta U_в]$	–1 – 0	0 – 1	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6	6 – 7
$P_*, \%$	20	17,2	11,4	5,8	3,1	2,4	1,3	0,8
P_*, о.е.	0,2	0,172	0,114	0,058	0,031	0,024	0,013	0,008
P, о.е.	0,1583	0,1492	0,1201	0,0826	0,0439	0,0251	0,0133	0,0038

2. Вычислены характеристики статистического распределения отклонений напряжения по формулам:

– статистическое среднее: $m_{\delta U} = \sum_{i=1}^{k} P_{*_i} \cdot \delta U_i = -0{,}4$;

– статистическая дисперсия: $D_{\delta U} = \sum_{i=1}^{k} \delta U_i^{\,2} \cdot P_{*_i} - m_{\delta U} = 6{,}54$;

– статистическое среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_{\delta U} = \sqrt{D_{\delta U}} = 2{,}56$$

3. На рисунке 1 представлена гистограмма (в о.е.), построенная по данным таблицы и с учетом ее вида выдвинута гипотеза о теоретическом нормальном законе распределения случайной величины (отклонения напряжения). Вычислены теоретические вероятности попадания случайной величины в принятые интервалы *P*, о.е. с использованием функции Лапласа-Гаусса по формуле:

$$P_n = \Phi\left[\frac{\delta U_в - m_{\delta U}}{\sigma_{\delta U}}\right] - \Phi\left[\frac{\delta U_н - m_{\delta U}}{\sigma_{\delta U}}\right]$$

График теоретической функции также приведен на рисунке 1.

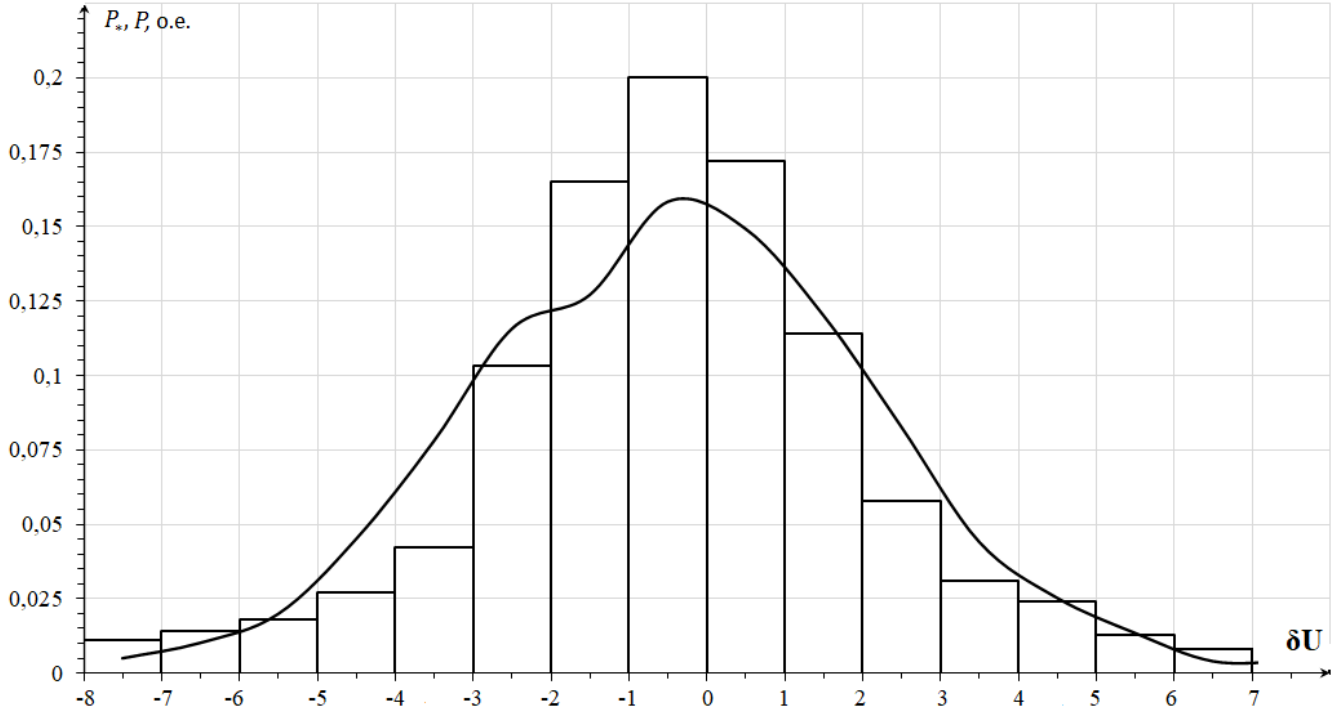


Рис. 1. Гистограмма и график теоретической функции распределения в о.е.

4. Проведена проверка согласия статистического распределения (гистограммы) и теоретической функции нормального распределения по критерию χ^2 – Пирсона. Вычислено значение критерия по формуле:

$$\chi^2 = N \cdot \sum_{i=1}^{k} \frac{\left(P_{*i} - P_i\right)^2}{P_{*i}} = 7{,}68$$

По полученному значению критерия χ^2 и при числе степеней свободы $r = 18$ определена вероятность $p(\chi^2) = 0{,}8$.

Уровень значимости принят равным $\alpha = 0{,}1$.

Так как вероятность $p(\chi^2) = 0{,}8 > \alpha = 0{,}1$, то гипотеза о нормальном распределении отклонения напряжения не противоречит статистическим данным и может быть принята.

5. Для нормального закона распределения вычислены вероятности попадания значений отклонения напряжения в точке подключения потребителя к электрической сети в интервал допустимых значений [–5% … 5%]:

$$P\,[-5 < \delta U < 5] = \Phi\left[\frac{5 - m_{\delta U}}{\sigma_{\delta U}}\right] - \Phi\left[\frac{-5 - m_{\delta U}}{\sigma_{\delta U}}\right] = \Phi\left[\frac{5 + 0{,}4}{2{,}56}\right] - \Phi\left[\frac{-5 + 0{,}4}{2{,}56}\right] = 0{,}96$$

Статистическая обработка результатов измерений показывает, что время с отклонениями напряжения в пределах [–5% … 5%] составляет 96% расчетного периода (24 час), что не меньше требуемого по ГОСТ 95%, т.е. требование ГОСТ по допустимым значениям отклонений напряжения в контролируемой точке электросети выполняется.

Изложенный в данной статье алгоритм статистической оценки отклонений напряжения может применяться для контроля всех ПКЭ.

Литература

1. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 18 с.
2. ГОСТ Р 53333-2008. Контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2009. – 27 с.
3. Кавченков В.П. Элементы и модели теории вероятностей и математической статистики и надёжность электроэнергетических систем: [науч. издание] — Смоленск: Универсум, 2015 – 178 с.

А.А. Зайцева, студ.; рук. Л.В. Вайтеленок, ст. преп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В ПК COMSOL MULTIPHYSICS

Магнитное поле – это поле, которое действует на движущиеся электрические заряды или на тела, обладающие магнитным моментом в независимости от состояния их движения. Природа возникновения магнитных полей может быть разнообразной. Для электроустановок самым распространенным источником магнитных полей являются проводники с током.

Самыми опасными для человека считаются поля промышленной частоты (50 Гц), напряженность которых может достигать несколько тысяч ампер на метр. Опасность таких полей заключается в том, что обнаружить их человеческим глазом невозможно, а в случае длительного пребывание последствия для здоровья могут варьироваться от незначительных изменений в работе организма человека и вплоть до летального исхода. Поэтому для персонала электроустановок пребывание в зонах действия магнитных полей должно строго нормироваться. Помимо этого, магнитные поля могут оказывать негативное воздействие на оборудование подстанций, например, приводить к выходу из строя электронных узлов релейных защит. Поэтому очень важно знать возможный уровень магнитных полей в различных точках при различных условиях работы оборудования.

Оценить уровни магнитных полей можно еще на этапе проектирования станции или подстанции с применением современных программных комплексов. Одним из таких и является COMSOL Multiphysics. В данной работе применение данной программы для расчета магнитных полей было рассмотрено на примере ОРУ 220 кВ, выполненном по схеме 220-14 (две рабочие и обходная системы шин) [1].

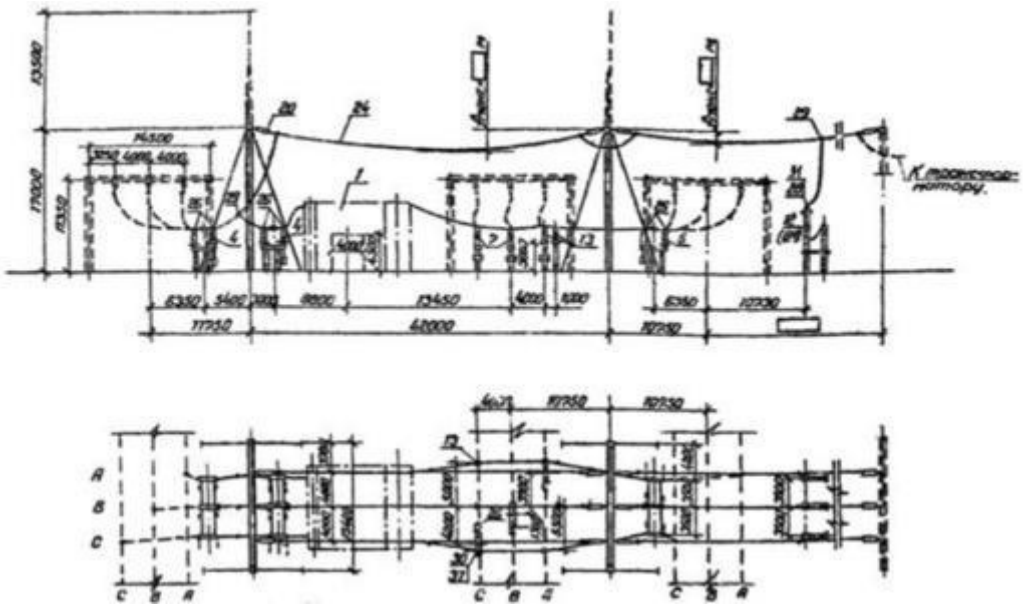


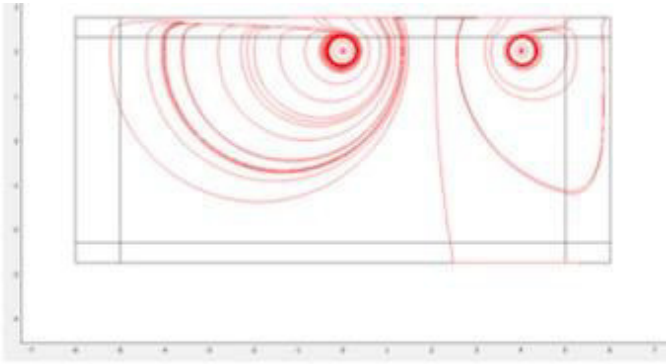
Рис.1. Габаритные размеры ячеек ОРУ 220-14

Для проведения данного анализа были рассмотрены модели в габаритах разъединителя и портала ЛЭП ОРУ 220 кВ в нормальном режиме при протекании максимального тока 1 кА и в режиме КЗ при токе 30 кА.

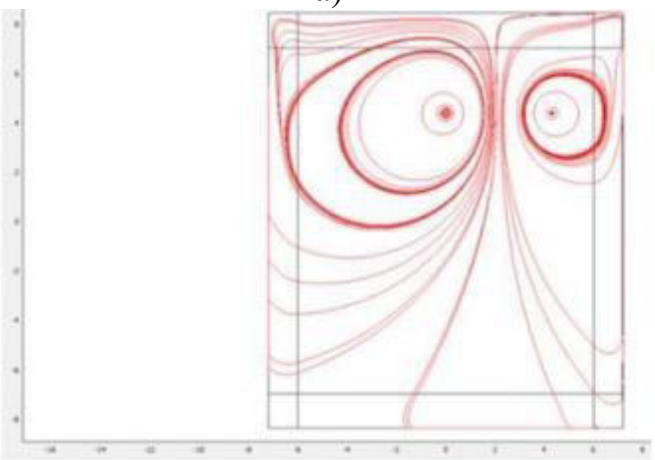
Расчетная модель разъединителя представлена тремя проводниками с сечением 300 $мм^2$, подвешенными на расстоянии 4300 мм от земли. Расстояние между проводниками 4000 мм, что соответствует габаритам типового исполнения указанной схемы ОРУ (рис. 1). Расчетная точка принималась расстоянии 2300 мм от проводников, то есть 2000 мм от уровня земли.

Модель портала ЛЭП представлена тремя проводниками с сечением 300 $мм^2$, подвешенными на расстоянии 11350 мм от земли. Расстояние между проводниками 4300 мм. Расчетная точка находится на расстоянии 9350 мм относительно проводников.

Для проведения исследований необходимо создать область, которая будет ограничивать воздушное пространство заданной геометрии. Использование таких областей негативно сказывается на результатах расчета из-за того, что не происходит поглощение волны, входящий в область, а происходит ее отражение от границ. Теоретически бороться с этим можно путем увеличения размеров данной области, но этот метод не является удобным при проведении исследований. Для борьбы с этими погрешностями применяют бесконечные элементы (Infinite Elements, IE), которые идеально поглощают все волны и предотвращают их отражение от границ. Построенные расчетные модели представлены на рис.2. [3,4].



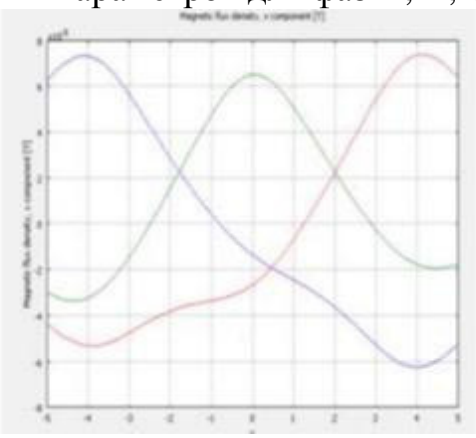
а)



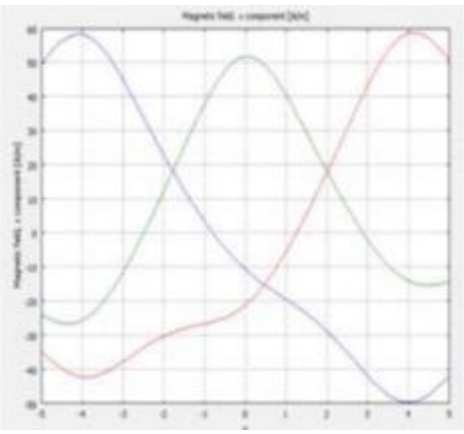
б)

Рис. 2. Расчетные модели: а) разъединитель; б) портал ЛЭП

Чтобы провести оценку полученных результатов необходимо построить зависимости значений индукции магнитного поля (Magnetic flux density, B, T) и напряженности магнитного поля (Magnetic field, H, А/м) от координаты X для разъединителя и портала ЛЭП для нормального режима и для режима короткого замыкания. На графиках рис. 3-6 отображены максимальные значения исследуемых параметров для фаз A, B, C.

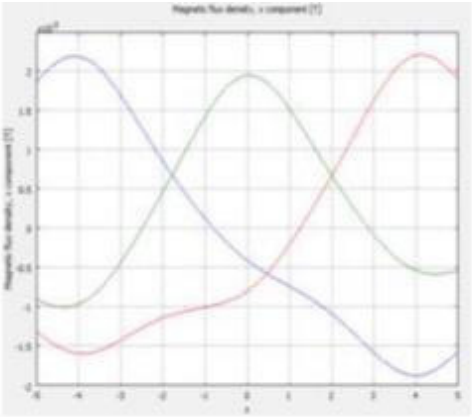


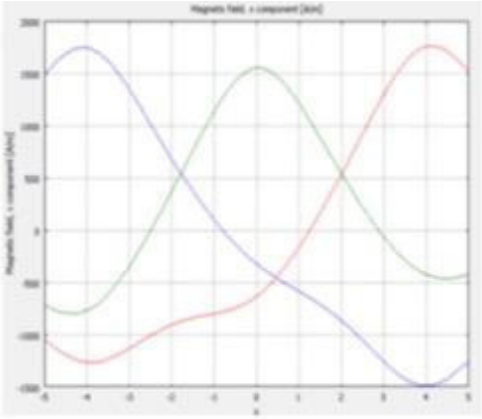
а)



б)

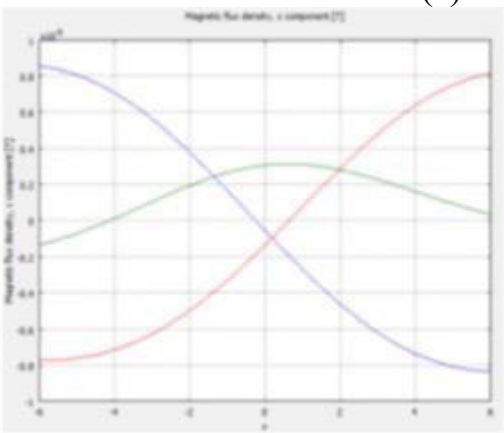
Рис. 3. Зависимости B (а) и H (б) для разъединителя при токе 1 кА

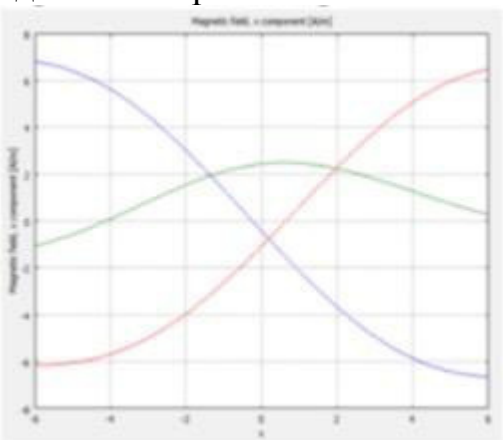




а) б)

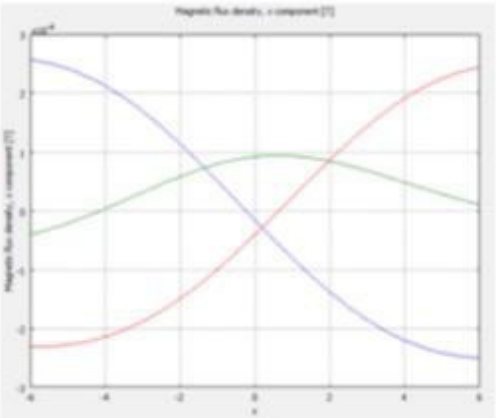
Рис. 4. Зависимости B (а) и H (б) для разъединителя при токе 30 кА

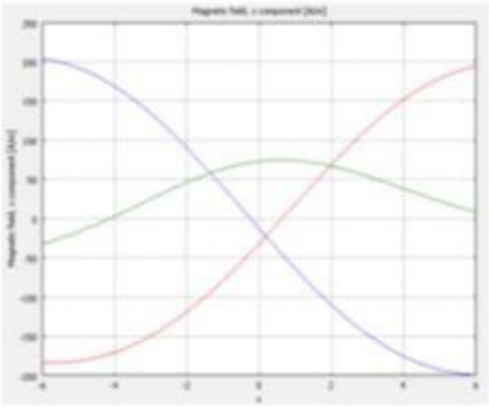




а) б)

Рис. 5. Зависимости B (а) и H (б) для портала при токе 1 кА





а) б)

Рис. 6. Зависимости B (а) и H (б) для портала при токе 30 кА

В Российской Федерации допустимые уровни магнитного поля (таблица 21) нормируются согласно документу ТИ Р М-074-2002. Типовая инструкция по охране труда при проведении электрических измерений и испытаний (утв. Минтрудом РФ 02.08.2002, Минэнерго РФ 25.07.2002) [2].

Таблица 1. Допустимые уровни магнитных полей

Время пребывания (ч)	Допустимые уровни магнитного поля, Н (А/м)/В (мкТл), при воздействии	
	Общем	Локальном
1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

Из полученных зависимостей можно заметить, что значения параметров по фазам различны: значения индукции и напряженности магнитного поля фаз А и С большем, чем значения этих параметров в фазе В. После сравнения полученных результатов с нормативными можно сделать вывод, что конструкция ячеек распределительного устройства рассчитана на безопасное пребывание персонала на протяжении всего рабочего дня при нормальном режиме работы электроустановки. Безопасность также сохраняется и в случае возникновения короткого замыкания, так как его продолжительность ограничена и мала по сравнению с нормативами стандарта.

Таким образом, программный комплекс COMSOL Multiphysics позволяет произвести оценку магнитных полей с достаточной точностью. С помощью данной программы можно детально изучать распределение магнитного поля не только в пространстве, но и по всей длине шин разъединителя. Но для проведения такого расчета необходимо произвести построение трехмерной модели исследуемого объекта.

Литература

1. Типовые проектные решения 407-03-321. ОРУ 220 кВ на унифицированных конструкциях. Альбом II.
2. ТИ Р М-074-2002. Типовая инструкция по охране труда при проведении электрических измерений и испытаний (утв. Минтрудом РФ 02.08.2002, Минэнерго РФ 25.07.2002).
3. COMSOL Multiphysics User’s Guide, 2009. Version 3.5a, COMSOL AB, Stockholm, Sweden.
4. S. Gratkowski and M. Ziolkowski, "A three-dimensional infinite element for modeling open-boundary field problems", in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 28, no.2, PP. 1675-1678, March 1992, doi: 10.1109/20.124024.

В.И. Зирюкин, маг.; рук. Р.В. Солопов, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В КОЛЬЦЕВЫХ СЕТЯХ 110 КВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «MATLAB»

В настоящее время снижение потерь активной мощности в электроэнергетических сетях является одной из наиболее приоритетных задач. Особое внимание заслуживают сети 110 кВ, потому что они являются наиболее протяжёнными из всех сетей высокого напряжения [1]. Потери активной мощности в них могут возникать из-за перетоков больших объёмов реактивной мощности. Перетоки в цепи появляются вследствие постоянного развития энергосистемы [2]. Развитие обусловлено увеличением количества потребителей и требовани-

ями к надёжности их энергоснабжения. Одним из его результатов является образование кольцевых участков [3]. Из-за перетоков реактивной мощности по кольцевым сетям 110 кВ также возникают потери активной мощности.

Для уменьшения транзита реактивной мощности по кольцевым участкам применяется несколько методов: установка компенсирующих устройств, модернизация оборудования и разделение схемы в ближайшем к точке потокораздела активной и реактивной мощностей месте. Первый и второй методы для реализации требуют дополнительных капитальных вложений, поэтому экономически выгоднее использовать третий вариант. При использовании метода разделении схемы появляется две сложности: поиск оптимальной точки размыкания и использование реального оборудования сети в исследовательских целях.

Согласно [2] поиск оптимальной точки является в большей степени эмпирической задачей и результат во многом зависит от условий эксплуатации, величины нагрузки и режима работы оборудования сети.

С учётом развития компьютерных технологий, существует возможность моделирования различных участков электроэнергетических цепей и режимов их работы, что позволяет производить эксперименты без изменения режимов работы действующего оборудования. Предлагается моделирование целевой схемы в библиотеке «Simulink» из программного комплекса «Matlab» [3]. На основе полученных данных о состоянии модели в различных режимах работы и результатах выполнения поставленных задач, делается вывод об оптимальной точке разделения транзита мощности, обеспечивающей наиболее экономически выгодный режим.

Целью данной работы является поиск алгоритма, позволяющего найти оптимальный режим работы кольцевой сети 110 кВ.

Моделирование

За объект моделирования выбрана ветвь кольцевой схемы Талашкино – Рославль 330 напряжением 110 кВ, расположенная в Смоленской области и состоящая из 4 проходных подстанций и соединяющих их 4 высоковольтных одноцепных линий, выполненных проводом АС-120 (таблица 1) [1].

Таблица 1 Данные подстанций и соединительных линий

Подстанция	Типы трансформаторов	Название линии	Длина, км
ПС «Карьерная»	2 х ТДТН -16000/110/35/6	ВЛ-124 до отпайки на ПС «Карьерная»	8,75
ПС «Починок»	ТДТН -16000/115/38,5/11, ТДТН -10000/115/38,5/11	ВЛ-124 после отпайки на ПС «Карьерная»	22,65
ПС «Васьково»	2 х ТМТН-6300/115/38,5/11	ВЛ-111	22,49
ПС «Стодолище»	ТМТН -6300/115/38,5/11, ТМТ -6300/115/38,5/11	ВЛ-110	20,17
-	-	ВЛ-194	26,47

На рис.1 изображена схема замещения объекта моделирования с точками размыкания, замеров и разрезов подстанций. Точки замеров пронумерованы по порядку, начиная с подстанции «Талашкино». Основные блоки библиотеки «Simulink» программного комплекса

«Matlab», а также методы измерения мощностей, токов и напряжений, использованные при моделировании данной схемы, приведены в табл.2 [3].

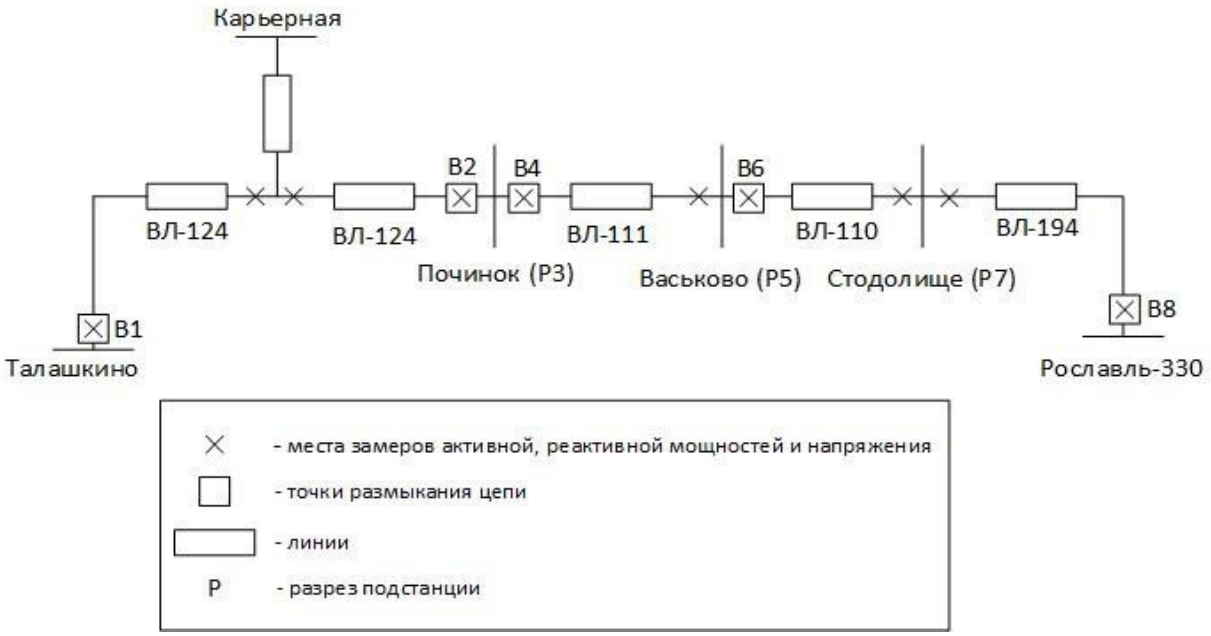


Рис. 1. Схема цепи моделирования

Таблица 2. Элементы схемы, использованные при моделировании

Источник питания	Three-Phase Source
Трансформаторы	Three-Phase Transformer (Three Windings)
Линии	Three-Phase PI Section Line
Нагрузка	Three-Phase Series RLC Load
Потребитель реактивной мощности	Three-Phase Series RLC Load», содержащий только индуктивную нагрузку

Опыты и результаты

Таблица 3. Средние нагрузки за характерные зимние и летние сутки по подстанциям

ПС и № трансформатора	Зима				Лето			
	СН		НН		СН		НН	
	P, МВт	Q, МВАр	P, МВт	Q, МВАр	P, МВт	Q, МВАр	P, МВт	Q, МВАр
Стодолище Т1	0,20	0,15	0,80	0,38	0,12	0,09	0,48	0,2304
Стодолище Т2	0,40	0,30	0,90	0,43	0,24	0,18	0,54	0,2592
Васьково Т1	0,25	0,19	0,20	0,10	0,15	0,114	0,12	0,0576
Васьково Т2	1,25	0,98	0,25	0,12	0,75	0,588	0,15	0,072
Починок Т1	1,25	0,93	2,60	1,25	0,75	0,558	1,56	0,7488
Починок Т2	1,25	0,93	1,60	0,77	0,75	0,558	0,96	0,4608
Карьерная Т1	1,90	1,40	0,25	0,16	1,17	0,876	0,12	0,06
Карьерная Т2	1,95	1,46	0,20	0,10	1,17	0,876	0,12	0,06

1.1 Характерные зимние сутки при различных режимах работы сети.

Согласно результатам замеров, точка потокораздела находится около подстанции «Починок».

На рис.2 представлены потери активной мощности при различных режимах работы системы. По горизонтальной оси расположены точки разрыва мощности, по вертикальной – потери в МВт.

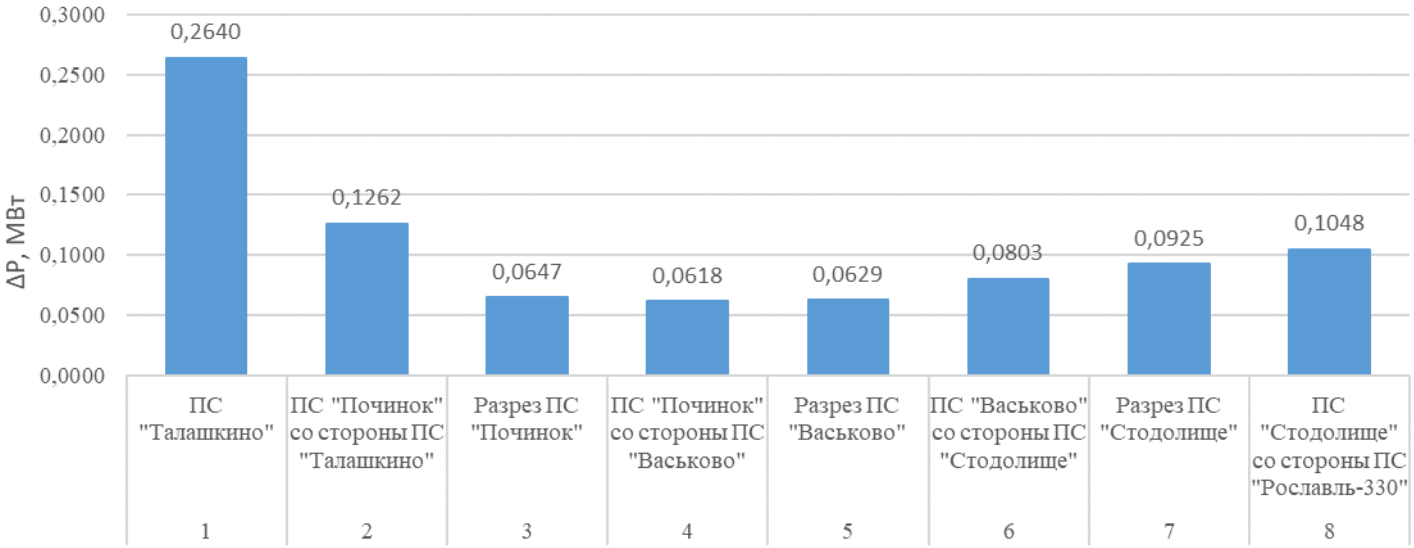


Рис. 2. График потерь за характерные зимние сутки

1.2 Характерные летние сутки (коэффициент сезонности 0,6)

Точка потокораздела находится также ближе к подстанции «Васьково»

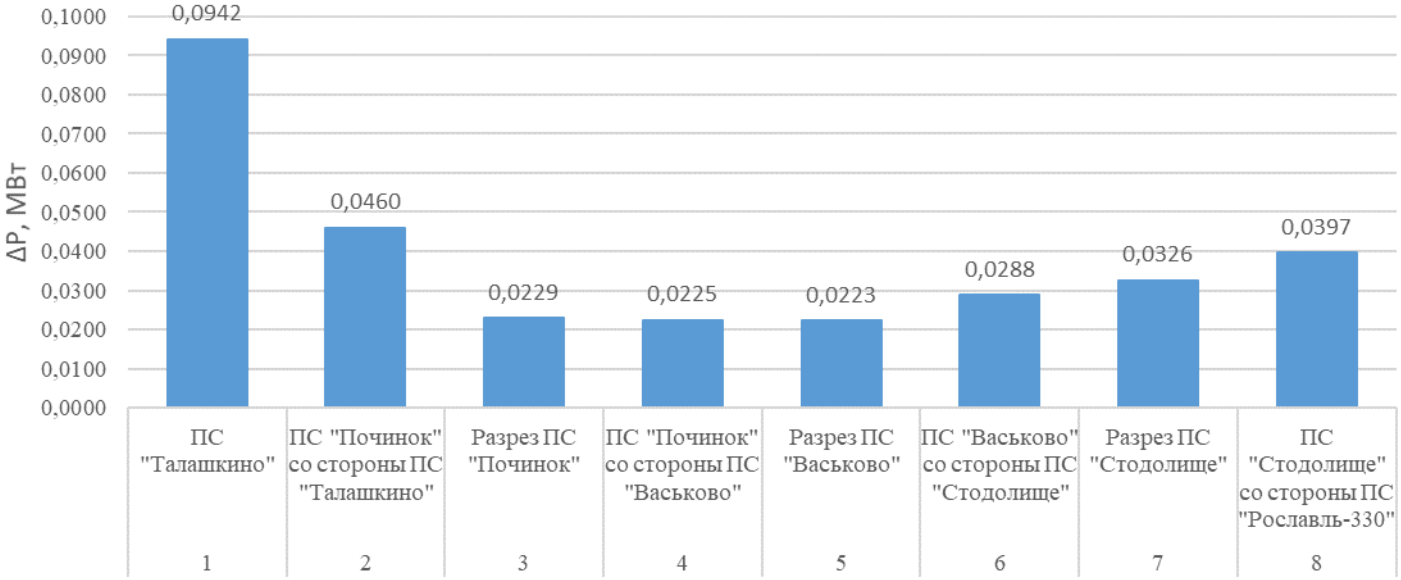


Рисунок 3. График потерь за характерные летние сутки

1.3 Увеличение в два раза нагрузок на подстанциях

Из результатов пунктов 3.1 и 3.2 видно, что оптимальными являются три варианта разделения схемы: разрез ПС "Починок", отключение ВЛ-111 со стороны ПС «Починок» и разрез ПС "Васьково".

В таблице 4 представлены результаты расчёта потерь при увеличении нагрузки в 2 раза за характерные зимние сутки на подстанциях «Васьково» и «Починок»

Таблица 4. Потери при увеличении нагрузки в 2 раза на подстанциях

		ΔP Починок	ΔP Васьково
1	Разрез ПС "Починок"	0,1397	0,0939
2	ПС "Починок" со стороны ПС "Васьково"	0,1673	0,0791
3	Разрез ПС "Васьково"	0,1704	0,0810
	Номинальный режим	0,1790	0,1233

Выводы

1. С помощью программного комплекса «Matlab» составлена модель электроэнергетической цепи и произведена верификация с реальной кольцевой сетью. На основе произведённых расчётов выявлено, что библиотека «Simulink позволяет с достаточной точностью моделировать расчётные схемы электрических сетей, их режимы и условия эксплуатации.

2. Оптимизация места разделения транзита мощности в сети позволяет снизить потери от протекания реактивной мощности в отдельных случаях более, чем в полтора раза и для рассмотренного участка кольцевой сети 110 кВ «Талашкино» - «Рославль-330» в зависимости от величины нагрузки оптимальными являются разрезы ПС «Починок» и ПС «Васьково».

3. Предложенная методика поиска оптимальных точек размыкания схемы позволяет определять наиболее эффективный режим, за счёт регулирования перетоков мощности в модели и её можно распространить на другие сети. Также следует заметить, что положительный эффект от организационных мероприятий достигается без дополнительных капитальных затрат.

Литература

1. Указ губернатора Смоленской области от 26 апреля 2018 года № 29 «Об утверждении Программы развития электроэнергетики Смоленской области на 2019 - 2023 годы и схемы развития электроэнергетики Смоленской области на 2019 - 2023 годы»
2. Идельчик В. И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов.— М.: Энергоатомиздат, 1989, — 592 с : ил.
3. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. - М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. - 288 с.: ил.
4. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 376 с. : ил

Н.М. Исаченкова, студ.; А.А. Новикова, студ.; рук. Д.Д. Гордиевский, ст. преп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ РЕЖИМОВ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 6-35 кВ

Основной целью электроснабжения является организация качественного и бесперебойного снабжения потребителей электрической энергией, поэтому ключевую роль в обеспечении надлежащего уровня жизни людей играют вопросы надежности системы электроснабжения потребителей.

Современное состояние электрических сетей напряжением 6–35 кВ характеризуется значительной степенью физического и морального износа находящегося в эксплуатации оборудования, поэтому для данных сетей характерна высокая повреждаемость. В основном объеме нарушения обусловлены повреждениями изоляции, которые приводят к возникновению однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). Величина тока ОЗЗ определяется суммарной емкостью сети. Чем больше разветвленность и протяженность сети, тем больше ее суммарная емкость, а, следовательно, и токи ОЗЗ. Негативным последствием ОЗЗ является возникновение перемежающейся дуги, что приводит к значительным перенапряжениям, а также возникновению междуфазных коротких замыканий. Данные явления приводят к снижению электробезопасности эксплуатируемой сети, массовому повреждению электрооборудования и экономическому ущербу. Одним из способов снижения вероятности появления повреждений является грамотно подобранный режим заземления нейтрали, который определяет такие факторы, как ток в месте повреждения и перенапряжения на неповрежденных фазах, схему построения релейной защиты, уровень изоляции электрооборудования, бесперебойность электроснабжения, безопасность персонала и электрооборудования при ОЗЗ. Следовательно, выбор оптимального режима заземления нейтрали является актуальной задачей. Каждый из режимов заземления нейтрали обладает своими преимуществами и недостатками, что также значительно усложняет задачу проектирования системы электроснабжения.

В настоящее время существуют нормативные требования, которые регламентируют выбор того или иного режима заземления нейтрали. Согласно п. 1.2.16 ПУЭ «работа электрических сетей напряжением 2–35 кВ может предусматриваться как с изолированной нейтралью, так и с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор» [1].

В России большая часть электрических сетей напряжением 6–35 кВ исполнены с изолированной нейтралью, которая обладает рядом значительных недостатков: дуговые перенапряжения и пробои изоляции; возможность возникновения многоместных повреждений изоляции при ОЗЗ; повреждения трансформаторов напряжения; сложность обнаружения места повреждения; неправильная работа релейных защит; опасность электропоражения персонала и посторонних лиц при длительном существовании ОЗЗ. Вследствие этого, в европейских странах такой режим заземления применяется крайне редко. Более широкое распространение получили режимы заземления нейтрали через дуго-

гасящий реактор (Германия, Чехия, Швейцария) и резистор (Португалия, Франция, Япония), а также режим глухо-заземленной нейтрали (Австралия, Канада, США, Испания).

Выбор режима заземления нейтрали является комплексной задачей, в которой необходимо учитывать не только технические характеристики, но и экономические. Произведем сравнение режимов заземления нейтрали на примере подстанции 110/10/6 кВ, изображенной на рисунке 1. В качестве предполагаемых режимов заземления нейтрали могут быть использованы заземление через дугогасящий реактор, низкоомный и высокоомный резистор.

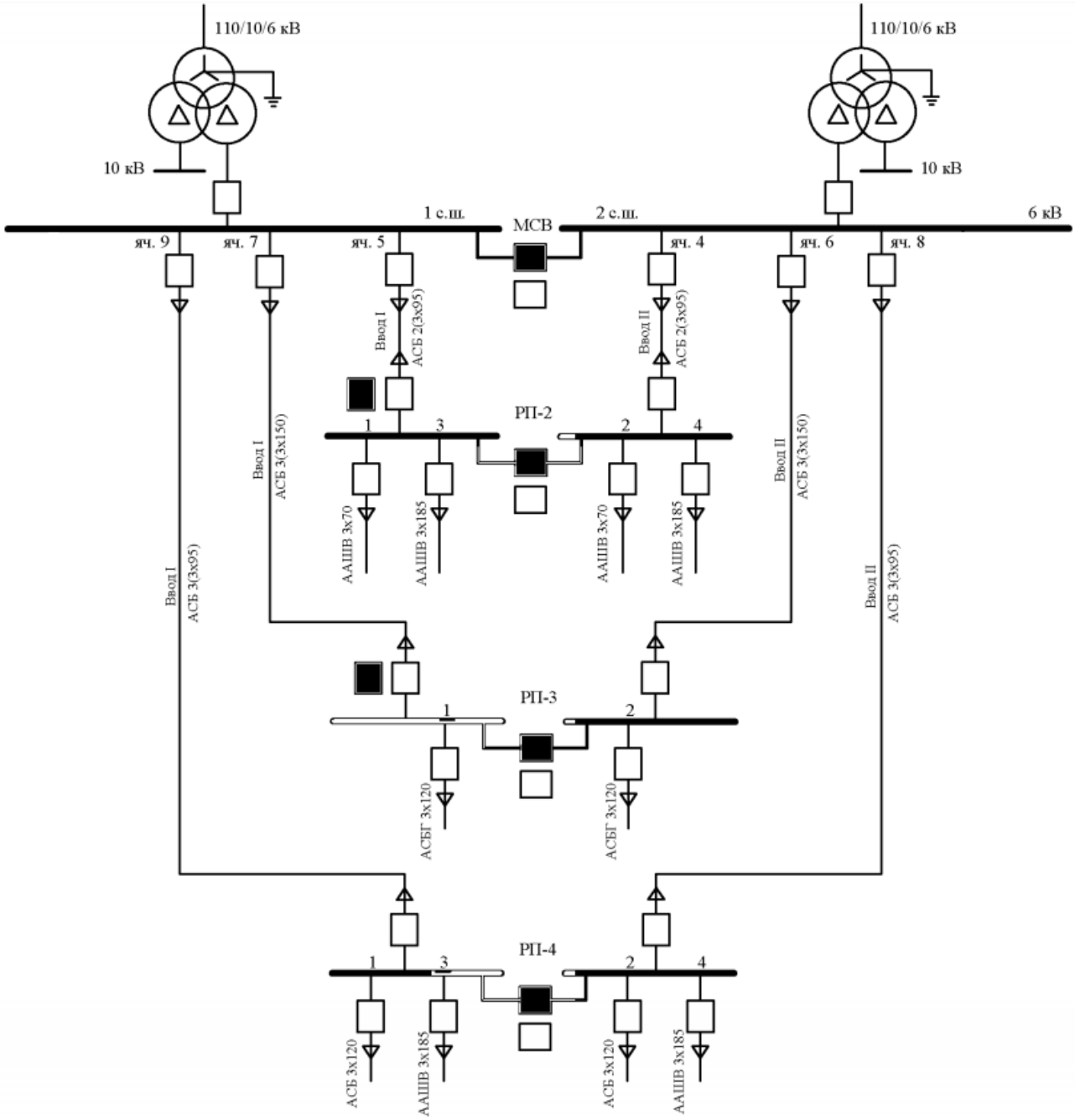


Рисунок 1 – Схема сети напряжением 6 кВ ПС 110/10/6 кВ

Предварительно необходимо определить уровень емкостного тока ОЗЗ в соответствии с формулой:

$$I_C = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \omega \cdot C_{\text{уд}} \cdot L, \text{А},$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, В; ω – угловая частота сети, рад/с; $C_{\text{уд}}$ – удельная емкость линии, Ф/км; L – длина линии, км.

Результаты расчета емкостного тока представленной сети напряжением 6 кВ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Емкостные токи присоединений секций шин напряжением 6 кВ

№ яч.	Присоединения	Марка, сечение кабеля	Длина, м	Уд. емкость, мкФ/км	Емкость, мкФ	Емкостной ток, А	
яч.4	РП 2 ввод II	АСБ 2(3х95)	2500	0,247	1,235	4,03	6,0
	РП 2 яч.2	ААШВ 3х70	400	0,214	0,086	0,28	
	РП 2 яч.4	ААШВ 3х185	1520	0,343	0,521	1,70	
яч.6	РП 3 ввод II	АСБ 3 (3х150)	4000	0,311	3,73	12,2	14,5
	РП 3 яч.2	АСБГ 3х120	2500	0,278	0,695	2,26	
яч.8	РП 4 ввод II	АСБ 3(3х95)	850	0,247	0,630	2,06	6,6
	РП 4 яч.2	АСБ 3х120	1700	0,278	0,47	1,54	
	РП 4 яч.4	ААШВ 3х185	2700	0,343	0,93	3,00	

Первым режимом заземления нейтрали необходимо рассмотреть заземление с использованием дугогасящего реактора (ДГР). Данный режим обладает такими достоинствами, как отсутствие необходимости немедленного отключения ОЗЗ и потребителя; малый остаточный ток в месте повреждения; самоликвидация замыканий. Однако недостатками данного режима являются усложнение организации селективной работы защиты от ОЗЗ; большие капиталовложения; повышение требований к персоналу по эксплуатации ДГР.

К установке принимается ДГР с плавным регулированием тока серии РЗДПОМ компании ОАО «Электрозавод», оснащенный встроенным трансформатором тока.

Суммарный емкостной ток рассчитывается по формуле:

$$I_\Sigma = 2 \cdot (I_{\text{яч.4}} + I_{\text{яч.6}} + I_{\text{яч.8}}) = 2 \cdot (6{,}0 + 14{,}5 + 6{,}6) = 54{,}2 \text{ А}.$$

Так как емкостной ток составил более 50 А, то согласно [2] рекомендуется применять не менее двух реакторов.

При этом необходимо учесть, что ДГР устанавливается на каждой секции шин, поэтому на каждый ДГР будет приходиться емкостной ток равный емкостному току одной из двух секций шин, т.е. в случае, когда секционные выключатели замкнуты.

Исходя из вышесказанного, мощность реактора определяется по формуле:

$$Q_{\text{Р}} = 1{,}25 \cdot \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{I_\Sigma}{2} = 1{,}25 \cdot \frac{6}{\sqrt{3}} \cdot \frac{54{,}2}{2} = 117{,}35 \text{ кВА},$$

где 1,25 – коэффициент с учетом развития сети.

Принимается к установке РЗДПОМ-120/6 УI номинальной мощностью $Q_{\text{Р}} = 120$ кВА. Для подключения реакторов к сети используются силовые трансформаторы мощностью:

$$S_{\text{тр}} = 1{,}15 \cdot S_{\text{ном Р}} = 1{,}15 \cdot 120 = 138 \text{ кВА}.$$

Принимается к установке трансформатор подключения ТМ-250/6.

Следующим способом заземления нейтрали можно рассмотреть заземление через низкоомный резистор. Этот режим обладает рядом таких достоинств, как отсутствие дуговых перенапряжений; простая реализация релейной защиты; уменьшение вероятности поражения персонала и посторонних лиц. Среди недостатков данного решения можно выделить возможность увеличение тока ОЗЗ и увеличение повреждений электрооборудования; ограничение развития сети; неспособность резистора долго работать в режиме ОЗЗ.

К установке принимается устройство резистивного заземления нейтрали серии NERC производителя «EGE», который включает в себя трансформатор вывода нейтрали, низкоомный резистор и трансформатор тока.

Заземление нейтрали через низкоомный резистор выполняется в сетях с любым значением емкостного тока, но при этом активный ток, создаваемый резистором, должен быть больше емкостного тока сети. Обычно, активный ток резистора больше емкостного тока сети не менее чем в 2 раза $I_R > 2 \cdot I_\Sigma$:
$I_R > 2 \cdot 54{,}2$ А; $I_R > 108{,}4$ А.

Устанавливаемый резистор позволяет регулировать активный ток в диапазоне $I_R = 20 \div 2000$ А, следовательно, принимается ближайшее значение $I_R = 110$ А.

Номинальное резистивное сопротивление рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_R} = \frac{6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 31{,}49 \text{ Ом}.$$

Принимается к установке резистор NERC-100-6 с номинальным сопротивлением $R = 35$ Ом.

Третьим режимом заземлением нейтрали следует рассмотреть высокоомное резистивное заземление. Однако согласно [3] суммарный ток в месте замыкания (активный ток резистора плюс емкостной ток сети) не должен превышать 10 А, следовательно рассматривать данный режим заземления нейтрали нет необходимости, так как суммарный емкостной ток сети составляет 54,2 А.

Технико-экономическое сравнение рассмотренных выше режимов заземления нейтрали будет производиться на основе сравнения капитальных вложений в объект, считая затраты на обслуживание и ремонт ДГР и резисторов аналогичными:

$$\text{К} = \text{Ц} + \text{М} + \text{Н},$$

где Ц – стоимость оборудования, руб.; М – расходы на монтаж, руб.; Н – накладные расходы, руб.

Как правило, монтажные работы составляют 20% от общей цены за оборудование, а накладные расходы – 10% [3].

Капитальные вложения для режима заземления нейтрали через ДГР включают в себя стоимость двух дугогасящих реакторов серии РЗДПОМ-120/6 УI номинальной мощностью 120 кВА и двух трансформаторов подключения ТМ-250/6, а также расходы на монтаж ячейки с трансформатором для подключения реактора (таблица 2).

Таблица 2 – Капитальные вложения для режима с ДГР

Наименование	Количество	Стоимость, руб.	Итоговая стоимость, руб.
Дугогасящий реактор РЗДПОМ-120/6 УI	2	1 000 000	2 000 000
Трансформатор подключения ТМ-250/6	2	140 000	280 000
Монтажные работы	20% от 2 280 000		456 000
Накладные расходы	10% от 2 280 000		228 000
		Итого:	2 964 000

Следующим рассматривается расчет капитальных вложений для режима заземления нейтрали через низкоомный резистор: приобретение устройства резистивного заземления нейтрали серии NERC-100-6 с номинальным сопротивлением $R = 35$ Ом, а также монтаж ячейки с трансформатором для подключения резистора (таблица 3).

Таблица 3 – Капитальные вложения для режима с низкоомным резистором

Наименование	Количество	Стоимость	Итоговая стоимость
Низкоомный резистор серии NERC-100-6 с номинальным сопротивлением $R = 35$ Ом	2	350 000	700 000
Монтажные работы	20% от 700 000		140 000
Накладные расходы	10% от 700 000		70 000
		Итого:	910 000

Результаты расчета показывают, что для рассматриваемой сети напряжением 6 кВ наиболее экономически целесообразно осуществить заземление нейтрали через низкоомный резистор, несмотря на имеющиеся недостатки данного режима заземления нейтрали. Итоговая стоимость капиталовложений данного варианта оказалась более чем в три раза меньше, чем стоимость режима заземления через ДГР.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://etp-perm.ru/el/pue
2. РД 34.20.179. Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ. – Москва: ПО «Союзтехэнерго», 1988.
3. Режимы заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ и организация релейной защиты от однофазных замыканий на землю [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ege-energan.ru/wp-content/uploads/2016/01/%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B8%D0%BC%D1%8B_%D0%B7%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%B8.pdf

Н.М. Исаченкова, студ.; А.А. Новикова, студ., рук. Д.Д. Гордиевский, ст. преп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 10 КВ

На сегодняшний день на территории Российской Федерации более 130 тыс. км линий электропередачи напряжением 6-10 кВ выполнены неизолированными проводами. Использование традиционных воздушных линий (ВЛ) с неизолированными проводами имеет ряд существенных недостатков по сравнению с изолированными проводами, среди которых можно отметить наиболее существенные: высокие эксплуатационные расходы, большие потери напряжения и мощности, низкая надежность электроснабжения потребителей ввиду частых аварий, низкая электробезопасность. При этом, согласно заключению специалистов РАО ЕЭС, ВЛ на территории Российской Федерации находятся в состоянии, которое позволит обеспечить надежное электроснабжение потребителей только в ближайшие несколько лет. Следовательно, реконструкция распределительных сетей напряжением 6-10 кВ, выполненные изолированными проводами, является актуальной задачей.

Наиболее целесообразным решением по увеличению срока надёжной эксплуатации сетей 6-10 кВ видится использование самонесущих изолированных проводов (СИП). Кроме того, СИП обладает рядом преимуществ, рассмотрение которых затруднено ввиду отсутствия простой и допустимой модели их оценки.

Целью данной работы является получение математических моделей для оценки эффективности применения СИП при реконструкции сети 10 кВ.

Оценка эффективности будет производиться по величине потерь напряжения, а также активной и реактивной мощностей.

Потери напряжения в воздушной линии, выполненной проводами марки АС, определяем по известному выражению:

$$\Delta U_{\text{АС}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{АС}} \cdot U_{\text{ном}} \cdot (r_{0\text{АС}} \cdot cos\varphi + x_{0\text{АС}} \cdot sin\varphi) \cdot L, \qquad (1)$$

где I – полный ток нагрузки; $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение в начале линии; $r_{0\text{АС}}$ и $x_{0\text{АС}}$ – удельные активное и реактивное сопротивления провода марки АС; $cos\varphi$ – коэффициент мощности; L – длина провода.

Удельное активное сопротивление алюминиевого проводника связано с его сечением F соотношением $r_0 \approx 32/F$, тогда:

$$\Delta U_{\text{АС}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{АС}} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{32}{F_{\text{АС}}} \cdot cos\varphi + x_{0\text{АС}} \cdot sin\varphi\right) \cdot L, \qquad (2)$$

Аналогично для линий, выполненных СИП, при симметричной нагрузке и неизменном токе I:

$$\Delta U_{\text{СИП}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{СИП}} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{32}{F_{\text{СИП}}} \cdot cos\varphi + x_{0\text{СИП}} \cdot sin\varphi\right) \cdot L. \qquad (3)$$

На основании (2) и (3) получено выражение для расчета коэффициента снижения потерь напряжения по полному току при замене проводников АС на СИП:

$$K_{\Delta U}^{I} = \frac{\Delta U_{\text{СИП}}}{\Delta U_{\text{АС}}} = \frac{32 + F_{\text{СИП}} \cdot tg\varphi \cdot x_{0\text{СИП}}}{32 + F_{\text{АС}} \cdot tg\varphi \cdot x_{0\text{АС}}}. \quad (4)$$

Принимая допущения, что мощность нагрузки неизменна, следует учесть изменение тока, обусловленного изменением напряжения в узле. Тогда коэффициент снижения потерь напряжения по полной мощности:

$$K_{\Delta U}^{S} = \frac{I_{\text{СИП}}}{I_{\text{АС}}} \cdot K_{\Delta U}^{I} = \frac{U_{\text{ном}} - \Delta U_{\text{АС}}}{U_{\text{ном}} - \Delta U_{\text{СИП}}} \cdot K_{\Delta U}^{I} = \frac{1 - \frac{\Delta U_{\text{АС}}}{U_{\text{ном}}}}{1 - \frac{\Delta U_{\text{СИП}}}{U_{\text{ном}}}} \cdot K_{\Delta U}^{I} \approx$$

$$\approx \left[1 - \frac{\Delta U_{\text{АС}}}{U_{\text{ном}}} \cdot (1 - K_{\Delta U}^{I})\right] \cdot K_{\Delta U}^{I}. \quad (5)$$

Поскольку потери активной мощности при замене проводов АС на СИП при том же сечении зависят от квадрата изменения напряжения, то коэффициент снижения потерь активной мощности можно записать, используя полученное ранее выражение коэффициента снижения потерь напряжения по полной мощности:

$$K_{\Delta P} = \frac{\Delta P_{\text{СИП}}}{\Delta P_{\text{АС}}} = [1 - \frac{\Delta U_{\text{АС}}}{U_{\text{ном}}} \cdot (1 - K_{\Delta U}^{I})]^2. \quad (6)$$

Потери реактивной мощности в воздушной линии, выполненной проводами марки АС, при постоянстве мощности нагрузки определяются по известному выражению:

$$\Delta Q_{\text{АС}} = \frac{S^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot x_{0\text{АС}} \cdot L, \quad (7)$$

где S – полная мощность нагрузки.

Аналогично для линий, выполненных СИП:

$$\Delta Q_{\text{СИП}} = \frac{S^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot x_{0\text{СИП}} \cdot L, \quad (8)$$

На основании выражений (7) и (8) получено выражение коэффициента снижения потерь реактивной мощности:

$$K_{\Delta Q} = \frac{\Delta Q_{\text{СИП}}}{\Delta Q_{\text{АС}}} = \frac{x_{0\text{СИП}}}{x_{0\text{АС}}}. \quad (9)$$

Апробация полученных математических выражений произведена на примере распределительной сети, изображенной на рисунке 1. Данная распределительная сеть выполнена проводами марки АС. Параметры проовдников и величины нагрузок в узлах представлены в таблице 1.

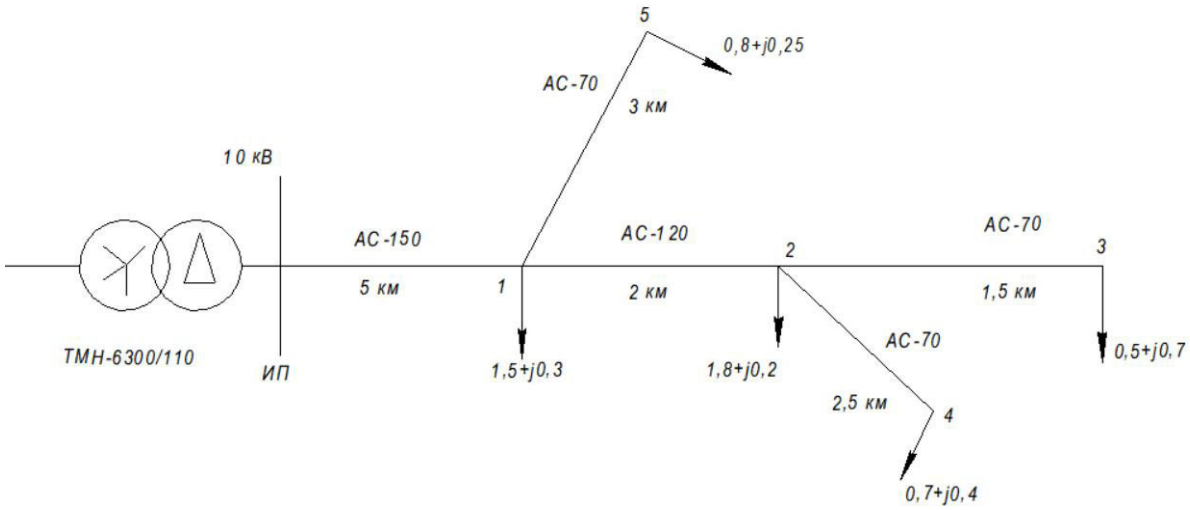


Рисунок 1 – Часть схемы распределительной сети 10 кВ

Таблица 1 – Параметры распределительной сети до реконструкции

Параметры	ИП-1	1-5	1-2	2-3	2-4
Сечение F, мм^2	150	70	120	70	70
Длина L, км	5	3	2	1,5	2,5
Активная мощность P, МВт	5,3	0,8	3	0,5	0,7
Реактивная мощность Q, Мвар	1,85	0,25	1,12	0,7	0,4

В соответствии с выражениями (4), (6) и (9) для рассматриваемой сети определим эффективность замены проводов АС на СИП того же сечения. Удельные параметры проводников приняты согласно справочным данным [1, 2], а результаты расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка эффективности реконструкции рассматриваемой сети

Линия	Провод до реконструкции	Провод после реконструкции	$\frac{X_{0СИП}}{X_{0АС}}$	$K_{\Delta U}$	$K_{\Delta Q}$	$K_{\Delta P}$
ИП-1	АС-150	СИП-3 (1х150)	$\frac{0,261}{0,420}$	0,830	0,621	0,666
1-5	АС-70	СИП-3 (1х70)	$\frac{0,291}{0,444}$	0,849	0,655	0,502
1-2	АС-120	СИП-3 (1х120)	$\frac{0,278}{0,427}$	0,845	0,651	0,547
2-3	АС-70	СИП-3 (1х70)	$\frac{0,291}{0,444}$	0,839	0,665	0,651
2-4	АС-70	СИП-3 (1х70)	$\frac{0,291}{0,444}$	0,858	0,665	0,399
Среднее значение:				0,844	0,656	0,553

На основе аналица данных таблицы 2 можно сделать выводы, что замена неизолированных проводов АС на изолированные провода СИП позволила:

1. снизить потери напряжения в узлах примерно на 15%;
2. снизить потери активной мощности на 45%, а реактивной – 35%.

Таким образом, полученные математические модели снижения потерь напряжения, активной и реактивной мощностей позволяют произвести численную оценку эффективности применения СИП при реконструкции распределительной сети.

Литература:

1. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ / Под редакцией И.Т. Горюнова, А.А. Любимова – М.: Папирус Про, 2003. – 640с.
2. Логинова С.Е., Логинов А.В. Пособие по проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 0,38–20 кВ с самонесущими изолированными и защищенными проводами. Книга 4. Система защищенных проводов напряжением 6-20 кВ. Редакция 5. Том 1., С-Пб: ENSTO - ОАО «НТЦ электроэнергетики» - РОСЭП, 2013 г.
3. Гура А.В. Замена голых проводов на самонесущие изолированные провода. // Томск – 2011 – с. 4-9.

В.А. Карпенко, студ.; Л.И. Долецкая, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕГАЗОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЯХ

В настоящее время, электрические подстанции единой национальной электрической сети (ПС ЕНЭС) России нуждаются в модернизации и реконструкции с целью повышения надежности их функционирования за счет повышения готовности оборудования, минимизации влияния «человеческого фактора», исключения влияния внешних климатических факторов, а также с целью повышения безопасности оперативного и ремонтного персонала, минимизации негативного воздействия ПС на окружающую среду и сокращение объема занимаемого места.

Использование элегазового электрооборудования на трансформаторных подстанциях 35 кВ и выше является эффективным и даже необходимым мероприятием, которое соответствует положению ПАО «Россети» о «Единой технической политике в электросетевом комплексе» [1].

Основные достоинства элегазового электрооборудования определяются уникальными физико-химическими свойствами элегаза. Элегазовая изоляция электрооборудования при правильной эксплуатации не стареет, не требует такого тщательного ухода за собой, как масло и превосходит другие виды изоляции, так как характеризуется высоким коэффициентом теплоотдачи, негорючестью, нетоксичностью, легким весом. Широкий диапазон номинальных напряжений (6-1150 кВ) позволяет постепенно вытеснять все другие типы аппаратов.

Элегаз нашел широкое применение в высоковольтных силовых и измерительных трансформаторах, комплектных распределительных устройствах (КРУЭ) и выключателях.

На сегодняшний день на территории страны в электрических сетях от 35 кВ до 750 кВ эксплуатируется около 50000 выключателей, при чем половина от общего числа составляют масляные выключатели и десятую часть - воздушные. Эти выключатели не отвечают современным требованиям по надежности

коммутационному и механическому ресурсам, по объемам ремонтных работ, массам и габаритам.

Такие преимущества элегазовых выключателей, как простота дугогасительной камеры, короткое время отключения, относительно малые габариты и масса, пожаро- и взрывобезопасность, малый износ дугогасительных контактов предполагают широкое распространение элегазовых выключателей.

Согласно нормативным документам ПАО «Россети» [1], закреплено решение при строительстве, реконструкции, техническом перевооружении и замене оборудования подстанций напряжением 110 кВ и выше о преимущественном о применении элегазовых выключателях.

В табл. 1 приведена сравнительная характеристика выключателей с различной изоляцией.

Таблица 1. Сравнительная хар-ка выключателей с различной изоляцией

Вид выключателя	Безопасность при эксплуатации	Безопасность по отношению к окружающей среде	Обслуживание	Чувствительность к воздействию окружающей среды	Износостойкость	Размеры
Масляный	Риск возникновения пожара или взрыва	Экологически не безопасен	Периодическая замена масла	Свойства среды отключения могут ухудшаться под воздействием факторов окружающей среды	Посредственная	Относительно большие размеры устройства
Воздушный	Взрыво- и пожаробезопасен	Безопасный	Частая замена дугогасительных контактов, периодическое ТО механизма управления	Влияние температуры окружающей среды	Средняя	Установка, требующая больших расстояний
Вакуумный	Нет риска возник-новения взрыва или внешний проявлений	Отсутствие загрязнения окружающей среды	Смазка механизмов управления в минимальном объеме	Нечувствительны: полностью запаянная герметичная камера	Высокая	Не габаритные
Элегазовый	Нет риска возник-новения взрыва или внешний проявлений	При утилизации или утечке экологически не безопасен	Смазка механизмов управления в минимальном объеме	Нечувствительны: полностью запаянная герметичная камера	Высокая	Небольшие

Всего выделяют четыре вида элегазовых выключателей, но на практике применяются два вида:

- Колонковый. Применение такого строения оптимальное только для сети 220 кВ. В конструкцию входит две системы, которые размещаются в емкости с элегазом - контактная и дугогасительная системы. Также они могут быть как ручными, так и дистанционными. Это считается основной причиной их больших размеров. Пример: ВГТ-УЭТМ-220, ВГП-110-40 У1, MF 24 Schneider Electric.
- Баковый. По габаритам меньше, чем колонковые. В конструкции имеется дополнительный привод, который имеет несколько фаз. Благодаря этому можно плавно и мягко регулировать включение и выключение напряжения. А из-за того, что в систему встроен трансформатор тока, механизм способен переносить большие нагрузки. Пример: ВЭБ-110, ВГБ-35, ВГУС-500-40/3150У1.

В электроэнергетике в ОРУ для измерительных трансформаторов также применяют изоляцию из элегаза. Они представляют собой герметичную конструкцию, где в качестве изоляции и охлаждения применяется элегаз. Устройство не требует большой площади, что позволяет не только сократить объем использованного под трансформатор помещения, но и уменьшить общий размер подстанции. На сегодняшний день, широкое распространение среди трансформаторов напряжения получили ЗНГА-110/220, ЗНОГ-220 и ЗНГ-УЭТМ-110, а среди трансформаторов тока - ТОГФ-110, 220 (УХЛ1), ТГФМ-110, ТРГ-УЭТМ-110.

Комплектные распределительные устройства элегазовые (КРУЭ) - это совокупность коммутационных, измерительных и других аппаратов и устройств, все токовые части которых расположены в среде элегаза под давлением, внутри немагнитного заземленного и герметичного корпуса. КРУЭ предназначено для защиты оборудования, коммутации электрической цепи, распределения и контроля электроэнергии с заданными параметрами.

Диапазон номинальных напряжений КРУЭ от 72,5 до 765 кВ при номинальных токах отключения до 63 кА. Устройства занимают незначительную часть площади и объёма, а также отличаются высокой надежностью, которая обеспечивается высокими изоляционными и дугогасительными свойствами элегаза и сведением к минимуму неблагоприятных атмосферных воздействий. В районах с высокой плотностью электрической нагрузки, особенно в городах или промышленных зонах, применение КРУЭ является наиболее экономичным решением.

Элегаз может применяться и в силовых трансформаторах, так как характеристики, позволяющие использовать электрический газ во внутренней изоляции трансформатора, не только отвечают строгим требованиям, но и превосходят изоляции с иными заполнителями. [2]

Возрастающие требования пожаробезопасного оборудования и запрет применения негорючих изоляционных жидкостей на основе трихлордифенила в 1972 г., стимулировали развитие элегазовых трансформаторов. Их производство постоянно увеличивалось с началом поставок оборудования для комплектных элегазовых подстанций в 1979 г.

Применение силовых трансформаторов с элегазовой изоляцией в России началось в 2012 г., компания ЗАО «ИСК «Союз-Сети» завершила работы по монтажу двух элегазовых трансформаторов 220/20 кВ мощностью по 63 МВА производства Toshiba (Япония) на подземной подстанции 220 кВ «Сколково». Эти трансформаторы специально разработаны для использования на подземных энергообъектах.

При решении вопросов по модернизации и реконструкции действующей трансформаторной подстанции 35/10 кВ было принято решение сравнить технические параметры используемого масляного выключателя ВМ-35 и масляного трансформатора тока ВГБ-35 УХЛ с высоковольтным оборудованием с элегазовой изоляцией: выключателем ВГБ-35 УХЛ и ТТ ТРГ-УЭТМ-35. Выбор основных технических характеристик проведен по условиям нормальных и аварийных режимов их работы.

Таблица 2. Результаты проверки по условиям выбора выключателей

Условия выбора	Паспортные данные ВГБ-35 УХЛ	Паспортные данные ВМ-35	Расчетные данные
По номинальному напряжению, В	35	35	35
По длительному току, А	630	600	450
По условию отключения периодической составляющей тока КЗ, кА	12,5	10,0	5,7
По условию отключения апериодической составляющей тока КЗ, кА	5,66	4,95	0,66
По условию включения выключателя на КЗ, кА	31,9	25	12,96
По условию электродинамической стойкости, кА	35	20	12,96
По условию термической стойкости, $кА^2 \cdot с$	353	226	74,1

Таблица 3. Результаты проверки по условиям выбора ТТ

Условия выбора	Паспортные данные ТРГ-УЭТМ-35	Паспортные данные ТОЛ-35	Расчетные данные
По номинальному напряжению, В	35	35	35
По первичному номинальному току, А	500	500	450
По условию электродинамической	84	42	12,96

стойкости, кА			
По условию термической стойкости, $кА^2 \cdot с$	1323	450	74,1

Сравниваемые аппараты удовлетворяют требуемым условиям, но высоковольтное оборудование с элегазовой изоляцией имеет значительный запас по стойкости к КЗ.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод о том, что одним из наиболее эффективных способов повышения надежности, компактности и повышенная безопасность обслуживания трансформаторных подстанций является применение элегазового оборудования.

Литература

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» / Совет директоров ПАО «Россети» (протокол от 22.02.2017 № 252). Москва, 2017. – 196 с.

2. «Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией» Г. Е. Агафонов, И. В. Бабкин, Б. Е. Берлин СПб.: «Энергоатомиздат», 2002.

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

СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ МИКРОСЕТЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) вместе с системами накопления энергии находят все более широкое применение в системах электроснабжения. Большинство таких источников генерируют электроэнергию постоянного напряжения, поэтому в научном сообществе всё чаще рассматривается идея внедрения ВИЭ в рамках микросетей (*Micro Grid*) постоянного тока. Производительность большинства ВИЭ всецело зависит от погодных условий и имеет изменчивый и неопределенный характер. Поэтому для повышения надежности электроснабжения микросети постоянного тока должны иметь связь с энергосистемой. Существует несколько вариантов соединения микросети постоянного тока с сетью переменного тока: радиальная схема, схема кольца или контура, объединенная схема. Для решения актуальной задачи выбора оптимальной схемы, наилучшим образом отвечающей предъявляемым требованиям, рассмотрим преимущества и недостатки каждой из этих схем.

В радиальной схеме шина постоянного тока связана с сетью переменного тока с одной стороны, а мощность к нагрузке может протекать только по одному пути. На рисунке 1 показана однолинейная схема радиальной микросети постоянного тока, на которой к шине постоянного тока подключено несколько ВИЭ, аккумуляторов и нагрузок (как переменного, так и постоянного тока).

Шина постоянного тока может быть однополярной или биполярной в зависимости от условий применения и предъявляемых требований. Такая структура, может быть, использована в жилых помещениях, где низковольтная шина постоянного тока должна соответствовать разным уровням напряжения большого количества приборов, чтобы избежать дополнительных ступеней преоб-

разования постоянного тока в постоянный. В таких схемах нагрузки могут быть расположены близко к точке связи с сетью переменного тока, что позволяет уменьшить потери при распределении.

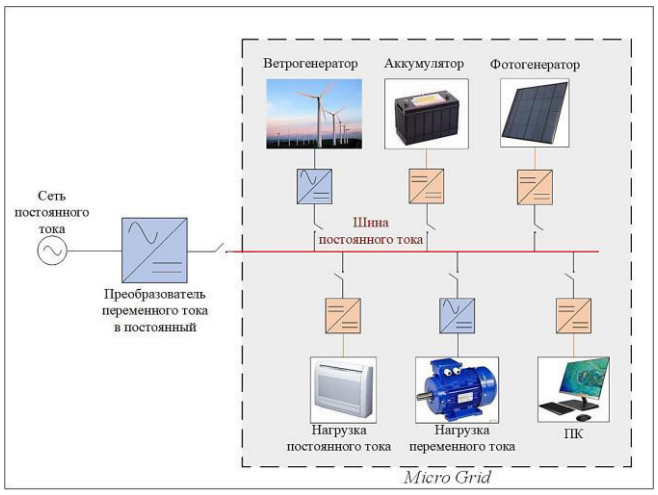
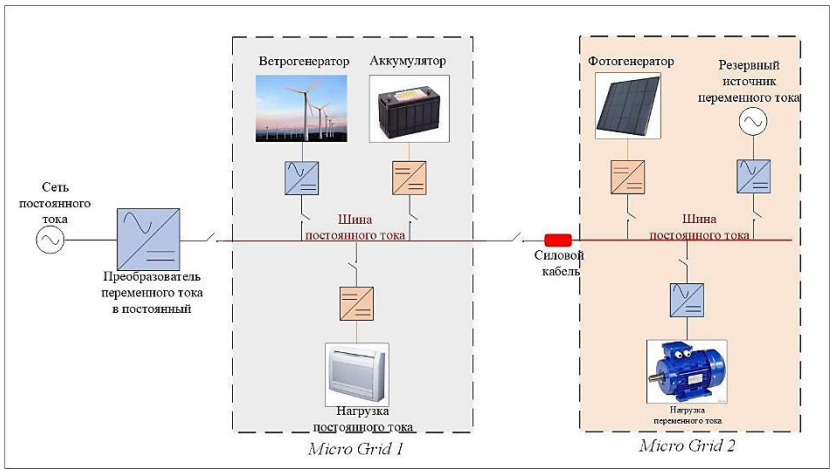


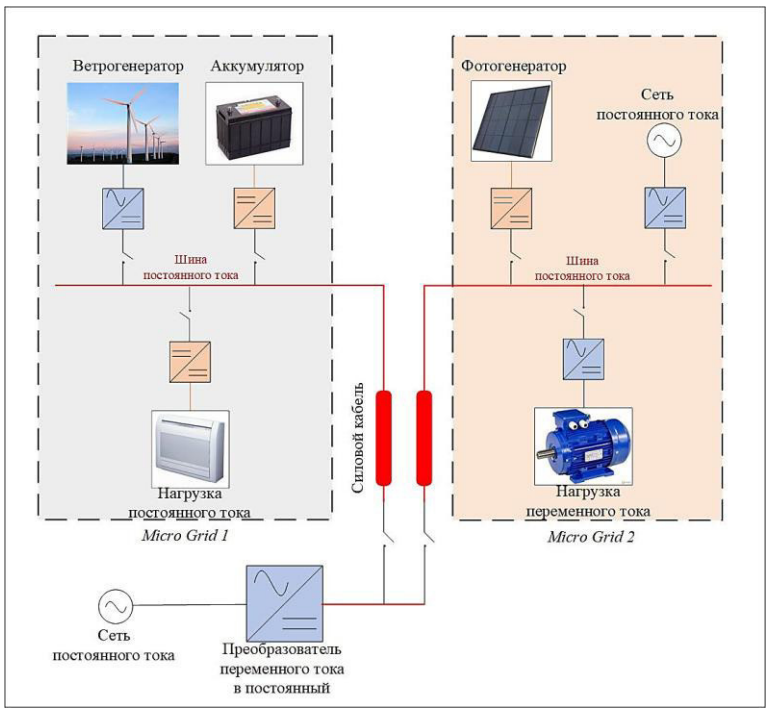
Рисунок 1 – Радиальная схема микросети постоянного тока.

Такая концепция может применяться в многоуровневой микросети постоянного тока, например в многоэтажных зданиях, где каждый уровень *Micro Grid* может иметь ВИЭ, систему хранения и различные нагрузки. В таких сетях шины постоянного тока каждого уровня могут быть соединены последовательно или параллельно в зависимости от планировки зданий. Таким образом, каждое здание может включать в себя объединение нескольких микросетей.

Радиальные схемы микросетей постоянного тока имеют ряд преимуществ: простота; многоуровневое напряжение (в биполярном режиме); возможность совместного использования мощностей соседних шин (в многоуровневой микросети). Однако последовательная радиальная схема в аварийных режимах не является гибкой. Например, одна неисправность может привести к отключению всех потребителей, подключенных к одной системе шин. Применение параллельной радиальной схемы может повысить надежность системы, путем отключения поврежденных шин в случае аварии, позволяя исправным шинам продолжать свою нормальную работу (рисунок 2).



а.



б.

Рисунок 2 – Радиальная схема многоуровневой микросети постоянного тока: а) последовательная; б) параллельная.

Большей гибкостью обладают схемы кольцевого или контурного типа. Такая конфигурация состоит из двух или более линий связи между сетью переменного тока и потребителями, как показано на рисунке 3. Выключатели к сети постоянного тока расположены на обоих концах каждой шины постоянного тока, что позволяет быстро изолировать неисправную шину от системы. Интеллектуальное электронное устройство (ИЭУ) используется для управления каждой шиной и их связью с соседними шинами [1].

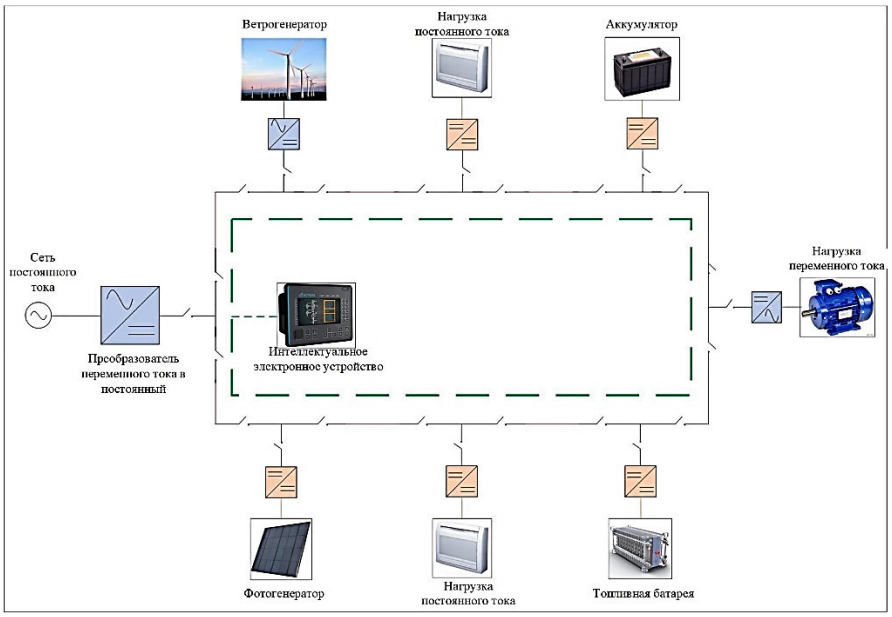


Рисунок 3 – Схема кольцевого или контурного типа микросети постоянного тока.

Надежность *Micro Grid* постоянного тока можно повысить за счет обеспечения альтернативного электроснабжения потребителей сетью переменного тока в случае выхода из строя одного или нескольких фидеров. Это может быть сделано путем соединения шины постоянного тока с более чем одним источником питания от сети переменного тока. Возможны две различные конфигурации: *Micro Grid* постоянного тока по ячейкам и по зонам.

В *Micro Grid* постоянного тока по ячейкам, также известной как многополюсная сеть, к сети постоянного тока подключается более одной сети переменного тока, каждая через преобразователь переменного тока в постоянный. На основе этой конфигурации возможны различные схемы микросетей постоянного тока, в которых к фидерам постоянного тока подключено несколько источников питания постоянного и переменного тока. На рисунке 4 показана одна из таких схем. *Micro Grid* постоянного тока по ячейкам более надежна по сравнению с радиальными или кольцевыми сетями постоянного тока из-за наличия нескольких фидеров для подачи питания в различные части системы.

Подобные архитектуры используются в высоковольтных системах постоянного тока, таких как прибрежные ветряные электростанции и подземные городские распределительные сети [2], [3].

Для дальнейшего повышения надежности системы в работе [4] была предложена зональная электрическая распределительная схема, в которой система подразделяется на несколько зон и каждая зона имеет две резервные шины постоянного тока, как показано на рисунке 5. Фактически эта архитектура состоит из каскадных *Micro Grid* постоянного тока симметричной конфигурации.

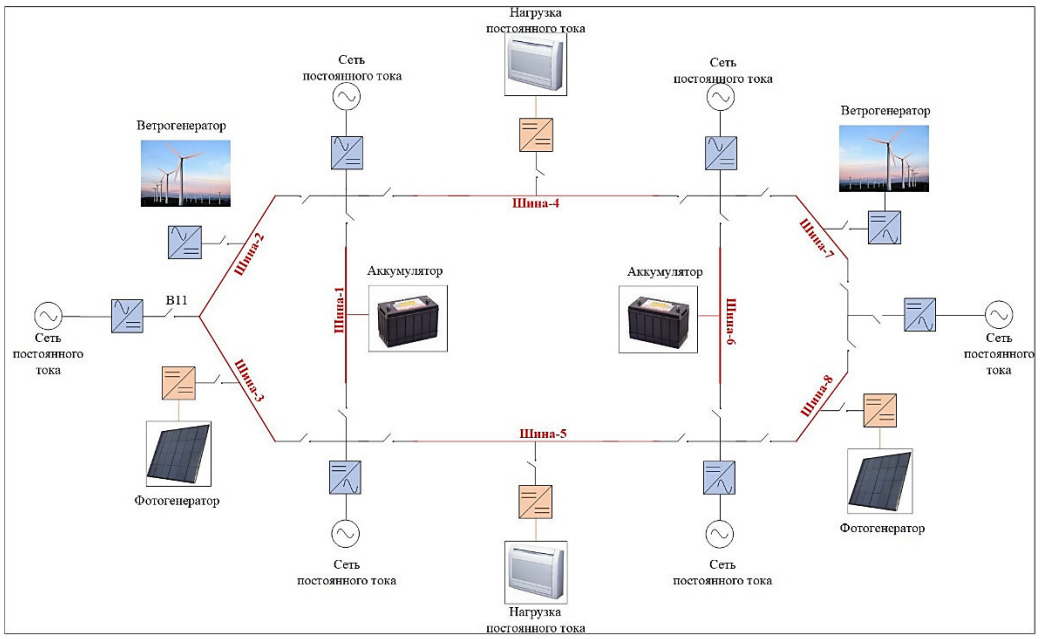


Рисунок 4 – Схема *Micro Grid* постоянного тока по ячейкам.

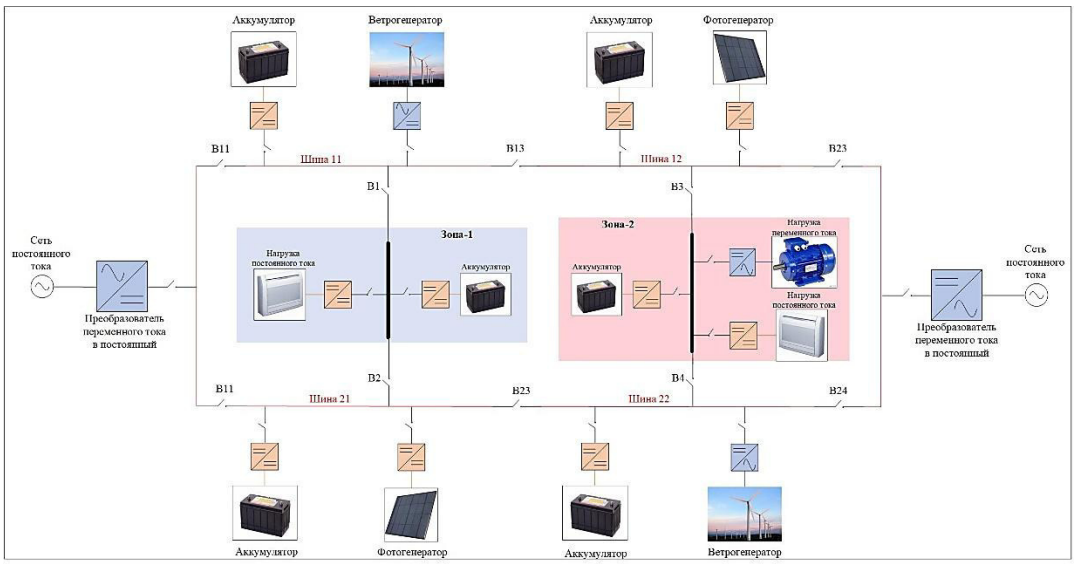


Рисунок 5 – Схема *Micro Grid* постоянного тока по зонам.

Такая *Micro Grid* постоянного тока содержит несколько элементов энергосистемы, таких как силовые преобразователи, системы накопления энергии, генераторы и распределительные устройства для питания группы нагрузок. Каждая зона соединена с двумя резервными шинами постоянного тока, питаемыми от сети переменного тока и распределенными источниками энергии постоянного и переменного тока. Этот тип архитектуры обеспечивает лучшую надежность для нагрузок, которые могут питаться через один из нескольких фидеров.

Предполагая, что в верхней шине (шина 11) Зоны-1 происходит неисправность, выключатели на верхней стороне ($S11$ и $S13$) будут выключены, в то время как выключатели на нижней стороне ($S2$) остаются включенными таким образом, мощность передается нагрузкам через другие фидеры. Поскольку каждая зона также подключена к своему собственному источнику питания (постоянного и/или переменного тока), неисправности как в верхних, так и в нижних фидерах каждой зоны могут разделить сеть постоянного тока на несколько секций. Эта конфигурация является более гибкой и модульной из-за большего количества коммутаторов и подходит для планирования распределения энергии.

Зональная электрическая схема обеспечивает несколько вариантов подачи питания на нагрузки. Питание может подаваться от нескольких шин одновременно, последовательно или только от одной шины. Однако мощность, потребляемая от нескольких шин, может усложнить конструкцию и работу распределительной системы. По этой причине в работе [5] была предложена стратегия выбора шины. Основываясь на этой стратегии, нагрузка получает питание от шины с самым высоким уровнем напряжения. Однако нагрузка может переключиться на другую шину в зависимости от требуемых условий. Этот тип конфигурации обычно используется в корабельной энергетике [6].

Управление *Micro Grid* является сложной задачей, при решении которой требуется рассмотреть множество вариантов подключения источников электроэнергии ко всем потребителям с учетом их категории надежности и в то же время обеспечить качественную координацию различных контроллеров управления,

индивидуальных для каждого элемента микросети. В то же время нельзя забывать об авариях, которые могут возникнуть в микросети и ее элементах. Кроме того, при решении задачи управления должны тщательно прорабатываться вопросы подключения к единой ЭС в нормальных и аварийных условиях [7].

Все эти факторы требуют внимательного подхода к построению микросетей, выбору их рабочих характеристик и испытаниям их отдельных элементов перед вводом микросетей в эксплуатацию.

Литература:

1. J.-D. Park, J. Candelaria, L. Ma, and K. Dunn, ``DC ring-bus microgrid fault protection and identification of fault location," IEEE Trans. Power Del., vol. 28, no. 4, Oct. 2013, pp. 2574-2584.
2. W. Lu and B. T. Ooi, ``Multiterminal LVDC system for optimal acquisition of power in wind-farm using induction generators," IEEE Trans. Power Electron., vol. 17, no. 4, Jul. 2002, pp. 558-563.
3. L. Weixing and B. O. Teck, ``Multi-terminal HVDC as enabling technology of premium quality power park," in Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meet., vol. 2. Jan. 2002, pp. 719-724.
4. E. Tironi, M. Corti, and G. Ubezio, ``Zonal electrical distribution systems in large ships: Topology and control," in Proc. Int. Annu. Conf. (AEIT), Naples, Italy, 2015, pp. 1-6.
5. R. S. Balog and P. T. Krein, ``Bus selection in multibus DC microgrids," IEEE Trans. Power Electron., vol. 26, no. 3, Mar. 2011, pp. 860-867.
6. P. Cairoli and R. Dougal, ``New horizons in DC shipboard power systems: New fault protection strategies are essential to the adoption of DC power systems," IEEE Electrific. Mag., vol. 1, no. 2, Dec. 2013, pp. 38-45.
7. Я. Законьшек, Ф.А. Иванов, М.А. Шамис. Моделирование микросети с подключением силового оборудования в реальном масштабе времени. Энергия единой сети № 1 (43), февраль – март 2019, с.58-67.

Е.А. Макаров, маг.; рук. С.В. Почечуев, к.т.н.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

Переход на рыночные принципы взаимоотношений между потребителями электроэнергии и электросетью повышает требования к точности прогнозов потребления электроэнергии как для отдельных компаний, так и для электросети и ответственности за решения, принимаемые на основе результатов прогнозов. Прогнозирование электрических нагрузок играет важную роль в ценообразовании на рынке электроэнергии. Своевременное получение информации о предстоящей нагрузке имеет большое значение для достижения оптимального режима в ЭЭС [1]. Точность прогнозов потребления существенно влияет на конечные технико-экономические показатели ЭЭС в условиях функционирования рынка электроэнергии.

ОРЭМ (оптовый рынок электроэнергии и мощности) - это система договорных отношений многих ее участников, связанных единством технологического процесса генерации, передачи, распределения и потребления электроэнергии. Участниками ОРЭМ являются производители электроэнергии - производители и потребители электроэнергии - продавцы энергии. Организатор рынка ОРЭМ поддерживает электрические сети в надежном состоянии, обеспечивает передачу электроэнергии и мощности между рыночными единицами - производителями и покупателями электроэнергии, организует параллельную работу систем электроснабжения и обеспечивает необходимую оперативную

готовность систем противоаварийной защиты для надежной работы, безаварийная работа ЭЭС. Организатор через администратора торговой системы ОАО «АТС» формирует балансы электроэнергии и мощности на год (квартал, месяц) по отдельным темам и всей энергосистеме, а также проводит работы по прогнозированию спроса на электроэнергию. Организатор через системного оператора ОРЭМ - ОАО «СО-ЕЭС России» и территориальные структурные подразделения, совмещенные диспетчерские пункты - ОДУ осуществляет оперативно-диспетчерский контроль технологического процесса производства, передачи и потребления электроэнергии и электроэнергии (диспетчеризация) в ЕЭС России.

Основная задача тематики НОРЭМ - обеспечить соблюдение технологических требований для надежной работы единой ЭЭС. Сюда входит поддержание установленных нормативов качества электроэнергии (по частоте и напряжению) при нормальной эксплуатации, поддержание стабильности параллельной работы и надежности электроснабжения потребителей (Рис. 1) в тяжелых режимах, устранение аварийных ситуаций, нарушений и восстановления нормального режима и быстрого устранения аварийного режима, предотвращая каскадное развитие аварийных нарушений.

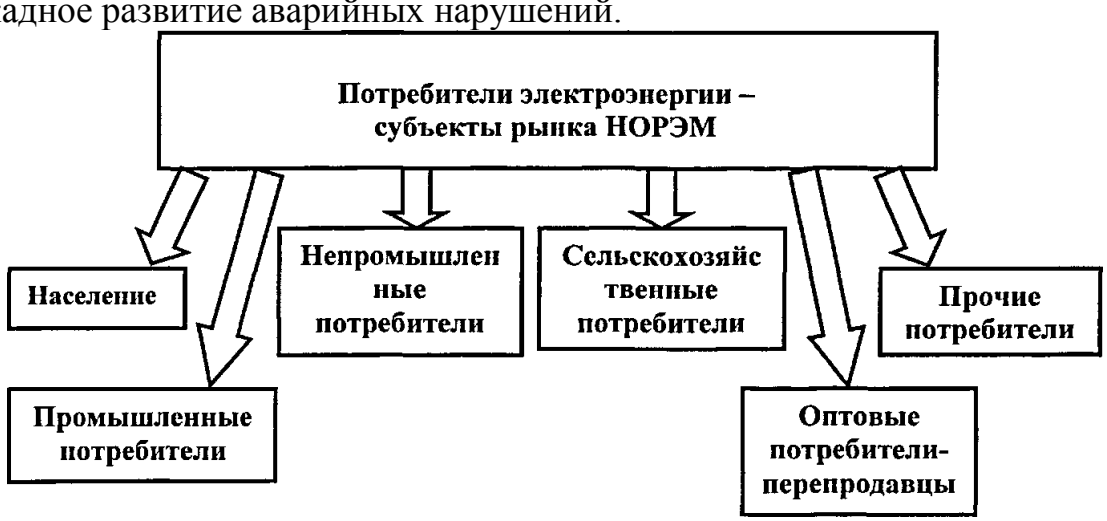


Рис.1 Структура потребителей электроэнергии

Прогнозирование рабочих параметров, а также технико-экономических показателей - одна из важных задач, как при планировании, так и при поддержании текущих режимов ЭЭС [1]. Чтобы принимать решения о режимах планирования в ЭЭС и их оперативном управлении, необходимы прогнозы с заблаговременностью от нескольких минут до нескольких лет. Временная последовательность расчетов разбита на три основных интервала [1]:

- долгосрочное планирование (от месяца до года вперед);
- краткосрочное планирование (от дня до месяца вперед);
- Оперативный контроль режимов (минуты, часы).

Расчет прогнозов потребления электроэнергии решается на всех временных интервалах с последовательным уточнением результатов расчетов с уменьшением времени выполнения заказа. Краткосрочный прогноз электрической нагрузки играет важную и важную роль в оперативном управлении режимами ЭЭС и обеспечении экономичной и безопасной эксплуатации. Выполнение

многих диспетчерских функций, таких как выбор состава включенных модулей и назначение им задач, координация их работы, оценка стабильности и поддержание функциональности требуют решения этой проблемы.

Одним из наиболее важных показателей при планировании является ожидаемое общее потребление электроэнергии для энергосистемы и групп. Необходимость точного прогноза потребления электроэнергии обусловлена технологическими и экономическими причинами. Ошибка прогноза снижает качество управления и эффективность режимов ЭЭС. Заниженный прогноз приведет к использованию дорогостоящего аварийного электрооборудования. Завышенный прогноз увеличивает затраты на поддержание избыточных резервных мощностей. Генерирующие компании и электростанции участвуют в процессе энергетического планирования и определяют потребление энергии для нужд эксплуатации электростанции. Энергоснабжающие компании планируют потребление групп и индивидуальных потребителей в обслуживании. Для ЭЭС требуется повышение точности прогнозов, чтобы поддерживать оптимальный план выработки электроэнергии с точки зрения обеспечения минимального потребления энергоресурсов, предотвращения перегрузки генерирующих мощностей и предотвращения ухудшения качества электроэнергии.

Целью прогноза для электросети является оценка ожидаемого графика изменения подачи электроэнергии потребителям (спроса) и потребления электроэнергии для планирования режимов работы электросети и ее электростанций.

Целью прогноза для потребителей электроэнергии является оценка плана электроснабжения при оптимизации и оперативном управлении потреблением электроэнергии, прогнозирование заявленного максимума и потребления электроэнергии при подаче заявки, а также согласование с энергоснабжающей организацией электроснабжения, и планирование спроса на электроэнергию в соответствии со спросом. Точность прогнозных расчетов определяется согласованностью применяемых математических моделей с процессом колебаний потребления электроэнергии. Эти колебания представляют собой сложный, неустойчивый, случайный процесс с определенной цикличностью, которая определяется сезонными колебаниями температуры и продолжительностью дня в контексте года, технологическим образом, в котором работают компании, способом их работы и прочим. Регулярные колебания накладываются на нерегулярные и случайные компоненты, связанные с резкими изменениями погодных условий с различными социальными факторами. Все эти процессы следует учитывать при разработке моделей математического прогнозирования.

Величина прогноза потребления электроэнергии является справочным показателем для последующего планирования балансов электроэнергии. Особенностью управления ЭЭС является необходимость постоянного поддержания электрического баланса - точного соответствия генерирующих мощностей потребляемой электроэнергии. Основными задачами при прогнозировании баланса электроэнергии являются:

- Удовлетворение потребительского спроса на электроэнергию и мощность;
- Обеспечение надежного электроснабжения потребителей;

- минимизация затрат на производство и доставку электроэнергии;

- Соблюдение качества электроэнергии.

Неуравновешенность характеристик отражается на основных параметрах электрических режимов. Задержка восстановления равновесия приводит к ухудшению параметров режимов, авариям и сбоям в электроснабжении потребителей. Количество потребляемой и произведенной электроэнергии на всех этапах планирования и эксплуатации обязательно должно согласовываться с вышестоящими уровнями управления.

Неотъемлемой частью автоматизированной системы управления энергопотреблением является автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ). От точности, стабильности и гибкости их работы зависит эффективность всей системы. Оценочные расчеты ОАО «ВНИИЭ» для ЭЭС России с ежемесячным потреблением около 1500 млн кВтч показали, что улучшение качества прогноза только ежемесячного потребления на 0,1% в настоящее время может снизить затраты на оплату отклонений от плана за электроэнергию на 3-5 млн руб. в год . Еще больший эффект дает уточнение краткосрочного и операционного прогнозов. В связи с этим АСКУЭ предъявляет следующие требования по точности прогноза энергопотребления:

- Погрешность в оперативном прогнозе на 6-10 временных интервалах и в выборке процесса на 2-5 минут не должна превышать 2-4%.

- Погрешность краткосрочного прогноза на несколько дней (до 7) и выборки процесса на 30 минут или 1 час не должна превышать 4-6%.

В случае краткосрочных и оперативных прогнозов одним из ключевых моментов при уточнении прогнозов является учет влияния метеорологических факторов [1]. Точность краткосрочного и оперативного прогнозов обычно определяется адекватностью (соотношением) математических моделей. Ошибки краткосрочного прогноза увеличиваются с увеличением упреждения от дня к неделе. Для ЭЭС с незначительной суточной неравномерностью ошибки прогноза значительно ниже, чем для энергосистем с высокой неравномерностью. В оперативном прогнозировании ошибки во многом зависят от ожидания, с которым был сделан прогноз. Наилучшая точность прогнозов достигается при минимальном запасе хода - час, полчаса. Точность ухудшается по мере заблаговременности прогноза и приближается к точности краткосрочного прогноза на сутки вперед по мере увеличения заблаговременности.

Литература:

1. Седов А.В., Надтока И.И. Системы контроля, распознавания и прогнозирования электропотребления: модели, методы, алгоритмы и средства. - Ростов — на - Дону: Изд-во Ростовского университета, 2002. - 320 с.
2. Макоклюев Б.И., Антонов А.В., Полижаров А.С., Тупицин И.В., Гилева С.С. Влияние метеофакторов на режимы потребления электроэнергии энергосистем// Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: надежность либерализованных систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы, вып. 65, ИСЭМ СО РАН, 2015.-10 с.
3. Макоклюев Б.И., Павликов В.С., Владимиров А.И., Фефелова Г.И.Влияние колебаний метеорологических факторов на электропотребление-Электрические станции,2002,N1.
4. Макоклюев Б.И., Ач В.Ф. Учет влияния метеорологических факторов при прогнозировании электропотребления энергообъединений. - Энергетик, 2004, N 6.

П.П. Макаров, студ.; рук. Л.В. Вайтеленок, ст. преп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА RASTRWIN RUSTAB

Под переходным процессом в электроэнергетических сетях понимается их переход из одного установившегося состояния в другое. Такие процессы могут возникать по различным причинам: коммутации в сети, изменения параметров сети или уровня нагрузки, возникновения коротких замыканий. Длительность переходного процесса может варьироваться от микросекунд до нескольких минут или часов. Поэтому очень важно знать, как поведет себя электроэнергетическая система в результате таких возмущений, сохранит ли она устойчивую работу в новом установившемся режиме или потеряет свою устойчивость.

Современные электроэнергетические сети имеют сложные конфигурации и состоят из множества узлов, поэтому не всегда получается с достаточной точностью произвести ручной расчет переходного процесса. Для упрощения расчетов можно применять программные комплексы, одним из которых является подмодуль RUSTab программы RastrWin. Принцип работы с программой рассмотрим на примере проверки устойчивости работы электростанции типа КЭС (рис.1) при возникновении КЗ.

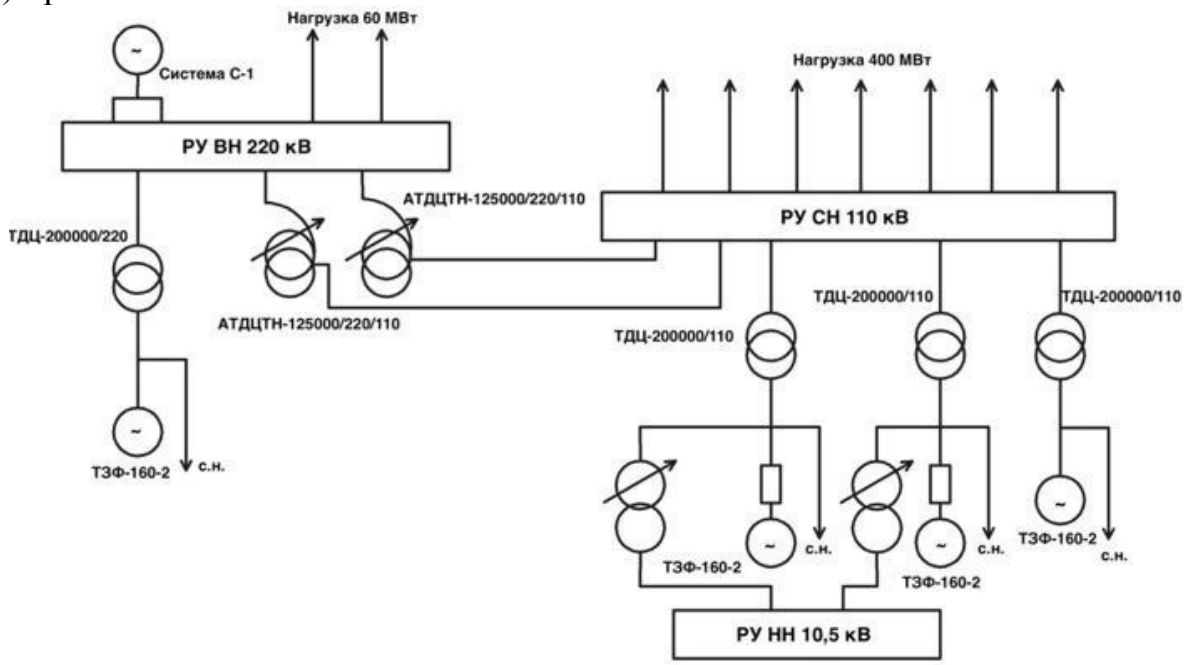


Рис. 1. Принципиальная схема КЭС

Исследуемая КЭС сконструирована по блочному типу. Вся мощность, вырабатываемая станцией, за вычетом мощности, потребляемой собственными нуждами, выдается в сети двух напряжений (220 кВ и 110 кВ), а также на напряжение 10,5 кВ. К распределительному устройству высшего напряжения подключен один блок генератор-трансформатор, а к распределительному устройству среднего напряжения подключено 3 блока.

Для расчета переходных процессов необходимо создать файл «динамика.rst» и дополнительно подключить модули «автоматика» и «сцена-

рий». Для учета конфигурации КЭС в программу RastrWin задаются параметров ее узлов и ветвей в соответствующих таблицах. В качестве балансирующего узла принимаем узел подключения системы С-1 [1, 4, 5].

Узлы | Ветви

	S	Тип	N...	N...	...	...	Название	R	X	G	B	Кт/г	...	...	P_нач	Q_...	Na	I ...	I ...
1		Тр-р	5	1			РУ ВН 220 к...	0,77	32,20	3,4	15,4	0,068			148	76		424	
2		ЛЭП	5	6			РУ ВН 220 к...	10,62	39,16		-234,4				-57	-18		164	
3		ЛЭП	5	6			РУ ВН 220 к...	10,62	39,16		-234,4				-57	-18		164	
4		ЛЭП	5	7			РУ ВН 220 к...	11,80	43,50		-260,4				-30	-6		92	
5		ЛЭП	5	7			РУ ВН 220 к...	11,80	43,50		-260,4				-30	-6		92	
6		Тр-р	5	8			РУ ВН 220 к...	0,52	49,20	1,2	11,8	1,000			13	-13		48	
7		Тр-р	5	8			РУ ВН 220 к...	0,52	49,20	1,2	11,8	1,000			13	-13		48	
8		Тр-р	8	9			Высокая ст...	0,52		1,2	11,8	0,526			13	-13		47	
9		Тр-р	8	9			Высокая ст...	0,52		1,2	11,8	0,526			13	-13		47	
10		Тр-р	9	2			РУ СН 110 к...	0,20	7,70	11,6	68,3	0,130			139	73		772	
11		Тр-р	9	3			РУ СН 110 к...	0,20	7,70	11,6	68,3	0,130			148	77		819	
12		Тр-р	9	4			РУ СН 110 к...	0,20	7,70	11,6	68,3	0,130			139	73		772	

Узлы | Ветви

		Тип	Н...	Название	U_ном	...	...	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	B_ш	V	Delta
1		Нагр	1	Генератор 1	16		1	11,2	5,4	160,0	99,2	15,8	99,2	99,2		16,25	7,28
2		Нагр	2	Генератор 2	16		1	20,2	11,0	160,0	99,2	15,8	99,2	99,2		16,02	7,22
3		Нагр	3	Генератор 3	16		1	11,2	5,4	160,0	99,2	15,8	99,2	99,2		16,06	7,48
4		Нагр	4	Генератор 4	16		1	20,2	11,0	160,0	99,2	15,8	99,2	99,2		16,02	7,22
5		Нагр	5	РУ ВН 220 кВ	220		1									226,64	2,28
6		База	6	Система С-1	220		1			-112,7	-53,4		508,0	508,0		220,00	
7		Нагр	7	Нагрузка	220		1	60,0	37,2							222,62	0,96
8		Нагр	8	Высокая ст...	220		1									223,90	3,03
9		Нагр	9	РУ СН 110 кВ	110		1	400,0	247,9							117,79	3,03

Рис. 2. Параметры ветвей и узлов КЭС

Для проверки правильности ввода данных в программу можно выполнить контроль, нажав на клавишу «контроль». В случае возникновения ошибок, их необходимо устранить.

Оценить перетококи мощности и уровень напряжения в узлах можно путем вывода упрощенной схемы, которая находится в разделе «графика».

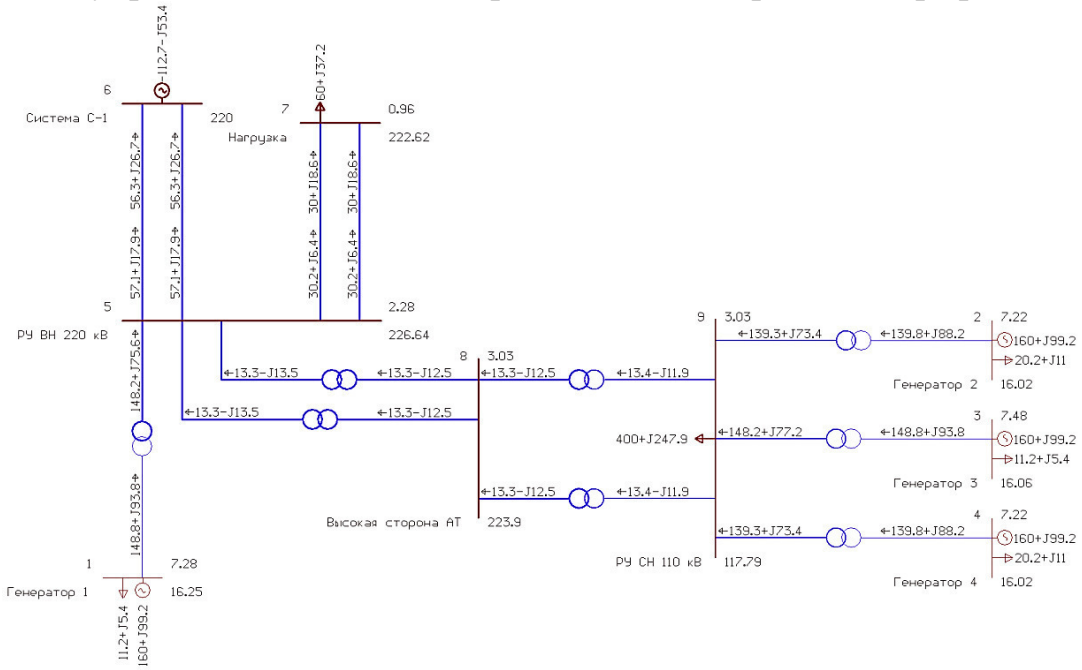


Рис. 3. Расчетная схема КЭС в среде ПК RastrWin

В качестве аварийного возмущения рассмотрим короткое замыкание на линии, ведущей к нагрузке на напряжении 220 кВ. Для этого необходимо создать

сценарий во вкладке «редактор сценариев». Начальной точкой переходного процесса будем момент времени $t_0 = 100$ мс, длительность короткого замыкания $\Delta t = 200$ мс. Чтобы задать трехфазное короткое замыкание во вкладке «свойства действия» выбираем «шунт Z» с параметрами $R = 0{,}01$ и $X = 0{,}01$ Ом. Завершение переходного процесса произойдет после отключение ветви между РУ ВН и нагрузкой, на которой произошло аварийное возмущение. Чтобы запустить расчет необходимо нажать клавишу «начать расчет переходного процесса» в верхней панели инструментов программы [2].

После завершения переходного процесса необходимо произвести оценку состояния узлов или ветвей схемы. В качестве примера рассмотрим график зависимости напряжения в узле генератора от времени (рис. 4).

Оценку сохранения устойчивой работы произведем по графику значения угла ротора генератора от времени (рис. 5).

Начальному режиму работы в момент времени $t_0 = 0$ мс соответствует значение угла $\delta_0 = 36{,}4°$.

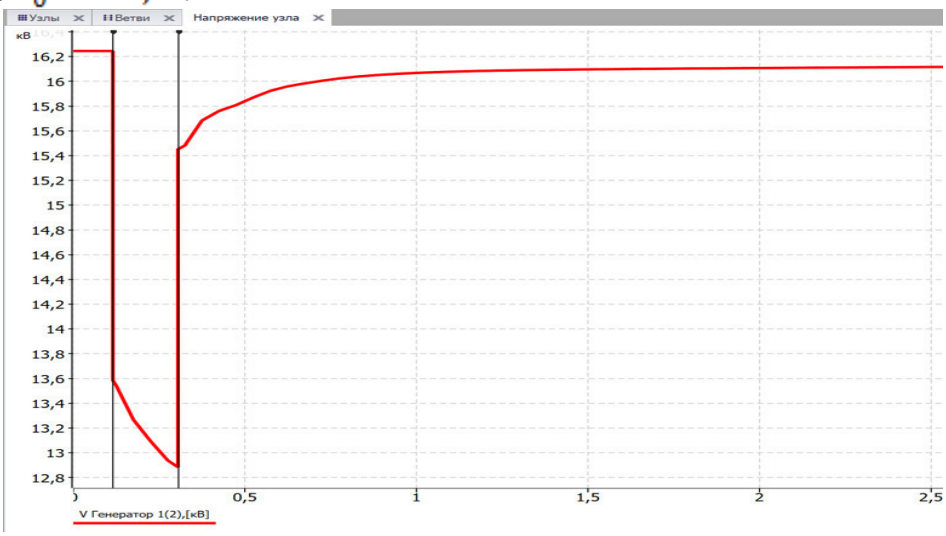


Рис. 4. Зависимость напряжения от времени в узле 1

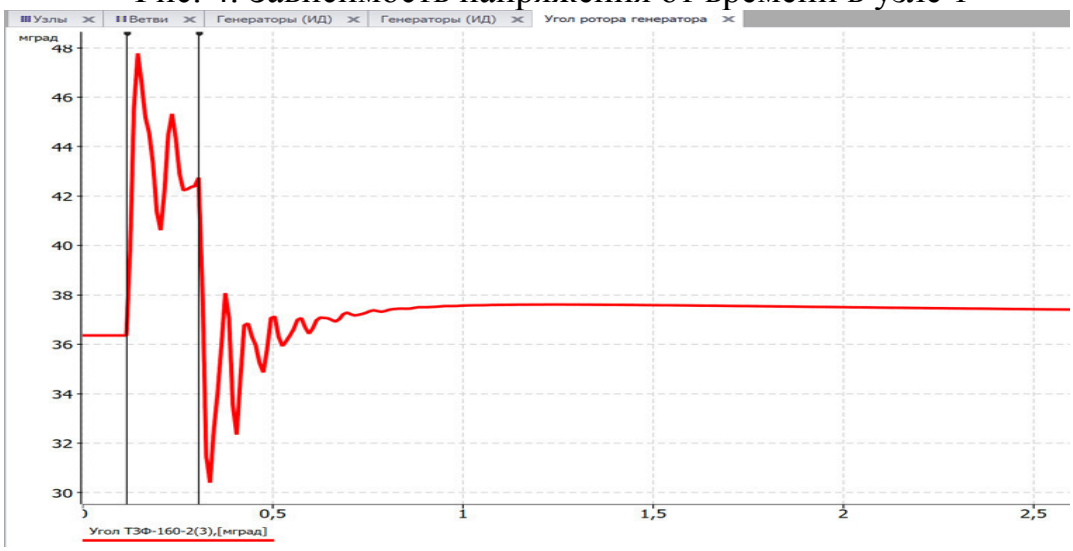


Рис. 5. Зависимость угла ротора генератора 1 от времени

После возникновения КЗ вектор ЭДС генератора начинает вращаться быстрее, возникает избыточный ускоряющий момент, что приводит к увеличе-

нию угла δ. Если не произвести своевременное аварийное отключение поврежденной цепи, то генератор может выпасть из синхронизма. Однако в данной работе принято, что через $\Delta t = 200$ мс релейная защита отключает поврежденный участок и на валу генератора появляется избыточный тормозящий момент, под действием которого скорость его движения замедляется. Значение угла начинает уменьшаться. После ряда постепенно затухающих колебаний установится новый режим с новым значением угла $\delta = 37{,}2°$. Устойчивая работа генератора сохранилась [3].

Таким образом, программный комплекс RastrWin RUSTab помогает значительно облегчить расчет и анализ переходного процесса даже в сложных электроэнергетических сетях.

Литература

1. Программный комплекс RastrWin3. Руководство пользователя.
2. Руководство пользователя ПК RUSTab;
3. Жданов, П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / М: Энергия, 1979.
4. Справочник по проектированию электрических сетей / под редакцией Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012 -376 с.
5. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков / М: Энергоатомиздат, 1989.

А.О. Мартынов, студ.; рук. Р.В. Трушаков, к.т.н., ст.пр.
(филиал ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в г.Смоленске)

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ В РАЗЛИЧНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

В современном мире спрос на электроэнергию растет с каждым годом. Строятся все новые и новые электростанции и линии электропередач.

Тепловые электростанции применяют не возобновляемые запасы полезных ископаемых, и выделяют в атмосферу углекислый газ. Для атомных электростанций проблема состоит в радиоактивных отходах, которые после переработки не являются совершенно безопасными для окружающей среды. Точно так же гидроэлектростанции причиняют ущерб окружающей среде: их возведение приводит к затоплению ценных пастбищ и пашен, разрушению существующих экосистем и изменению климата. Поэтому необходимо повысить эффективность использования вырабатываемой энергии, в частности и затраченной на освещение.

Количество электричества, применяемого для освещения различных помещений, может быть уменьшено при соблюдении наилучших условий установки. Для учета наличия дневного света, а также нахождения людей в комнате возможно использовать автоматические системы управления освещением.

Система автоматического управления освещением помещения – это независимая система, которая регулирует группу светильников в одном или нескольких помещениях.

Различают следующие типы систем автоматического управления освещением: шинные и локальные. Локальная система включает в себя датчики и таймеры, подключенные напрямую к источнику света или к нескольким устройствам, за которыми необходимо установить контролировать. Таким устройствам не тре-

буются каналы связи, они не интегрированы в единую систему и могут самостоятельно работать. Шинные системы управления по различным протоколам, с помощью специальных шлюзов, свободно интегрируются в различные системы верхнего уровня.

Принцип работы систем управления освещением.

Рассмотрим основу работы локальной системы управления освещением. Например, управление освещением в офисах, они используют различные технологии в зависимости от нужд потребителя. Возможно осуществление двух видов контроля: нормальное включение/выключение согласно с текущим освещением и присутствием сотрудника, и затемнение ламп с постоянным освещением на рабочем месте, а также ориентирующее освещение без присутствия.

Обычное включение / выключение происходит следующим образом: когда человек приходит на рабочее место, датчики отмечают его присутствие и изменяют освещенность. На протяжении дня количество естественного света возрастает, поэтому датчик выключает источник света. Вечером естественного света не хватает, и датчик снова включает источник света. Когда рабочая смена завершается или, когда работник покидает офис, датчик прекращает его запись и после временной задержки отключает искусственное освещение.

При затемнении ламп датчики присутствия работают по следующему алгоритму: когда сотрудник утром приходит на свое рабочее место или входит в офис, датчик регистрирует его и измеряет освещенность. При отсутствии естественного освещения, например, утром зимой, лампы горят до 100%. В течение дня количество естественного света в помещении увеличивается, датчик измеряет текущую освещенность и настраивает лампы так, чтобы общее естественное и искусственное освещение постоянно составляло 500 лк. Когда естественный свет достигает порога более 500 лк, датчик выключает свет до тех пор, пока общая освещенность не упадет ниже установленного порога. С помощью этого решения можно построить полноценную локальную систему управления освещением на основе наличия и параметров освещенности, без дополнительных устройств, так как датчик является источником питания для ламп и контроллером. Одного датчика достаточно, чтобы управлять лампами в соответствии с заданной освещенностью и присутствием сотрудников.

Используя устройства системы управления освещением шины возможно записать любой логический сценарий. По мере развития технологий появилось множество различных протоколов управления освещением. Все началось с простых аналоговых систем от 0 до 10В, которые имели большое количество ограничений, но они до сих пор используются в различных решениях. Аналоговые системы со временем были заменены цифровыми.

Системы автоматического управления освещением - это блоки, размещенные за подвесными потолками либо конструктивно интегрированные в электрические распределительные щиты. Системы такого типа, как правило, выполняют одну функцию или либо установленный комплект функций, подбор среди которыми

выполняется путем перестановки переключателей на корпусе либо пульте дистанционного управления системы.

Одним из основных интерфейсов созданных для передачи команд на изменение освещения подключенных осветительных приборов является DSI. До его создания использовали подобие нынешней системы, с помощью которой осуществляли контроль за флуоресцентным балансом и интенсивностью освещения, однако требовалось значительное число кабельной проводки. В системах автоматического управления освещением с аналоговой регулировкой вручную посылаемые управляющие команды или сигналы, поступающие от датчиков, «переходят» на управляющие входы ракет-носителей в виде постоянного напряжения 1-10 В, вызывающего определенное изменение светового потока и уровня освещенности.

Главное отличие цифровой регулировки от аналоговой заключается в то, что кроме контроля степени освещенности, возможно программировать освещение, так же осуществлять отдельный контроль осветительных устройств. При этом пусковые устройства запоминают необходимый уровень мощности источников света также при последующем запуске включают лампы, которым соответствует этот уровень. В цифровом управлении сигналы представляют собой очередность резких изменений напряжения, закодированных во цифровом варианте.

Обе разобранные разновидности регулировки могут использоваться в одно и тоже время. Согласование сигналов друг с другом происходит с помощью преобразователей.

1. Литература

2. Соловьёв А.В., Тимофеевич М.С. - "Автомат управления общим искусственным освещением" // Светотехника, 1961 г. - № 5 - с. 25-27.
3. Гинзберг, Л.А. Основы строительной светотехники и расчет естественного и искусственного освещения : учебное пособие / Л.А. Гинзберг, И.Н. Мальцева. - Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2012. - 83 с. - ISBN 978-5-7996-0794-4

М.М. Мерзлов, студент; рук. Р.В. Трушаков, к.т.н.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТАХ В УСЛОВИЯХ ОТСУТСТВИЯ ТОЧКИ ПОДКЛЮЧЕНИЯ

Автономное освещение представляет собой освещение участка подключения к сети. Такой тип осветительных установок позволяет экономить деньги на электроэнергии, а так же освещать участки, где нет точки подключения. В наше время выпускается много систем, работающих благодаря энергии, которую вырабатывают солнечные батареи.

Ежегодно стоимость электроэнергии неумолимо растет. Особенно удручает вопрос освещения отдалённых мест от точки подключения и стоимости присоединения к сети электроснабжения. Альтернатива непомерным затратам - автономное освещение с помощью солнечной энергии.

Установка автономного уличного освещения состоит из следующих компонентов:

1. Аккумуляторной батареи.
2. Солнечной панели.
3. Источника света.
4. Контроллера.
5. Датчика освещения.
6. Корпуса.
7. Кронштейна или опорной конструкции.

Аккумуляторная батарея накапливает солнечную энергию, вырабатываемую панелями. Через специальный диод к батарее подключают аккумулятор. Приборы работают при помощи солнечных панелей, которые представляют собой набор фотогальванических ячеек. Чем больше ячеек и выше их качество, тем эффективнее работает оборудование. Функция солнечной панели - выработка электроэнергии. Источник света представляет собой светодиод. Контроллер управляет системой и поддерживает оптимальный режим зарядки и разрядки. Датчик освещения представляет собой фотоэлемент, он реагирует на степень освещенности и включает или выключает оборудование.

Так же есть усовершенствованные системы. Например, некоторые из них содержат датчик движения, при помощи которого могут контролировать появление людей в освещаемой зоне. Так же есть приборы, которые управляются дистанционно – посредством сети Интернет по беспроводным сетям. В светлое время суток фотоэлектрические элементы солнечной панели работают на прием потока солнечного света, вырабатывают такое количество энергии, на которую рассчитана модель. Энергия передается аккумуляторной батарее, которая накапливает ее до того момента, пока емкость полностью не зарядится.

При пасмурной, дождливой погоде некоторое количество энергии в любом случае будет выработано и передано, однако полной зарядки аккумулятора не произойдет, поэтому работа фонаря в темное время суток сократится. За величиной заряда и количеством энергии следит контроллер, переключающий систему из одного режима в другой: например, из зарядки в расходование.

Когда наступают сумерки, в дело вступает датчик освещения, он переключает автономную систему в рабочий режим. Энергия, накопленная в аккумуляторной батарее, поступает на инвертор. Он преобразует ее в напряжение, которое затем поступает на лампы. Они будут светить или до рассвета, или до того момента, пока не произойдет разрядка аккумулятора.Есть модели, которые могут работать по упрощенной схеме. После накопления энергии аккумулятор отдает ее источникам освещения в том же, непреобразованном, виде. В этом случае лампы должны работать на постоянном токе. Минус их — небольшая длительность свечения, плюс — меньшая цена из-за отсутствия части оборудования.

У автономных систем освещения есть свои преимущества и недостатки. К преимуществам можно отнести:

1. Стопроцентная автономность. Источник света не зависим от уличных фонарей и проблем вэлектричкой сети.

2. Мобильность. Провода в автономных системах отсутствуют, а, значит, их можно спокойно переносить в места, где требуется свет.

3. Безопасность. Риск поражения током отсутствует, так как нет проводов.

4. Возможность автоматической регулировки. Заранее настроив параметры и время такие источники освещения можно включить и выключать.

5. Легкая установка.

6. Небольшие размеры.

7. Экономия средств.

8. Экологичность и простота утилизации.

К недостаткам относятся:

1. Сильная зависимость солнечных светильников от внешних факторов. Погода влияет на зарядку аккумулятора.

2. Непостоянное свечение. Сначала лампочки работают на полной мощности, но чем больше разряжается аккумулятор, тем хуже они светят.

3. Длительность работы. Автономная система работает только отемкость аккумулятора, которая со временем уменьшается.

4. Мобильность. Злоумышленники могут похитить автономную систему.

5. Необходимость постоянного ухода. Поверхность солнечных панелей со временем загрязняется и требует очистки.

6. Сбои в работе аккумулятора. Могут случится при высокой или низкой температуре.

7. Обязательный демонтаж в местности с суровыми зимами. Поздней осенью установки необходимо убирать.

8. Необходимость размещения оборудования только на хорошо освещенных участках.

9. Высокая цена самых качественных моделей

К комбинированным схемам энергоснабжения можно отнести безаккумуляторную фотоэлектрическую систему. Данная система является бузаккумуляторной и ей требуется подключение к сети. Система состоит из солнечных батарей и сетевых инверторов. Сетевым инверторам требуется опорное напряжение, которое они могут брать из сети. Инвертор синхронизируется с напряжением сети и выдает идентичное сетевому напряжение. Если сигнала нет или он отличается от нормального, инвертор перестает работать. Солнечные батареи используются с максимальной эффективностью, т.к. работают в точке максимальной мощности. Сетевые инверторы выдают энергию, вырабатываемую солнечными батареями, начиная с минимального значения. Если солнечная батарея работает параллельно с сетью, то использует сеть в качестве аккумулятора и источника энергии, тем самым обеспечивая недостатки энергии. В пасмурную погоду система может не работать, это значит, что недостающая энергия будет браться из сети. Излишки вырабатываемой энергии будут направляться в сеть.

Аккумуляторные фотоэлектрические системы резервного электроснабжения также являются комбинированной схемой электроснабжения. Схема очень похожа на безаккумуляторную фотоэлектрическую систему, но ее отличие в том, что здесь есть аккумулятор.

Мощность инвертора определяется по суммарной мощности нагрузки, которую нужно питать во время аварий на сети. Длительность отсутствия подачи энергии от ЛЭП определяет емкость аккумуляторной батареи, мощность солнечной батареи, ветроустановки, резервного генератора и т.д.

Требуется использование специального инвертора для максимально эффективной работы системы.

Возможны 3 варианта работы системы:

1. АБ заряжается от солнечных батарей через контроллер заряда, а после через инвертор энергия передается в нагрузку или сеть.
2. Солнечные батареи работают на сетевой фотоэлектрический инвертор, от которого питается нагрузка. Если есть излишки энергии, то они идут на заряд аккумуляторов, а если аккумуляторные батареи заряжены, то направляются в сеть.
3. Гибридная система, включает элементы двух вышеперечисленных типов.

Самый простой и распространенный способ заряда аккумуляторов от солнечных батарей является добавление в систему контроллера заряда постоянного тока. Для того, чтобы максимально использовать энергию, вырабатываемую солнечными батареями, нужно применять контроллер MPPT и специальный ББП с функцией передачи электроэнергии в нагрузку или сеть при напряжения на аккумуляторную батареею выше заданного. В этом случае, даже если аккумуляторные батареи заряжены полностью от сети, энергию от солнечной батареи направляется в нагрузку, тем самым уменьшая потребление от сети.

Достоинства:

1. Возможность использования энергии солнца при наличии сети и во время отключений.
2. При длительных перерывах в электроснабжении - возможность восстановления работы при глубоком разряде аккумуляторов путем заряда аккумуляторной батареи от солнечной батареи.

Недостатки:

1. Потери на двойное преобразование солнечного электричества - потери в контроллере, в инверторе, частично в аккумуляторах.
2. Циклирование аккумуляторов приводит к их износу. Однако такой режим имеет место только при кратковременных перерывах от сети электроснабжения. Нормальным образом аккумуляторы работают в буферном режиме.

Литература:

1. Гинзберг, Л.А. Основы строительной светотехники и расчет естественного и искусственного освещения: учебное пособие / Л.А. Гинзберг, И.Н. Мальцева. - Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2012. - 83 с.

2. Каргиев В.М. Фотоэлектрические системы электроснабжения, соединенные с сетью. // Интернет-ресурс - Компания «Ваш солнечный дом». URL: https://www.solarhome.ru/basics/rezerve/pv-grid-systems.htm (дата обращения 28.02.2021 г.).

3. Автономное уличное освещение: бесплатный свет - отличная экономия. // Интернет-ресурс – Дом и ремонт. URL: https://dom-i-remont.info/posts/elektrika/avtonomnoe-ulichnoe-osveshhenie-besplatnyj-svet-otlichnaya-ekonomiya/ (дата обращения 28.02.2021 г.).

В.В. Могилев, студ.; рук. Г.Ю. Новиков, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ АСПЕКТОВ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

В связи с постоянным ужесточением требований к экологической безопасности хозяйственной деятельности всё большее внимание уделяется “зеленой энергетике”, определяющей составляющей которой являются нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Важное место среди них занимает солнечная энергия.

По заключению специалистов на поверхность нашей планеты в течение года поступает ~10^{17} кВт·ч солнечной энергии, что при средней интенсивности ~200 Вт/м^2 обеспечивает не менее 2100 кВт·ч/м^2. Это свидетельствует о колоссальных потенциальных возможностях применения энергии солнечного излучения на планете. По данным Минтопэнерго России валовые ресурсы солнечной радиации в стране составляют ~$7\cdot10^6$ тВт·ч/год, технические -~$7\cdot10^3$ тВт·ч/год, экономически целесообразные - ~35тВт·ч/год. Следовательно, можно говорить о хороших потенциальных возможностях практического применения энергетических установок (ЭУ), преобразующих солнечную радиацию в отечественной энергетике. Если ориентироваться на показатели, декларируемые в программах по развитию “зеленой энергетики” в США и некоторых странах Западной Европы, согласно которым солнечная энергетика должна обеспечивать не менее 20% от величины потребляемой энергии, то, исходя из современных технических возможностей, обеспечивающих КПД солнечных энергетических систем ~10%, в России потребуется общая площадь поверхностей, принимающих солнечное излучение, ~5000 км^2. Учитывая большую территорию страны, технически это вполне осуществимо. Хотя следует признать, что вопрос экономической целесообразности реализации подобных систем в условиях конкуренции с традиционными энергоносителями остается открытым. Поэтому актуальной становится проблема применения адекватных и объективных методов расчета ресурсов солнечной энергетики.

При практическом применении солнечной радиации с целью получения электроэнергии и теплоты в земных условиях следует учитывать следующие его особенности:

1. Экологическая безопасность (в традиционном понимании), ввиду отсутствия дымовых газов, возникающих при применении традиционных источников энергии (газ, нефть, каменный уголь и т.д.).

2. Потенциал энергии солнечного излучения на несколько порядков превосходит все другие источники энергии на планете, доступные человеку.

3. На изменение энергии (интенсивности) солнечного излучения у поверхности земли влияют закономерные и случайные процессы, обусловленные вращением планеты вокруг Солнца и климатическими процессами.

4. Солнечная энергия у поверхности земли является рассеянной. По сравнению с тепловыми и атомными станциями, её удельная величина на единицу полезной площади на порядок меньше.

5. Интенсивность солнечной радиации, поступающей на горизонтальную площадку в конкретный момент времени, является сложной функцией, зависящей от набора факторов, определяющими среди которых являются: географическая широта местности, часовые углы солнца и склонение солнца.

Таким образом, использование солнечной энергетики находится под влиянием противоречивых тенденций. Её успешному развитию способствует гигантская ресурсная база и экологическая безопасность. В качестве сдерживающего фактора выступает экономическая целесообразность. В настоящее время практическое использование солнечной энергетики с учетом отмеченных тенденций определило применение таких установок в составе комбинированных автономных систем и для локальных потребителей. При этом в зависимости от условий работы изменяется подход к расчету ресурсной базы.

Возможны следующие варианты:

1. Работа солнечной энергетической установки (СЭУ) в составе объединенной энергетической системы (ОЭС) вместе со стандартными типами: тепловой электростанцией (ТЭС), гидроэлектростанцией (ГЭС) и атомной электростанцией (АЭС). В таком случае:

$$\sum_{i=1}^{n} N_{уст i}^{СЭУ} \ll P_c^{max}, \qquad (1)$$

где $N_{уст i}^{СЭУ}$ – установленная мощность i-той СЭУ; P_c^{max} – максимальная нагрузка ОЭС. Все СЭУ здесь – дублированная мощность ОЭС с нулевой гарантированной мощностью. Аккумуляторы энергии на СЭУ тут не применяют, так как это неоправданно. СЭУ тут действуют по критерию максимальной выработки электрической или тепловой энергии для того, чтобы сэкономить как можно больше невозобновляемого органического топлива. Получается, что здесь в качестве расчетных интервалов допустимо применять месячные или среднемесячные суточные для расчета прихода энергии солнца в месяц и расчета возможной выработки на СЭУ данного типа. На надежную работу ОЭС СЭУ в нашем случае не повлияют.

2. Работа СЭУ в составе локальной энергосистемы (ЛЭС) вместе с обычными энергоустановками, часто, мощных (сотни кВт) ДЭУ. Тогда мощность СЭУ сравнима с суммарной мощностью всех ДЭУ в ЛЭС, т.е.

$$\sum_{i=1}^{n} N_{уст i}^{СЭУ} = \left(\sum_{j=1}^{m} N_{уст j}^{ДЭУ} \right) \cdot K_{СЭУ}, \qquad (2)$$

где $0 \leq K_{СЭУ} \leq 1{,}0$.

ДЭС делают возможным надежную и безотказную работу всей системы энергоснабжения ЛЭС в целом. Мощность ДЭС должна покрывать график нагрузки ЛЭС, т.е.

$$\sum_{j=1}^{m} N_{устj}^{ДЭУ} > P_{ЛЭС}^{max} . \quad (3)$$

СЭУ работают по критерию максимального вытеснения невозобновляемого ископаемого органического топлива при нулевой гарантированной мощности. Аккумуляторы избыточной выработки СЭУ в отдельные отрезки времени не применяют. Но с учетом закономерности четкого цикла прихода СИ в сутки уже появляется потребность в их использовании. Получается, что в этом случае в качестве расчетных отрезков времени нужно применять интервалы в сутки, не учитывая аккумуляцию энергии, и часовые интервалы с её учетом. При большой доле СЭУ в ЛЭС и при применении аккумуляторов ($K_{СЭУ} = 1$) СИ оказывает влияние и на обеспечение условий безотказной работы всей ЛЭС.

3. Работа СЭУ на местного потребителя небольшой с небольшой мощностью (кВт) вместе со стандартными типами энергоустановок (ДЭУ) или без них с аккумуляторами энергии различного цикла аккумуляции. Здесь важную роль играет учет категорий типов потребителей по показателям надежности энергоснабжения. Получается, что мощность СЭУ уже сопоставима с $P_{потр}^{max}$:

$$\sum_{j=1}^{m} N_{устj}^{СЭУ} \approx P_{потр}^{max} . \quad (4)$$

Тут СЭУ, которые имеют нулевую гарантированную мощность, совмещаются с аккумуляторами энергии разных циклов аккумуляции исходя из того, какой тип потребителя. СЭУ здесь обеспечивают как надежную работу всей системы энергоснабжения автономного потребителя, так и экономию невозобновляемого ископаемого органического топлива.

Здесь расчетными будут использоваться часовые интервалы времени.

Литература

- Виссарионов В.И, Дерюгина Г.В, Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: учебное пособие для вузов. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008.— 317 с.
- Городов Р.В, Губин В.Е., Матвеев А.С. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2010. – 294 с.

Ю.В. Моисеенкова, маг.; С.В. Почечуев, к.т.н.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СТРУКТУРА ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

В XXI веке цифровые технологии достигли небывалых высот развития. Внедрение данных изобретений в разные отрасли промышленности проходит высокими темпами. Энергетика также не остается в стороне. Но разработка и применение любых нововведений требует регламентации и стандартизации. В

2017 году на Петербургском международном экономическом форуме президент Владимир Путин призвал сформировать принципиально новую, гибкую нормативную базу для внедрения цифровых технологий во все сферы жизни. В связи с эти были разработаны и подписаны такие указы как:

- указ Президента РФ В. В. Путина от 09.05.2017 № 203 «с»;

- указ Президента РФ В. В. Путина от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»;

- распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.07.2017 № 1632р, утверждающего программу «Цифровая экономика Российской Федерации».

Изменения, которые были внесены в стратегию развития государства, повлекли за собой перемену в направлении развития и энергетических компаний. В первую очередь коснулись крупнейших госкорпораций в области энергетики. 2 июля 2019 года была создана Ассоциация организаций цифрового развития отрасли «Цифровая энергетика». В неё вошли 4 компании: АО «СО ЕЭС», ПАО «Россети», государственная корпорация по атомной энергетики «Росатом», «Интер РАО». 21 декабря 2018 года Советом директоров компании ПАО «Россети» была принята новая концепция «Цифровая трансформация 2030». Совет директоров компании «Интер РАО» в стратегии развития до 2025 года утвердил цифровизацию одним из четырех приоритетных направлений деятельности. «СО ЕЭС» реализует сразу несколько проектов по данному направлению.

Цифровая подстанция (ЦПС) – автоматизированная подстанция, оснащенная взаимодействующими в режиме единого времени цифровыми информационными и управляющими системами и функционирующая без присутствия постоянного дежурного персонала.

В состав программно-технического комплекса (ПТК) цифровой подстанции должны входить следующие функциональные подсистемы:

− автоматизированные системы управления технологическим процессом;

− РЗА;

− специализированного автоматического управления и регулирования;

− мониторинга параметров качества электроэнергии;

− регистрации аварийных событий и процессов в энергосистеме (ОМП, ИМФ и др.);

− коммерческого и технического учета электроэнергии;

− мониторинга и технического диагностирования состояния основного технологического оборудования;

− мониторинга и управления инженерными системами;

− синхронизированных векторных измерений;

− нормативно-технической документации и информационного обеспечения обслуживающего персонала;

− информационной безопасности;

− общей безопасности.

Сам термин «Цифровая» для подстанции означает построение и взаимодействие технологических систем на основе «цифровых» методов обработки данных, каналов, логики и прочего. В структуру технологических систем входят РЗА, автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), автоматизированная информационно-измерительная система учета электроэнергии (АИИС УЭ), которые должны взаимодействовать внутри каждой системы, между системами и силовым оборудованием.

Для упрощения структуры и уменьшения экономических затрат на оборудование программно-технический комплекс (ПТК) ЦПС разделен на структурные уровни (подстанции, присоединения, процесса), которые соединены между собой частями локально-вычислительной сети (ЛВС) Ethernet – шинами процесса.

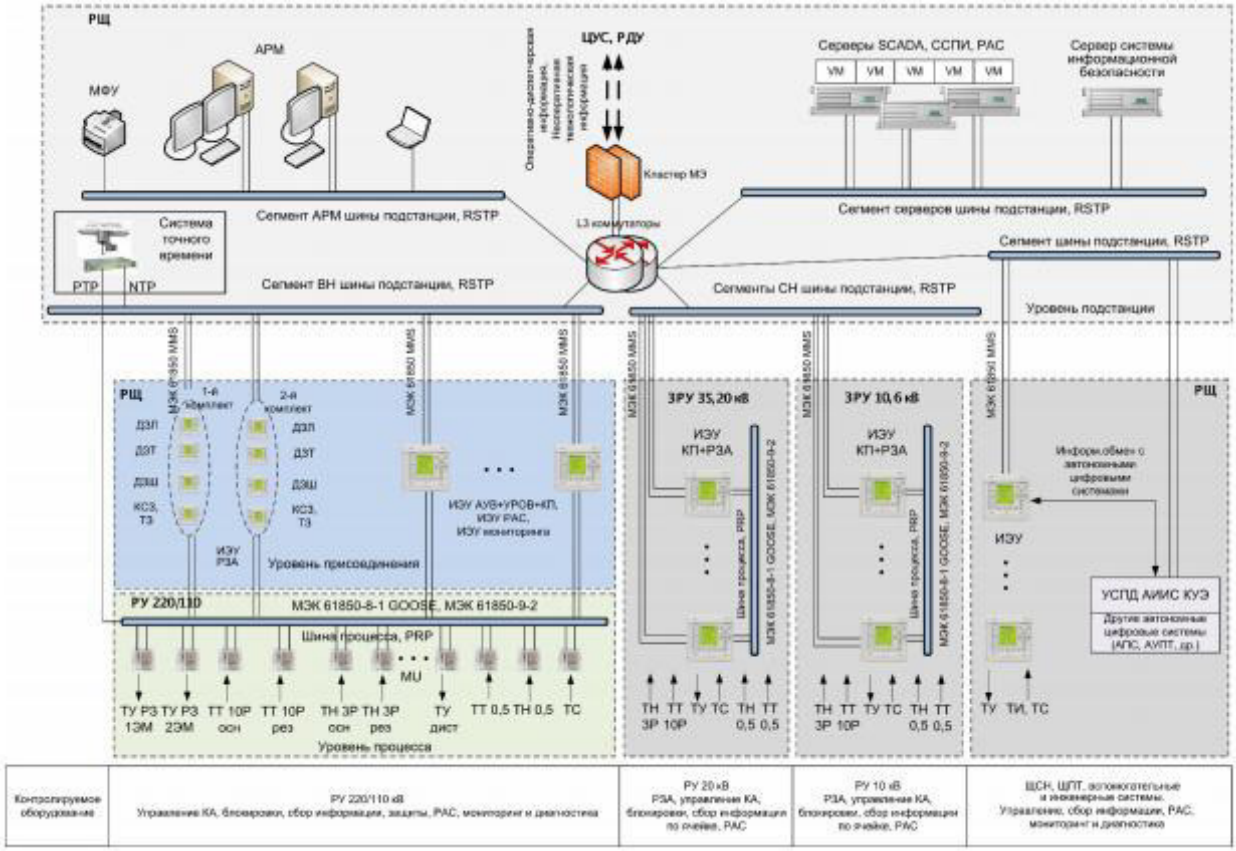


Рис. 1. Структурная схема ПТК ЦПС.

Уровень процесса необходим для организации взаимодействия между основным оборудование и ПТК ЦПС. Информационная среда работает по своим типам данных и по своим правилам, т.е. она не может проанализировать напрямую ток, протекающий по цепи, напряжение на шинах, положение коммутационных аппаратов и др. Предварительно необходимо перевести информацию в вид, с которым работает ПТК ЦПС. Некоторые данные не требуют дополнительной оцифровки (например, положение коммутационных аппаратов, которое отражается на блок-контактах включенное – 1, и отключенное – 0), а некоторые необходимо дополнительно дискретизировать (например, с измерительных трансформаторов тока и напряжения). В настоящий момент наблюда-

ется стремление к уменьшению количества шагов обработки информации для снижения погрешности измерения. Так в оптических измерительных трансформаторах сигнал изначально оцифрован. Если у основного оборудования нет встроенного цифрового интерфейса для оцифровки сигналов используют устройства сопряжения с объектом (УСО):

- ПАС (AMU) – преобразователи аналоговых сигналов;
- ПДС (DMU) – преобразователи дискретных сигналов.

Указанные устройства могут быть отдельными или объединенными в одном комбинированном устройстве. При этом должны соблюдаться требования надежной работы и электромагнитной совместимости.

Также через данный уровень происходит транзит информации от первичного оборудования к ПТК, а также обратная передача команд от ПТК с дальнейшей их реализацией (выключение/отключение оборудования, увеличение/уменьшения положения регулятора под нагрузкой и т.д.).

Для передачи информации от основного оборудования до УСО используют контрольные кабели с медными жилами. Для уменьшения потерь информации и увеличения погрешности преобразователи стремятся расположить максимально близко к силовому оборудованию. После преобразования информация передается по оптоволоконным кабелям.

На **уровне присоединения** собирается и обрабатывается информация от собственных устройств. Происходит реализация алгоритмов управления устройствами нижестоящего уровня. Передается режимная и диагностическая информация на уровень шины подстанции и управляющая информация на уровень процесса. Состоит из интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ), выполняющие прикладные функции АСТУ (автоматизированной системы технологического управления), включая РЗА, для соответствующего основного оборудования [1].

На **уровне подстанции** происходит сбор информации от всех уровней, координируются действия оператора и выполнение команд вышестоящего уровня управления с формированием управляющих воздействий с использованием сервисов МЭК 61850-8-1. Также на данном уровне происходит управление основным оборудованием программными ключами в составе АСТУ, настраиваются уставки РЗА.

Уровень подстанции состоит из сервера АСУ ТП, АРМ (автоматизированное рабочее место) SCADA системы ЦПС, устройства регистрации параметров переходных процессов в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах, средства информационной интеграции цифровой ПС и ЦУС (центра управления сетями) в соответствии с МЭК 61850-90-2. В связи с особыми требования надежности данный уровень должен быть образован серверами, объединенными в отказоустойчивый кластер, на платформе виртуализации которого работают сервера и АРМ уровня подстанции.

В связи с возможностью экономии капиталовложений без ухудшения показателей, согласно п.5.2.8 [1] необходимо реализовывать следующие технические решения:

- для напряжений 110/220 кВ уровни процесса и присоединения реализовать отдельно друг от друга;

- для напряжений 6, 10, 20, 35 совмещать уровни процесса и присоединений на базе унифицированных многофункциональных терминалов РЗА/контроллеров присоединений;

- обязательное отделение уровня подстанции от остальных уровней.

Различают 2 варианта топологии ЛВС **шины процесса**:

▪ «Двойная звезда» с использованием протокола МЭК 62439-3 PRP;

▪ «Двойное кольцо» с использованием протокола МЭК 62439-3 PRP/HSR (возможно в некоторых случаях).

Требования к архитектуре ЛВС **шины подстанции:**

− топология ЛВС шины подстанции в пределах каждой из резервируемых сетей PRP должна обеспечивать для коммутаторов резервирование сети Ethernet на 2-ом уровне модели OSI с использованием протоколов RSTP, MRP; хосты ЛВС шины подстанции должны иметь резервированные подключения к двум разным коммутаторам ЛВС;

− протоколы резервирования 2-ого и 3-его уровня модели OSI должны обеспечивать защиту от одиночного отказа коммутаторов/маршрутизаторов, а также кабельных соединений ЛВС шины подстанции;

- в процессе проектирования необходимо производить контроль времени гарантированной доставки сообщения в случае отказа какого-либо элемента сети – оно не должно превышать максимального значения.

Применение технологии «Цифровой подстанции» должно позволить в будущем существенно сократить расходы на проектирования, пуско-наладочные работы, эксплуатацию и обслуживание энергетических объектов. Оборудование энергетического комплекса имеет большой физический износ, поэтому заменять его на такое же, но новое, не имеет смысла. Использование «Цифровых подстанций» позволит ликвидировать одновременно и физический и моральный износ оборудования.

Литература:

1. СТО 34.01-21-004-2019. Цифровой питающий центр. Требования к технологическому проектированию цифровых подстанций напряжением 110-220 кВ и узловых цифровых подстанций напряжением 35кВ: стандарт организации. – Введ. 29-03-2019. – ПАО «Россети», 2019. – 114 с.
2. Ассоциация «Цифровая энергетика»: сайт – URL: https://www.digital-energy.ru/ (дата обращения: 02.03.2021)
3. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации: сайт - URL: https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/ (дата обращения: 02.03.2021)

Д.Е. Никишов, студ.; В.П. Кавченков, д.т.н., проф.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Энергетическая отрасль относится к жизненно важной в современном мире. В связи с улучшением качества жизни, энергопотребление постоянно растет. По прогнозу Международного энергетического агентства к 2025 году потребность электроэнергии в мире вырастет до 26 трлн. кВт·ч по сравнению с ранее потребляемым объемом в 14,8 трлн. кВт·ч в 2003 году. Рост энергопотребления ведет к более активной добыче ископаемых для её выработки, что в дальнейшем приведет к удорожанию и дефициту не возобновляемых ресурсов, которые на данный момент являются одним из основных источников энергии. Альтернативными источниками энергии могут служить возобновляемые источники энергии.

Несмотря на то, что возобновляемая энергия, поступающая для дальнейшего преобразования бесплатна, стоимость оборудования для ее преобразования является достаточно высокой. На этом фоне, снижается конкурентоспособность такого вида получения энергии по сравнению с традиционными источниками. Внедрение новых технологий значительно помогает развитию возобновляемой энергетики, в результате снижается цена на солнечные панели, ветряные установки и их составляющие.

Проведем анализ получения энергии с использованием возобновляемых источников на территории Смоленской области. Для этого воспользуемся данными, представленными в базе по ресурсам солнечной и ветровой энергии на территории РФ. Данная база, опубликована Объединенным институтом высоких температур РАН МГУ им. М.В. Ломоносова. В основе проектирования была использована база NASA SSE, а также RET-Screen International [1]. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные ВИЭ для Смоленской области

	Температура воздуха, С	Относительная влажность, %	Дневная сумма солнечной радиации, КВт/м^2/день	Скорость ветра на 10 м, м/с
Январь	-6,1	85,8	0,77	3,2
Февраль	-6,3	82,0	1,53	3,0
Март	-1,6	76,9	2,66	2,8
Апрель	6,4	70,0	3,71	2,5
Май	12,3	68,4	4,70	2,3
Июнь	15,9	75,8	4,92	2,1
Июль	17,4	77,1	4,86	2,1
Август	16,0	78,7	4,09	2,0
Сентябрь	10,5	83,0	2,61	2,2
Октябрь	5,2	84,1	1,43	2,5
Ноябрь	-1,6	87,9	0,77	2,8
Декабрь	-5,6	87,4	0,53	3,0

Согласно данным из таблицы 1, проведём оценку перспективы применения комбинированного комплекса на территории Смоленской области, учитывая климатические условия. В состав комплекса входят: солнечные панели, ветрогенератор, инвертор-контролер, аккумуляторные батареи. Выбранная комбинация позволит получить более стабильную выработку электроэнергии, дополняя друг друга в солнечные и пасмурные дни. Используя средние параметры для конкретной географической точки, можно провести предварительную оценку потенциала и такой результат будет иметь оценочное значение.

Рассчитаем типовое электропотребление жилого дома с числом проживающих 4 человек. Для расчета примем нормативный уровень энергопотребления, используя данные таблицы 2.

Таблица 2 –Потребление электроэнергии электроприборами

Электроприбор	Кол-во, n (кол-во)	Мощность, P (Вт)	Время работы, t (час)	Суточное потребление, S=n·P·t, Вт
Электролампа	7	20	8	1120
Телевизор	1	100	2	200
Холодильник	1	250	24	6000
Электрочайник	1	2000	0,15	300
Стиральная машина	1	980 (цикл)	(2 цикла в нед.)	1960
			Σ	9580

Суточное потребление электроэнергии составит около 9,5 кВт·ч в сутки или 292 кВт·ч в месяц. Для расчёта автономной энергетической системы дома были выбраны фотоэлектрические модули компании ХЕВЕЛ с номинальной мощностью 320Вт. Коэффициент полезного действия у данного модуля 19.1%. Стоимость такой панели составляет 14690 руб. Проведем расчет инсоляции для каждого месяца при средних условиях, используя данные таблицы 1:

$$E = \eta_{ФЭП} \cdot Q_c \cdot S_{ФЭП} \cdot N \quad (1)$$

где, $\eta_{ФЭП}$ – КПД фотоэлектрической установки;
Q_c – дневная сумма суммарной солнечной радиации, поступающей на приемную поверхность фотопреобразователя;
$S_{ФЭП}$ – площадь фотоэлектрических панелей (м^2);
N – число календарных дней в рассматриваемом периоде.

Таблица 3 – Вырабатываемая энергия с использованием солнечных панелей

Месяц	Вырабатываемая электроэнергия одной панелью, кВт	Вырабатываемая электроэнергия n-панелями, кВт (n= 10)
Январь	7,618373	76,18373
Февраль	13,67286	136,7286
Март	26,31802	263,1802
Апрель	35,52262	355,2262

Май	46,50176	465,0176
Июнь	47,10816	471,0816
Июль	48,0848	480,848
Август	40,46642	404,6642
Сентябрь	24,99031	249,9031
Октябрь	14,14841	141,4841
Ноябрь	7,372619	73,72619
Декабрь	5,243815	52,43815
Среднее за год	26,42068	264,2068

Для снижения стоимости солнечных установок выберем способ их крепления с фиксированной ориентацией. При установке солнечные панели необходимо крепить вертикально и желательно с небольшой ориентацией по сторонам, для того чтобы растянуть длительность поступления энергии в светлое время суток. Вертикальная установка панелей очень удобна для снежных зим и для уменьшения их загрязнения.

Для преобразования кинетической энергии ветра в механическую используем ветрогенератор. В Смоленском регионе преобладает ветер со средней скоростью 2,6 м/с на высоте 10м (таблица 1). Конструктивно была выбрана ВЭУ с вертикальной осью. В вертикальных ВЭУ нет необходимости дополнительного оборудования для поворота по ориентации ветра.

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \qquad (2)$$

где, D – диаметр ветроколеса, м^2.

Мощность, вырабатываемая ВЭУ, определяется по формуле, Вт

$$P = \rho \cdot \frac{F}{2} \cdot v^3 \cdot \xi \cdot \eta_П \qquad (3)$$

где, ρ – плотность воздуха, кг/м^3, для предварительной оценки примем ρ = 1,23 кг/м^3;

v – скорость ветра м/с;

ξ – коэффициент использования энергии ветра, о.е. (для вертикально-осевых -0,38);

$\eta_п$ – КПД ВЭУ, учитывающий потери при передаче мощности от вала ветроколеса до рабочей машины, о.е.

Для оценочного расчета воспользуемся среднемесячными данными о скорости ветра. С целью получения оценочных значений использовался вертикальный ветрогенератор, характеризующийся стартовой скоростью ветра 2 м/с.

Таблица 4 – Интенсивность ветров и в Смоленской области и вырабатываемая энергия

Месяц	Скорость ветра, м/с	Выработка электроэнергии ветрогенератором, Вт
Январь	3,2	3,233672
Февраль	3,0	2,664464
Март	2,8	2,166308
Апрель	2,5	1,541935
Май	2,3	1,200686
Июнь	2,1	0,913911
Июль	2,1	0,913911
Август	2,0	0,789471
Сентябрь	2,2	1,050786
Октябрь	2,5	1,541935
Ноябрь	2,8	2,166308
Декабрь	3,0	2,664464
Среднее за год	2,6	

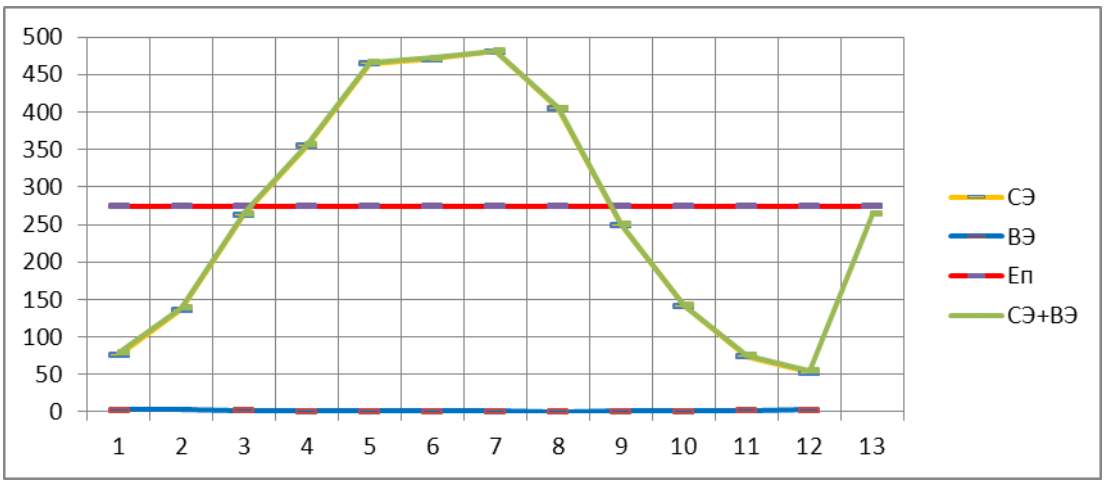


Рисунок 1 – Получаемая электроэнергия и уровень потребления

Для оценки перспективы установки данной системы рассчитаем ее экономическую эффективность. Для этого проведем расчет, учитывающий затраты на приобретение, установку комплекса и его обслуживание. Суммарная цена приобретения солнечных панелей (кол-во 10 шт), ветрогенератора, инвертора и затрат на установку составляет 341800 руб. Годовая выработка комплекса будет составлять 3455,5 кВт. При действующей тарифной ставке для городского населения 4,06 руб./кВт·ч, экономия составит 14029,3 руб. в год. Для выявления экономической выгоды от установки выбранного комплекса примем срок службы 20 лет, основываясь на указанном сроке работы компаний-производителей. Расчет произведем по функции сложного процента. Основой для выбора ставки дисконтирования стали статистические данные об изменении тарифных ставок на электроэнергию в Смоленской области.

$$FV = \sum_{n=1}^{20} PV \cdot (1+i)^n \quad (4)$$

где FV – экономическая выгода от использования за расчетный период, приведенная к текущей стоимости;
PV – экономическая выгода в первый год службы;
n – расчетный период;
i – средний рост тарифных ставок на электроэнергию в Смоленской области в год.

Суммарная выработка за время службы комплекса составит 487100 руб. Следует учесть затраты на замену комплектующих автономной системы электроснабжения. Учитывая, что заявленный срок службы аккумуляторов 5-10 лет, проведем замену на 10 году эксплуатирования. Уровень инфляции примем 4 %. Таким образом, затраты за замену устаревших аккумуляторных батарей будут составлять:

$$З = З_a \cdot (1+i)^7 \quad (5)$$

где $З$ – общие затраты на замену комплектующих;
$З_a$ – затраты на замену аккумуляторов.

Общая сумма затрат на такую систему с заменой устаревших аккумуляторных батарей составит 476000. Следовательно, приобретение и обслуживание комплекса в течение срока службы практически не окупается.

Подводя итоги, стоит отметить, что применение ветрогенераторов в Смоленской области не целесообразно по причине малой скорости ветра. Использовать данный комплекс в качестве автономного также не выгодно в связи с дорогим обслуживанием. Применение солнечных панелей в качестве дополнительного источника энергии является наиболее рациональным.

Список литературы

1. База данных по ресурсам солнечной и ветровой энергии на территории России / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gisre.ru/database/db-russia
2. Атас ресурсов солнечной энергии на территории России. О.С. Попель, С.Е. Фрид, Ю.Г. Коломиец, С.В. Кисилева, Е.Н. Терехова. Объединённый институт высоких температур РАН Москва 2010 /[Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gihttps://gisre.ru/useful/atlassre.ru/useful/atlas
3. Юдаев И. В. Возобновляемые источники энергии : учебник / И.В. Юдаев, Ю.В. Даус, В.В Гамага. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 328с. ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература). / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/reader/book/140747/#106

Е.Г. Новикова студ.; рук. Г.Ю. Новиков, доц, к.т.н.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРОБЛЕМАТИКА ПРИМЕНЕНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Несмотря на большое внимание, уделяемое в мире развитию «зеленой энергетики», базовой составляющей которой являются нетрадиционные и возобновляемые источники, в России темпы внедрения и коммерциализации энергетических систем с использованием НиВИЭ остаются медленными. Хотя в этой области наметился существенный прогресс. Так в 2020 году на долю не-

традиционной энергетики приходилось порядка 1ГВт генерирующих мощностей. В основном это ветровые - 714 МВт и солнечные - 285 МВт энергетические системы. По утверждению представителей Ассоциации развития возобновляемой энергетики, уже в 2021 году себестоимость электрической энергии, произведенной на ветроэнергетических установках, не превысит 5 руб. за кВтч. Тем не менее общая доля НиВИЭ в энергетическом балансе страны не превышает 0,5 %. Это объясняется несколькими причинами.

Оборудование НиВИЭ весьма дорого и в большинстве случаев стоимость энергии, получаемой от НиВИЭ, превышает стоимость энергии от традиционных источников. Эффективность преобразования энергии пока далека от теоретических пределов, что делает установки с НиВИЭ материалоемкими и дорогими. Надежность оборудования во многих случаях низка. Это снижает коэффициент готовности установок, требует частых ремонтов, что удорожает эксплуатацию. В ряде случаев отсутствуют стандарты, сертификаты и гарантии на производимое оборудование.

Обеспечить улучшение качества оборудования и снижение его цены может массовое производство. А это возможно только при условии существования развитого и емкого рынка готовой продукции. Такой рынок предполагает высокое качество и низкую цену оборудования. Кроме того, есть серьезные организационные проблемы. А именно отсутствуют специализированные организации по распространению и сервисному обслуживанию установленного оборудования НиВИЭ. Низка рекламная активность и внимание средств массовой информации к проблемам НиВИЭ. Для того, чтобы привлечь потенциальных пользователей и убедить их в целесообразности использования НиВИЭ, необходима широкая сеть демонстрационных центров, которые представят существующее оборудование и смогут дать информацию, как получить максимальный эффект от его использования.

Отечественный энергетический сектор характеризуется высокой инерцией. В течении прошлого века существовала устойчивая тенденция к созданию крупных централизованных источников энергоснабжения, которая была оправдана технологически и экономически. Сравнительно мелкие энергоустановки, использующие НиВИЭ, не укладываются в эту стратегию.

Существующее законодательство не создает стимулов для производителей и пользователей НиВИЭ, так как в нем не уделено достаточно внимания «малой» энергетике. Неоднозначно сформирована нормативно-правовая база, регламентирующая взаимоотношения между мелкими частными производителями энергии и энергосистемами, в частности, в отношении тарифов на энергию, продаваемую в сеть.

Существенным фактором является недостаточная осведомленность населения о специфике НиВИЭ, их достоинствах и недостатках, что ограничивает спрос на них со стороны частных потребителей.

Отмеченные факторы дают представление о том, что следует предпринимать для создания условий, которые способствовали бы более широкому и интенсивному внедрению НиВИЭ. При этом позитивную специфику их широкого

применения обуславливают организационные, экономические и технологические последствия реформирования РАО ЕЭС: активный переход генерирующих мощностей в стране на природный газ, как более экономически эффективный и экологически чистый вид топлива и, в связи с этим, рост эффективности применения в сельской местности и районах, географически удаленных от централизованных источников энергии автономных, комбинированных энергосистем. Быстрое развитие цифровой экономики, сопряженной с ростом спроса на энергию со стороны локальных потребителей, также способствует развитию их развитию. А превалирование требований экологической безопасности создает приоритетные условия для применения в комбинированных энергосистемах НиВИЭ.

Современные системы энергообеспечения в регионах, получающих электроэнергию от Единой Энергетической Системы России, характеризуются разветвленными распределительными электрическими сетями общей протяженностью 2,5 млн. км. Их техническое состояние, особенно в сельской местности оставляет желать лучшего. Перерывы в электроснабжении потребителей достигают 70 часов в год, что на порядок выше, чем в странах Западной Европы и Северной Америке.

Систематическое невыполнение планов ввода новых энергомощностей, и реконструкции действующих привели к существенному износу энергетического оборудования: около 57% имеют износ более 50%, полностью выработало свой ресурс порядка 18% [1].

Две трети регионов России являются сегодня энергодифицитными получающими электроэнергию извне. Большинство традиционно применяемых источников теплоснабжения имеют низкую энергетическую и экологическую эффективность, требуют сложной и дорогостоящей транспортной инфраструктуры, обеспечивающей доставку энергоносителей и недостаточно надежны

Все это обусловливает необходимость реорганизации существующих и создания новых систем децентрализованного энергоснабжения на основе энергоустановок сравнительно небольшой мощности и энергосберегающих технологий и применения эффективных видов топлива.

Комбинированно неиспользование энергоисточников - наиболее эффективный способ качественного и надежного энергообеспечения потребителей. Для этого могут применяться на основе совместной работы дизельные и газотурбинные агрегаты, солнечные, ветроэнергетические и биогазовые установки и малые ГЭС [2].

Успешная реализация положений рассмотренной концепции может быть обеспечена выполнением комплекса технических и организационных мероприятий, которые включают:

- разработку схем комбинированного использования энергоисточников малой и нетрадиционной энергетики в отдельных административно-территориальных единицах, подготовку ресурсных карт, устанавливающих не только величину и территориальное размещение энергоресурсов, но и изменение их интенсивности в течение месяца, года, оценивающие хозяй-

ственные условия, определяющие экологические требования, необходимую энергомощность при соблюдении экологических стандартов;

- организацию производства энергетического оборудования и установок для малой и нетрадиционной энергетики;
- разработку и реализацию национальной и региональных программ развития энергосберегающих технологий малой и нетрадиционной энергетики;
- реализацию утвержденных отраслевых программ освоения энергетических ресурсов и создания нового эффективного оборудования; создание технологических цепочек, позволяющих осуществить полный цикл освоения и внедрения каждого вида энергетического оборудования;
- определение системы мер по государственному стимулированию производства и применения энергетического оборудования, обеспечивающего ресурсосбережение, улучшающего социальные и экологические условия;
- организацию демонстрационных комплексов и базовых организаций по сертификации энергооборудования для малой энергетики.

Источниками финансирования для практической реализации указанных мероприятий должны служить:

- федеральный бюджет и средства отраслей - для разработки приоритетных проектов освоения и производства энергетического оборудования, имеющего эффективный рынок;
- федеральный и региональные бюджеты - для сооружения энергообъектов малой и нетрадиционной энергетики.

Для реализации этого потребуется гибкая система ставок по кредитам, предоставляемым коммерческими структурами, включение в тарифы большой энергетики части средств на развитие малой и нетрадиционной энергетики, как это делается во многих зарубежных странах.

При этом потребитель получит возможность покупать не энергию, а непосредственно энергопроизводящее оборудование. Таким образом, рынок энергетического оборудования будет формироваться при существенном влиянии потребителей: частных лиц, предприятий, муниципальных организаций и отраслей. Это позволит привлечь для финансирования средства населения, предпринимательских структур и муниципальных бюджетов.

Литература

1. Денисов В.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии/ В.В. Денисов – М.: Феникс, 2015. – 382 с.
2. Новиков Г.Ю. Основы производственной деятельности в теплоэнергетике. – Смоленск: Универсам, 2019 – 262 с.

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

DROP-КОНТРОЛЬ НА ШИНЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Мировой тенденцией развития энергетики последних лет является продвижение идей распределенной генерации. Распределенная энергетика – катализатор и ключевой элемент «энергетического перехода» от традиционной организации энергосистем XX века к новым технологиям и практикам XXI века. Распределенная генерация набирает большую популярность в связи с экологическими проблемами, связанными со сжиганием топлива, технологическими достижениями в области возобновляемой энергетики, а также необходимостью энергоснабжения изолированных, отдаленных районов нашей планеты, например, горных аулов; необходимостью поддерживать работу стратегических объектов инфраструктуры, будь то больница или правительственный объект, поэтому реализация этого потенциала является актуальной задачей современной энергетики. На сегодняшний день отрасль столкнулась с несколькими большими проблемами, начиная от недостатка правовой и законодательной базы, заканчивая разработкой способов и методов осуществления максимально эффективного контроля за элементами микросетей.

В настоящее время существует несколько способов возможного управления микросетями, в данной статье рассматривается концепция drop-контроля*(от анг. droop – падение)* по шине постоянного тока, разбирается механизм его работы, а также приводится один из возможных алгоритмов управления потоками энергии в микросети постоянного тока.

Существующие способы контроля источников энергии в микросистемах можно разделить на – централизованный, децентрализованный и распределенный способ.

· При централизованном управлении система управляется одним главным контролером. В случае его поломки микросеть прекращает свою работу.

· При распределенном управлении функция управления распространяется по всей сети. Эта стратегия повышает надежность системного централизованного управления, поскольку система может функционировать в случае сбоя узла. Тем не менее, для правильной работы системы необходима внешняя линии связи.

· При децентрализованном управлении каждый источник имеет свой отдельный контроллер, отвечающий за его работу. Однако если каждый узел не знает о других узлах в системе, управлять системой оптимальным образом невозможно.

Для осуществления связи между узлами возможно внедрение концепции drop-контроля. Drop-контроль – концепция управления микросистемой, базирующаяся на изменении напряжения на шине постоянного тока, а именно на падении напряжения на шине. Исходя из этого падения, с помощью логических элементов будет осуществляться подключение вспомогательных источников питания или же их отключение при возвращении уровня напряжения в

предшествующие состояние. В случае drop-контроля функция управления системой распределяется между контроллерами источников, расположенными по всей системе. Так как узлы связывает шина постоянного тока, а не внешняя линия связи, как в распределенном управлении, источники при drop-контроле эффективно управляются с использованием отдельных контроллеров, как при децентрализованном управлении. Таким образом, drop-контроль позволяет реализовать распределенную схему управления с сопоставимым уровнем надежности, что и децентрализованное управление.

Для того чтобы подключение источников произошло, необходимо всегда знать минимально возможное рабочее напряжение на нагрузке, и не допускать падения напряжения ниже этого уровня, в связи с этим должен осуществляться постоянный контроль напряжения на шине.

Также важно выбрать последовательность подключения источников энергии. В первую очередь в работу должны включаться возобновляемые источники энергии (ВИЭ), вторыми должны подключаться накопители, и только в последнюю очередь невозобновляемые источники энергии. Только при такой последовательности подключения в системе обеспечивается ее энергоэффективность.

Определившись с порядком подключения источников, к каждому из них необходимо установить логический элемент, который будет сравнивать напряжение на шине с рабочим напряжением нагрузки.

При критическом снижении уровня напряжения на шине осуществляется переход между состояниями системы, вследствие этого подключается новый источник питания и наоборот. Под критическим снижением напряжения следует понимать минимальное напряжение, при котором еще корректно функционирует нагрузка, падение напряжения ниже этого уровня приведет либо к поломке нагрузки, либо к ее полной неработоспособности.

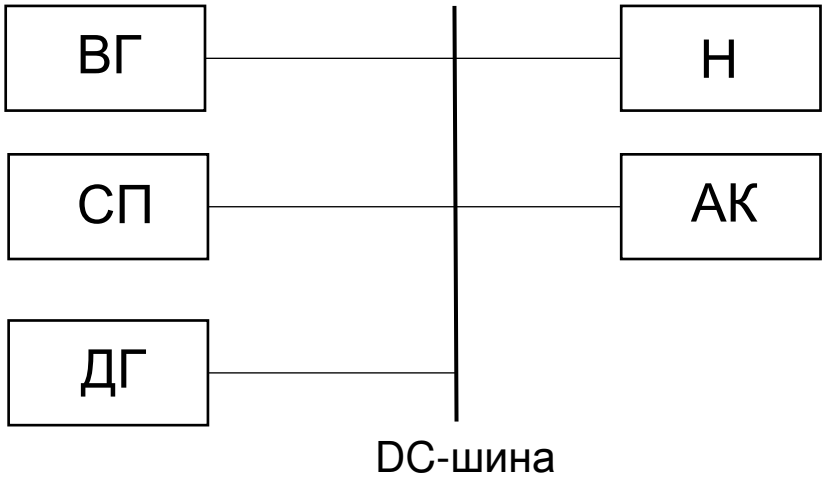
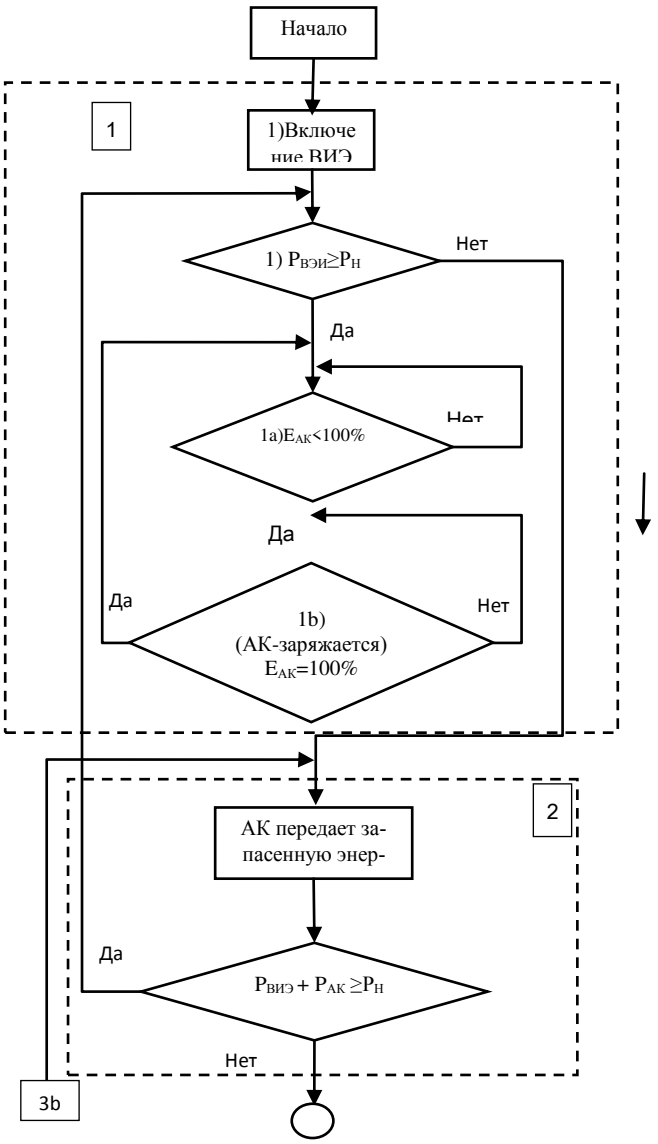


Рисунок 1- Структурная схема микросети постоянного тока

На Рисунке 1 представлен один из возможных вариантов структурного наполнения микросети. Для питания нагрузки (Н) данной схемой предполагается использование нескольких видов источников питания –

солнечная панель (СП), ветрогенератор (ВГ), аккумулятор (АК) и резервный источник, в нашем случае дизельный генератор (ДГ). Данная система может иметь 5 различных состояний, из которых 1 и 3 можно разбить на несколько составных частей.

Входным параметром системы управления является мощность нагрузки ($P_Н$). Изменение мощности вызывает переход между состояниями. Еще одним входным параметром является энергия накопленная АК ($E_{АК}$). Энергия накопления является пассивным параметром, поскольку она не вызывает изменения состояния системы. Этот параметр вызывает только переходы внутри состояний 1,3 и перекрывается мощностью нагрузки. Выходными данными системы являются мощность ВИЭ ($P_{ВИЭ}$), мощность, запасенная в АК ($P_{АК}$), и мощность создаваемая невозобновляемыми ВИЭ, вырабатываемая ДГ($P_{ДГ}$).



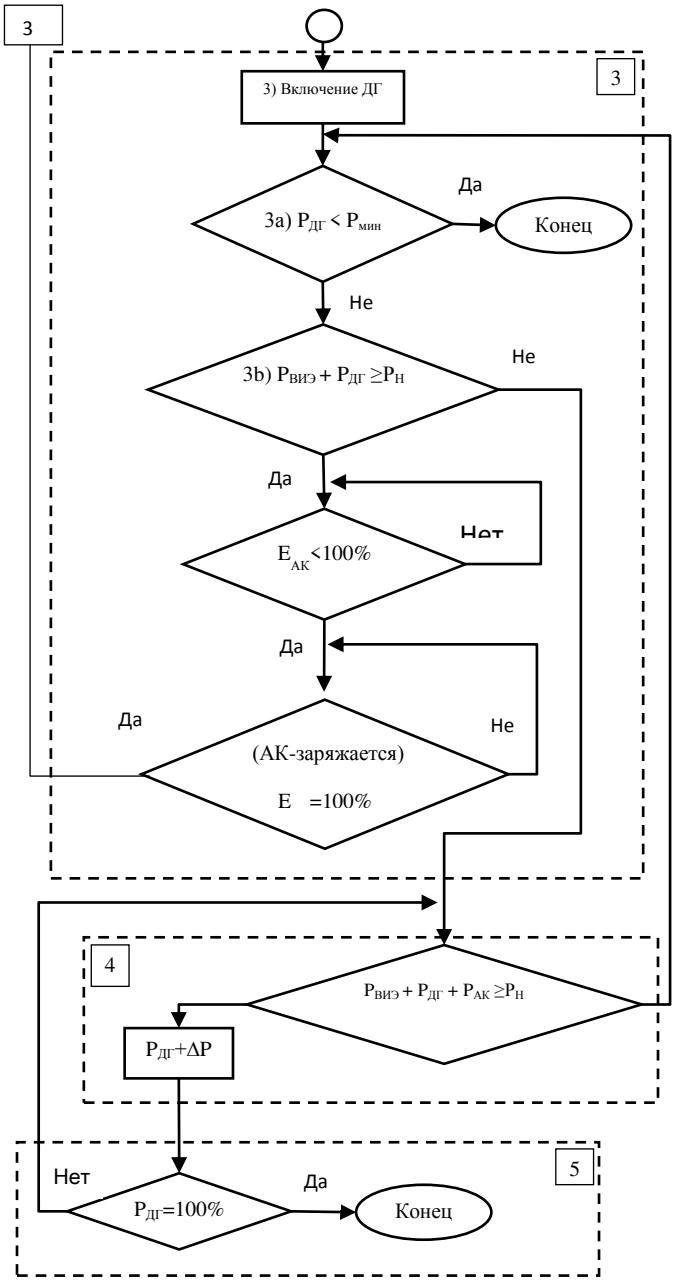


Рисунок 2- Блок схема алгоритма

1) При запуске системы возобновляемые источники включаются первыми, а нагрузка остается отключенной. Когда напряжение на шине становится стабильным, преобразователи нагрузки становятся активными.

В состоянии 1 мощность нагрузки меньше, чем максимальная мощность ВИЭ. Возможны два случая, когда АК заряжена полностью(1a), и тогда ВИЭ питает только нагрузку или же требует подзарядки(1b). 1b находится на границе состояний 1 и 2 и соответствует точке максимальной мощности возобновляемых источников.

2)В состоянии 2 нагрузка превышает доступную возобновляемую мощность, и АК обеспечивают баланс мощности.

3) Как только мощности АК и ВЭИ перестает хватать, включается дизельный генератор(ДГ). В состоянии (3a) генератор работает ниже своей минимальной экономической нагрузки ($P_{мин}$). При нормальных установившихся

условиях система никогда не должна находиться в состоянии 3a. Если хранилище не полностью заряжено, оно получает питание от системы, заставляя её перейти в состояние 3b. Если хранилище полностью заряжено, оно начинает подавать питание, вызывая переход из состояния 3a в состояние 2.

4)Если нагрузка превышает максимальную мощность ВЭИ И АК, и продолжает увеличиваться, то ДГ подает мощность вплоть до своей максимальной точки.

5) Если нагрузка увеличивается еще больше, перегрузки системы и нагрузки должны быть сброшены, чтобы предотвратить падение напряжения на шине.

Данный алгоритм регулирования предполагает ступенчатый переход между источниками, в связи с этим возможны перерывы электроснабжения при подключении ДГ, поскольку требуется время на его включение и выход на необходимую мощность. Стоит обратить внимание: если частое изменение нагрузки будет происходить за короткое время, то постоянное включение и отключение ДГ будет приводить к его изнашиванию. Также следует понимать, что схема подразумевает постоянную зарядку-разрядку АК, что сказывается на сроке её эксплуатации. Решение этих проблем следует рассматривать уже в отдельной статье.

Таким образом, в этой статье была рассмотрена стратегия управления микросетью с помощью контроля падения на шине постоянного тока. На данном этапе работы достигнута ступенчатая реализация этого метода, в процессе анализа выявились определенные недостатки, которые возможно устранить путём включения дополнительных логических цепей.

Литература

1) R. H. Lasseter, “Microgrids,” in Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting, 2002, vol. 1, pp. 305–308.
2) W. Tang and R. H. Lasseter, “An lvdc industrial power supply system without central control unit,” in Proc. IEEE Power Electron. Spec. Conf., 2000, vol. 2, pp. 979–984.

Е.А. Протасова, студ.; рук. Л.В. Вайтеленок, ст.преп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, г. Смоленск)

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Надежность современных систем производства и распределения электроэнергии во многом определяются безотказностью работы электрооборудования. Аварийные повреждения, часто сопровождающиеся разрушением трансформаторов, приводят к нарушению электроснабжения и экономическому ущербу у потребителя.

Актуальность этой проблемы заключается в том, что на сегодняшний день в эксплуатации находится значительное количество трансформаторов, которые выработали свой минимальный ресурс. Однако опыт эксплуатации показывает, что примерно 70-80% всех отказов связаны не с выработкой ресурса трансформатора, а с образованием и развитием различных дефектов внутри него.

Целью данной статьи является изучение и анализ современных методов диагностики технического состояния силовых трансформаторов, позволяющих

объективно оценить состояние трансформаторов, определить дефекты в активной части (обмотках и магнитопроводе), вводах, системе охлаждения, системе регулирования напряжения, существенно сократить риск возникновения технологических нарушений и продлить назначенный ресурс основных фондов.

В настоящее время существуют и используются различные системы мониторинга, которые отличаются по своим характеристикам, назначению и стоимости. Все измерения и анализы при диагностике трансформаторов можно разделить на следующие группы [1], из которых, основными и перспективными являются: метод измерения частичных разрядов и вибрационное обследование трансформатора для определения относительного уровня прессовки обмоток, а также общей прочности конструкции.

Разберём и проанализируем выше приведённые методы комплексной диагностики трансформаторов и выявим их преимущества и недостатки.

1.Метод измерения частичных разрядов(ЧР).

Этот метод относится к условно электрическому методу неразрушающего контроля и позволяет выявить наличие разрядов в масле трансформаторов, определить состояние для трансформаторов, у которых имеются подозрения на снижения электрической прочности изоляции за счет повышенной влажности, загрязнения. Помимо этого, данный метод позволяет оценить качество изоляции после проведения ремонта или необходимость выполнения ремонта после длительного использования.

Согласно [1], большинство отказов трансформаторного оборудования из-за ЧР вызвано изменением состояния изоляции обмоток, и чаще всего эксплуатация оборудования может быть продолжена, если идентифицировать источник ЧР.

Главное преимущество этого метода заключается в том, что исследуется полностью смонтированный трансформатор в своём конечном исполнении и качество его монтажа оценивается косвенно. Но также имеются недостатки, и к основному, можно отнести его сильную чувствительность к разного рода помехам. Так как при измерении ЧР результаты измерений могут включать ЧР других источников, внешний фон, помехи, коронные разряды, а также ЧР, происходящие за экраном трансформатора, которые не связаны с процессами в изоляции и не влияют на его срок службы. В этом случае высокий уровень измеренных ЧР может неадекватно отражать реальное состояние силового трансформатора, и поэтому может быть дана неверная оценка пригодности к эксплуатации.

Например, если в месте соединения токопроводов вывода трансформатора и концевой муфты кабеля установлены перемычки с неподходящими болтами, то образуются импульсы коронных разрядов, которые обязательно появятся в этих местах. Данные импульсы имеют максимальную амплитуду на положительной полуволне питающего напряжения при увеличении напряжения от нуля до максимального значения (рис. 1 [2]). Уровень коронных разрядов значителен

и может достигать 1000 пК. На отрицательной полуволне амплитуда коронных разрядов значительно ниже, но также может оказать влияние на анализ.

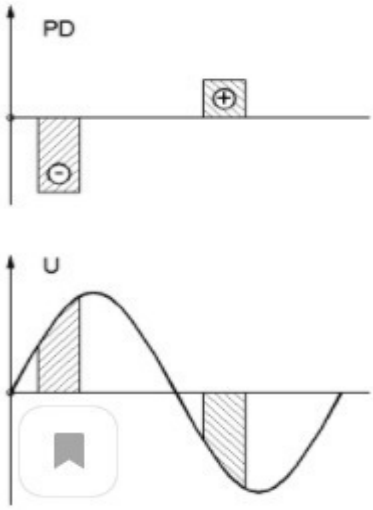


Рис. 1. Диаграмма импульсов ЧР для однофазного трансформатора

Поэтому необходимо дополнительное применение методов отстройки от данных коронных разрядов.

Из приведённого анализа, можно сделать вывод, что специальные знания и достаточный опыт в анализе ЧР на трансформаторах необходимы для выявления ЧР, непосредственно связанных с рассматриваемым объектом, а также для понимания их природы и, как следствие, для проведения правильной диагностической оценки.

2. Вибрационное обследование трансформатора.

Вибродиагностика стремительно развивается благодаря большому объему информации, которую она дает о состоянии оборудования в нормальном и аварийном режиме. Результаты вибрационного обследования могут быть использованы для оценки состояния фундамента трансформатора, охлаждающих вентиляторов, масляных насосов, а также для сбалансированности вентиляторов системы охлаждения и устранения резонансных явлений [3].

Разберём и проанализируем более детально про вибрационный отклик на поверхности бака трансформатора, возникающий от внутреннего дефекта, который существенно связан с конструкцией трансформатора.

Наиболее важным параметром при диагностике трансформатора является состояние прессовки его обмоток и магнитопровода. В нормальных условиях эксплуатации именно эти элементы являются основным источником вибрации, передаваемой на трансформаторный бак через трансформаторное масло и твердые конструктивные элементы. Частота этих колебаний лежит в диапазоне от 100 Гц до 800 Гц .

Вибрация магнитопровода обусловлена магнитострикционным процессом - изменением геометрических размеров пластин магнитопровода вследствие изменения ориентации кристаллов материала под действием магнитных полей.

Таким образом, эффект магнитострикции зависит от величины напряженности приложенного поля. Известно также, что основная частота магнитострикционных сил равна 100 Гц, т. е. в два раза больше частоты возбуждения.

Другим источником вибрации магнитопровода является воздушный зазор, возникающий из-за магнитного отталкивания между пластинами. Силы отталкивания в основном присутствуют в угловых соединениях магнитопровода и имеют основную частоту колебаний 100 Гц [3].

Таблица 1. Результаты измерения виброскорости трансформатора 500/200 кВ

Точка	100 Гц	200 Гц	300 Гц	400 Гц	500 Гц	600 Гц	700 Гц
HV, верх	6,5	0,7	1,0	1,7	0,6	-	-
HV, низ	6,0	1,0	1,9	0,9	1,0	0,3	-
LV, верх	5,4	1,0	1,2	1,3	-	-	0,2
LV, низ	7,0	4,8	0,9	2,3	0,9	0,2	0,4

В таблице 1 и на (рис. 2 [4]) приведён пример измерения скорости вибрации (мм/с) на трансформаторном баке 500/220 кВ, 50 Гц с использованием семи гармоник.

Графики показывают, что в спектре полученных сигналов присутствуют высшие гармоники, указывающие на ослабление давления обмоток или магнитопровода.

Для того чтобы отделить «вклад» вибрации магнитопровода и обмоток в общую вибрационную характеристику трансформатора, рекомендуется проводить измерение дважды: под нагрузкой и на холостом ходу. Это связано с тем, что в режиме холостого хода катушки трансформатора практически не имеют электродинамических сил, поэтому снимаемые вибрационные характеристики обычно описывают вибрацию магнитопровода. Обе составляющие будут присутствовать в вибрационной характеристике под нагрузкой [4].

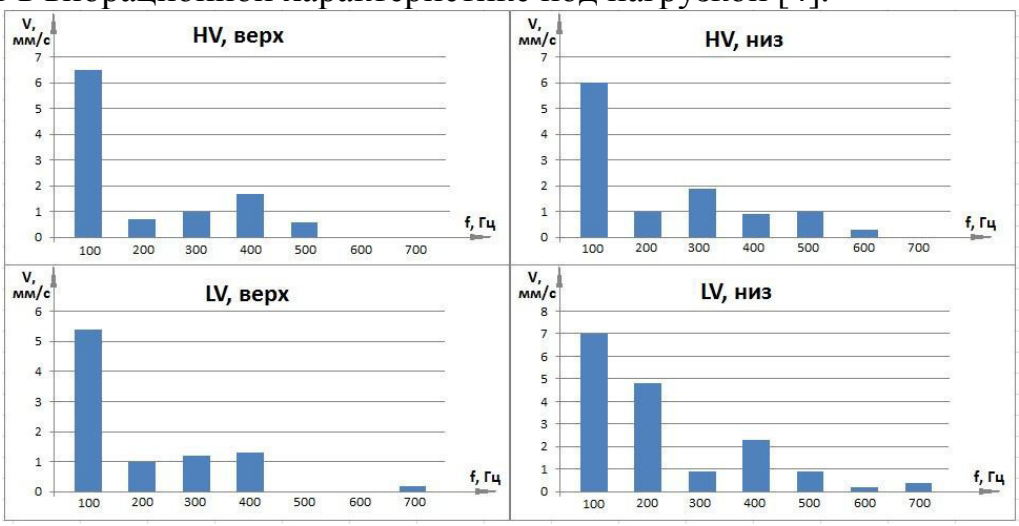


Рис. 2. Результаты измерения виброскорости трансформатора 500/200кВ

Исходя из проведённого анализа, можно сделать вывод, что наиболее лучшим, перспективным и эффективным направлением развития в диагностике электрооборудования, является вибрационный метод контроля, так как его неоспоримым преимуществом по сравнению с другими способами диагностиро-

вания, является возможность проведения обследования в процессе эксплуатации трансформатора, соответственно, возможность построения на его основе системы диагностирования, работающей в режиме on-line. Однако целесообразно использовать этот метод с другими методами диагностики, такими как измерение частичных разрядов в изоляции трансформатора, анализ трансформаторного масла и тепловизионный контроль, для получения наиболее достоверных диагнозов.

Литература

1.Долин А.П., Першина Н.Ф., Смекалов В.В. Силовые трансформаторы 35кВ и выше. Современные методы комплексной диагностики. Журнал №2 (38) 2006. С. 1-2.
2.Русова В.А. "Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования". [Электронный ресурс]. 2012. URL: https://dimrus.ru/texts/measpd.html.
3.Русов В.А, Софьина Н.Н. «Вибрационное обследование и диагностика состояния трансформаторов». Выпуск 11. Спб.: ПЭИПК, 2000. с. 38—53.
4. Вилков С.А. Вибрационная диагностика, как способ оценки технического состояния трансформаторов. ФГБОУ «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. С. 1-5

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

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПОДВЕСНОГО ИЗОЛЯТОРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ COMSOL Multiphysics 5.6

Изоляторы являются неотъемлемой частью конструкций опор ЛЭП, однако ввиду различных факторов они могут приходить в негодность провоцируя тем самым аварии различного масштаба. Причины отказа различны: внешнее воздействие (климат, вандализм, птицы), заводской брак, ошибки монтажа, несовершенство материалов и т.д.

В конструкции современных изоляторов неизбежно возникают различные дефекты и происходят деструктивные процессы в ходе их эксплуатации. Для исключения негативных последствий выхода из строя изоляторов, необходимо быстро диагностировать состояние изоляторов и достоверно определять причину выхода их из строя.

Работа под высоким напряжением имеет безусловный риск и перед фактическими испытаниями необходимо проработать все явления, происходящие в изоляторе, с помощью математического моделирования.

Существует достаточно большое количество программных комплексов для имитационного моделирования, одним из которых является COMSOL Multiphysics 5.6.

Программный комплекс COMSOL Multiphysics 5.6. для данного исследования является наиболее уместен, т.к. позволяет смоделировать математическую модель изолятора и максимально приблизить эту модель к существующему объекту исследования. В ходе моделирования можно изучать процессы, возникающие вокруг изолятора, в частности изучать магнитное поле. Наличие картины распределения магнитного поля вокруг изолятора позволит диагностировать состояние изолятора.

В ходе исследования необходимо исследовать распределение электрического поля вокруг изолятора. В качестве объекта исследования рассмотрен вы-

соковольтный композитный изолятор Fxbw4-110 (рис. 1), производитель Shanghai Minrong Electric.

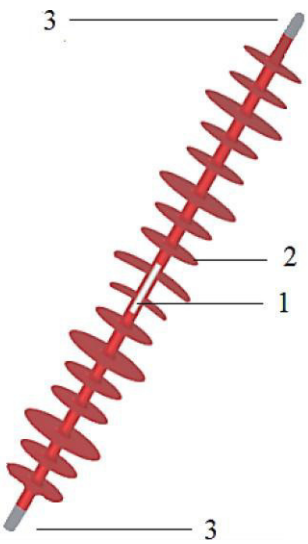


Рис. 1. Подвесной изолятор

1 – несущий стрежень, выполненный из композитного полимерного материала (стеклопластик); 2 – защитная оболочка из трекингстойкого полимера (полиолефин, силикон и др.); 3 – металлические фланцы на концах для крепления изолятора.

Математическая модель поля вокруг изолятора задается законом Гаусса, а в следствии уравнением Пуассона. Закон Гаусса для электрического поля [1]:

$$div\,\vec{E} = \nabla\,\vec{E} = \frac{q}{\varepsilon_r \varepsilon_0};$$

где $\vec{E}$ – вектор напряженности электрического поля [В/м];

q – свободный пространственный заряд [Кл];

ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума [Ф/м];

ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость материала, безразмерная величина.

В статических условиях вектор напряженности электрического поля определяется по формуле:

$$\vec{E} = -\nabla\varphi;$$

где φ – электрический потенциал [В].

Для поля электростатическая теорема Гаусса может быть записана через $\vec{D}$ поток вектора электрического смещения (электрической индукции). Поток вектора электрического смещения через замкнутую поверхность пропорционален заключённому внутри этой поверхности свободному электрическому заряду:

$$\nabla\vec{D} = q;$$

где вектор электрического смещения определяется по формуле:

$$\vec{D} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \vec{E};$$

Используя закон Гаусса и форуму для определения напряженности с определяющим соотношением потока $\vec{D}$, а также установив свободный пространственный заряд q равным нулю, можно переписать теорему Гаусса как вариант уравнения Пуассона:

$$-\nabla(\varepsilon_r \varepsilon_0 \nabla\varphi) = 0;$$

Полученное дифференциальное уравнение можно решить методом конечных элементов. Одним из способов решения уравнения является построение модели магнитного поля в двумерном и трёхмерном пространстве в программном комплексе COMSOL Multiphysics 5.6.

Для получения единственного численного решения задаются электрические граничные условия к нижней части изолятора с амплитудой перенапряжения $U_ф \approx 65$ кВ и к верхней с $U_0 = 0$.

Работа с интерфейсом программы COMSOL Multiphysics 5.6 сводится к трем этапам:

1) Построение геометрической модели элемента;
2) Задание свойств модели;
3) Задание граничных условий.

На первом этапе осуществляется построение модели изолятора Fxbw4-110 в двумерном осесимметричном пространстве. Моделирование изолятора сводится к построению трех прямоугольников различной ширины, длины и расстоянием от оси координат соответственно это: несущий стержень, верхний и нижний металлический фланец. Построение защитной оболочки задается кривой, вид которой зависит от толщины самой оболочки, а также радиусов, толщины изолирующей части (тарелок) и расстоянием между ними, а далее идет повтор заданных условий.

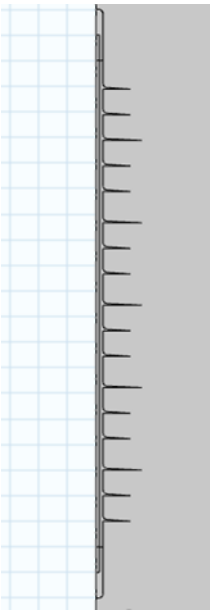


Рис. 2. Геометрия изолятора

Размеры нижнего фланца:
$Width$: 0,012 м; $Height$: 0,1 м;
$r = 0$ м; $z = 0$ м;
Размеры силового стержня:
$Width$: 0,006 м; $Height$: 1,05 м;
$r = 0$ м; $z = 0{,}05$ м;
Размеры верхнего фланца:
$Width$: 0,012 м; $Height$: 0,1 м;
$r = 0$ м; $z = 1{,}05$ м;
Толщина изоляции без тарелок: 6 мм;
Размер маленькой тарелки:
$r = 0{,}06$ м; $z = 0{,}003$ м;
Размер большой тарелки:
$r = 0{,}08$ м; $z = 0{,}003$ м;

Следует отметить, что для достижения более точных результатов необходимо выполнить скругление острых кромок нижнего и верхнего фланцев радиусом 0,002 м, что необходимо для получения более точных результатов.

Задание внешней области, то есть окружающей среды вокруг изолятора, ограничивается окружностью радиусом 8 м. Поле за пределами этих границ уже не содержит полей высокой напряженности и поэтому не вызывает особого интереса на данном этапе исследования.

Результатом первого этапа является построение модели изолятора в двумерном пространстве, которая показана на рис. 2.

Второй этап сводиться к заданию свойств материалов частей изолятора.

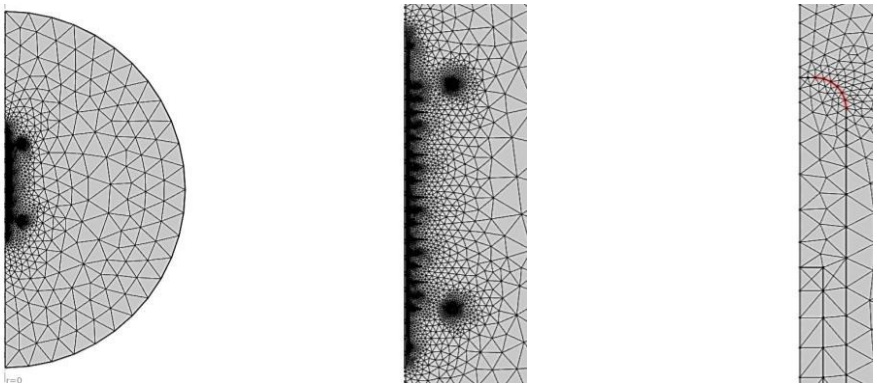
Таблица 1 – Данные для задания свойств материалов

№	Название области	Материал	ε_r, безразмерная величина
1	Стержень	Стеклопластик	5,0
2	Защитная оболочка	Силиконовое покрытие	3,5
3	Внешнее пространство	Воздух	1,0

В идеале электрическое поле внутри металлических фланцев равно нулю, поэтому фланцы исключаются из области вычислений, так как их потенциал известен заранее. Для других областей необходимо определить относительную диэлектрическую проницаемость материала ε_r, как указано в таблице 1.

На третьем этапе задаются граничные условия для решения дифференциального уравнения Пуассона.

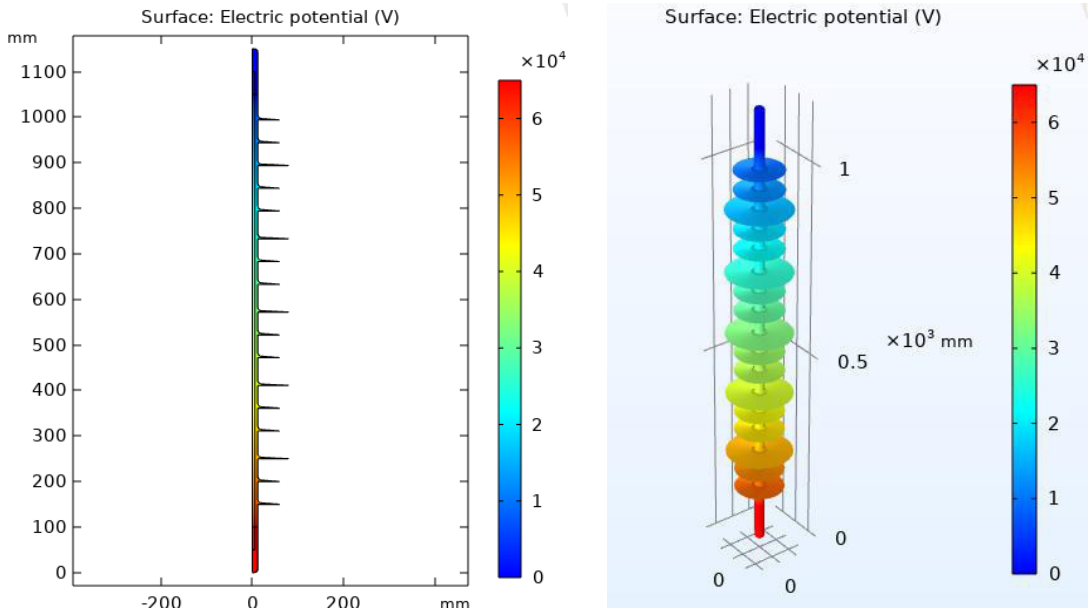
Завершает подготовку модели к расчету построение сетки конечных элементов (рис. 3). Для повышения точности решения в области наиболее неравномерных полей используется локальное сгущение сетки, например, вблизи линий с малым радиусом кривизны.



а) б) в)

Рис. 3. Построение сетки конечных элементов: а) общий вид; б) вид вблизи изолятора; в) вид вблизи верхнего фланца

Результатом расчетов по умолчанию является цветовая картина распределения электрического потенциала (рис. 4).



а) б)

Рис. 4. Результаты моделирования: а) в двумерном пространстве; б) в трехмерном пространстве

Таким образом, в ходе решения дифференциального уравнения программным комплексом COMSOL Multiphysics 5.6 было получено вращающееся трехмерное распределение электрического потенциала изолятора (рис. 4). Электрическое поле распределено неравномерно по изолятору, но сильнее всего оно проявляется на концах изолятора. Максимум наблюдается на нижнем фланце $U \approx 6{,}5 \cdot 10^4$ В, а минимум на верхнем фланце $U \approx 0$ В.

Полученные результаты моделирования имеют хорошую сходимость с экспериментальными данными описанными в работе [2].

В дальнейшем полученную модель можно использовать для моделирования магнитного поля вокруг изолятора с дефектами, для этого задаются дополнительные граничные условия или изменяются свойства материалов изолятора. Например, учитывать различные факторы, которые влияют на работу изолятора: факторы загрязненности, увлажнения, появления стримеров, ПЧР и т.д.

Литература:

1 Гаусс К.Ф. Труды по теории чисел. Под ред. И.М. Виноградова. – М: Изд-во АН СССР, 1959. - 979 с;

2 Montoya-Tena G., Hernandez-Corona R., Ramirez-Vazquez I., «Diagnostics for Nonceramic Insulators in Harsh Environments» // IEEE: Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. – November/December 2009;

3 Титков В.В. Высоковольтная электротехника и электромагнитная совместимость: сборник практических заданий Matlab и Comsol Multiphysics. – СПб: СПбПУ, 2009. – 70 с.

Д.Ю. Тарасов, маг.; В.С. Ковженкин, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Релейная защита и противоаварийная автоматика осуществляют автоматическую ликвидацию повреждений и ненормальных режимов в электрической части энергосистем и являются важнейшей системой, обеспечивающей их надежную и устойчивую работу. Рост нагрузок, увеличение протяжённости линий электропередачи, ужесточение требований к устойчивости работы энергосистем усложняют условия работы релейной защиты. В то же время повышаются требования к эффективности её функционирования, поэтому идёт непрерывный процесс развития техники релейной защиты, направленный на создание более совершенных устройств, отвечающих требованиям современной электроэнергетики.

Принципы построения устройств релейной защиты, в том числе и микропроцессорных, весьма разнообразны. Большинство этих устройств являются автономными и выполняются с использованием электрических воздействующих величин – токов и напряжений промышленной частоты защищаемых элементов системы. Иногда, в качестве дополнительной информации, могут использоваться некоторые физические явления неэлектрического характера, сопровождающие короткие замыкания (КЗ) и ненормальные режимы защищаемого элемента электрической системы. В частности, может использоваться световая вспышка (при дуговых КЗ), изменение скорости выделения газов (газовые реле), повышение температуры элементов защищаемого объекта, вибрация электрической машины и т.д.

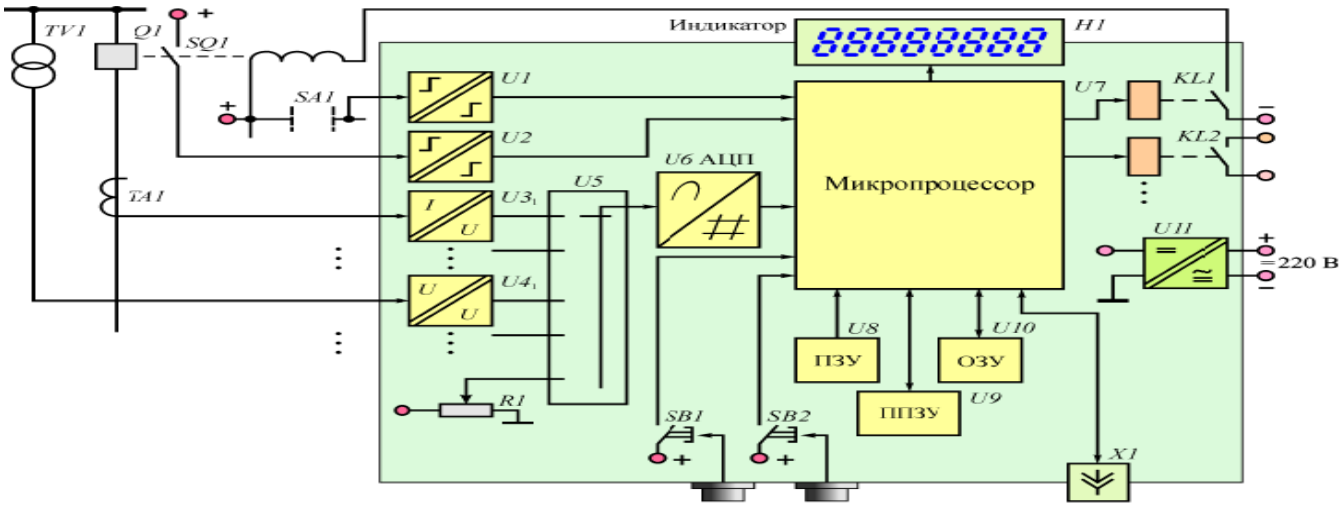


Рис. 1 Структура цифрового устройства релейной защиты

Наличие канала аналого-цифрового преобразования (АЦП) является отличительным признаком большинства цифровых устройств релейной защиты.

Канал аналого-цифрового преобразования включает мультиплексор (U5) и собственно аналого-цифровой преобразователь – АЦП (U6). Мультиплексор – это электронный коммутатор, поочередно подающий контролируемые сигналы на вход АЦП. Применение мультиплексора позволяет использовать один АЦП для обработки нескольких входных сигналов. В АЦП осуществляется преобразование мгновенного значения входного сигнала в пропорциональную ему цифровую последовательность (выборку). Преобразования выполняются с заданной периодичностью. В дальнейшем по выборкам (их называют также отсчётами) рассчитываются в частности интегральные параметры контролируемых сигналов: амплитудные, действующие или средние значения [1].

11:28:25.904 -> V = 0	11:28:25.904 -> V = 5	11:28:25.904 -> V = 9	11:28:25.937 -> V = 13	11:28:25.937 -> V = 18	11:28:26.005 -> V = 22	11:28:26.005 -> V = 26	11:28:26.039 -> V = 30	11:28:26.039 -> V = 34	11:28:26.073 -> V = 39	11:28:26.073 -> V = 42	11:28:26.073 -> V = 43	11:28:26.142 -> V = 45	11:28:26.142 -> V = 47	11:28:26.176 -> V = 48	11:28:26.176 -> V = 48	11:28:26.244 -> V = 48	11:28:26.244 -> V = 48	11:28:26.244 -> V= 47	11:28:26.278 -> V = 46	11:28:26.278 -> V = 43	11:28:26.311 -> V = 40	11:28:26.311 -> V = 36	11:28:26.379 -> V= 31	11:28:26.379 -> V = 25	11:28:26.413 -> V= 20	11:28:26.413 -> V = 15	11:28:26.413 -> V= 11	11:28:26.447 -> V = 6	11:28:26.447 -> V = 1	11:28:26.515 -> V = 0

Рис.2 Пример выборки, за полупериод промышленной частоты.

Для исследования данного вопроса, было разработано и собрано микропроцессорное устройство релейной защиты на базе аппаратной платформы Arduino, основанное на интегральных значениях сигналов.

В процессе эксперимента была проверена способность устройства, преобразовывать мгновенные значения входного аналогового сигнала в пропорциональную ему цифровую последовательность (Рис.2 и Рис.3). Одной из особенности используемой аппаратной платформы Arduino является то, что входной сигнал на аналоговые входы может быть в диапазоне 0…5 В. Для корректной работы защиты и получения сигнала с требуемыми характеристиками, на вход устройства был подключен делитель напряжения и диодный мост на диодах КД213А.

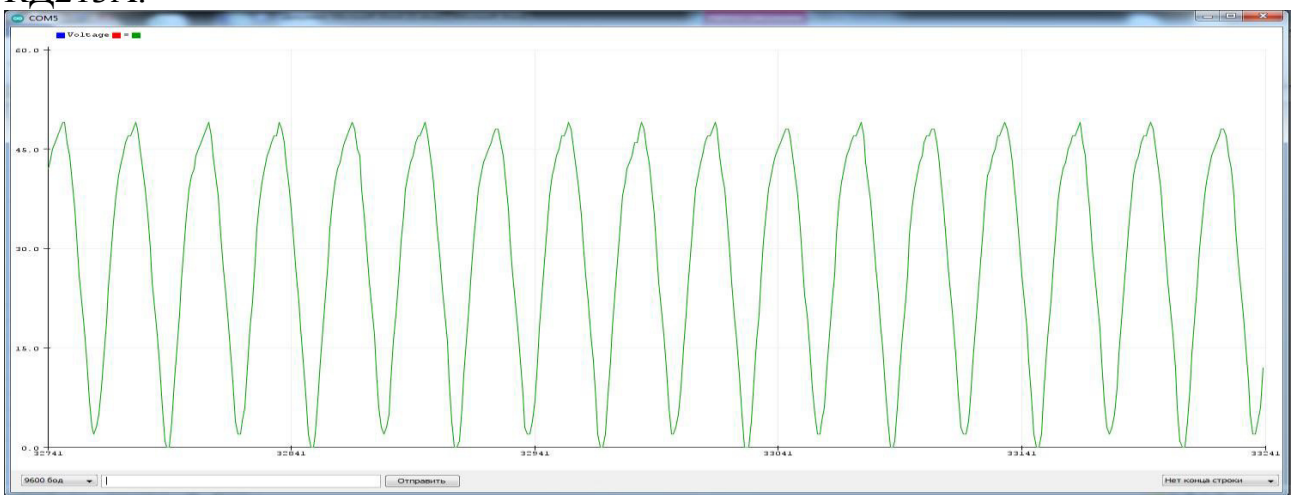


Рис.3 Пример выборки, в графическом виде.

Принцип действия устройства, основан на интегрировании каждой выборки и с последующим расчетом в действующее значение сигнала, которое записывается в отдельную ячейку массива данных. В данном случае, в качестве вы-

борки принят полупериод промышленной частоты. В массиве данных мы получаем действующие значения входного сигнала.

Ячейка	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_{n-1}	A_n
Значение	667	668	670	801	882	852	861

Рис. 4 Пример заполнения массива данных.

Далее, происходит сравнения N количества ячеек массива данных с заданной уставкой срабатывания защиты. Если условие сравнения выполняется, то запускается один из алгоритмов, соответствующей нужной ступени защиты.

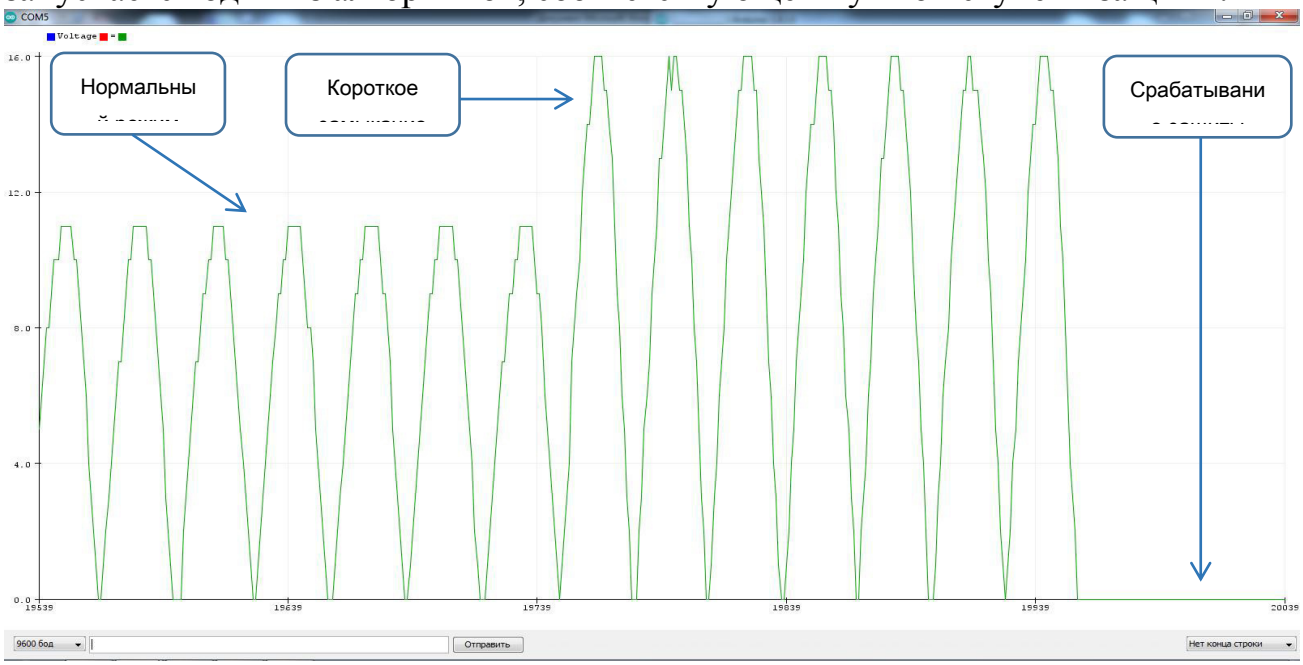


Рис 5. Пример срабатывания ступени защиты

В качестве измерительного органа был использован магнитный трансформатор тока типа ТВМ-2П. Отличительная его особенность в том, что у него отсутствует насыщение, и он имеет линейную зависимость.

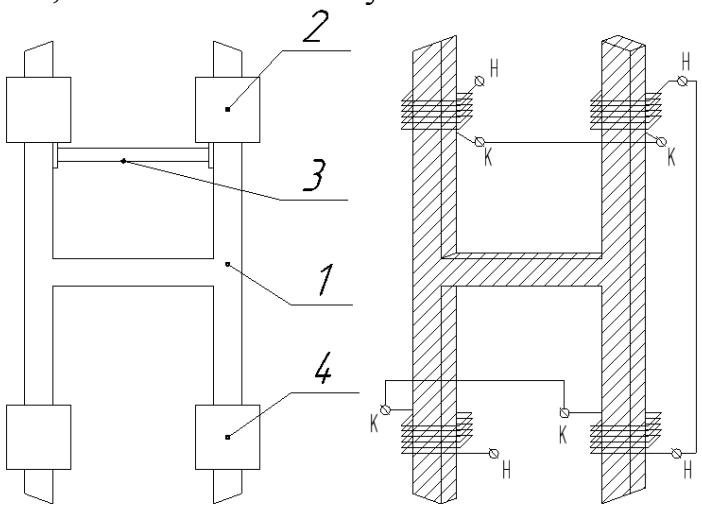


Рис. 6 Магнитный трансформатор тока типа ТВМ-2П
(1 – магнитопровод из электротехнической стали; 2 – основные узлы; 3 – узел крепления; 4 – компенсирующие катушки)

Таким образом, применение релейных устройств на основе интегральных значений имеет ряд достоинств:

- Применение в качестве второго комплекта на ЛЭП, для повышения надежности;
- В комплекте с дистанционным трансформатором тока исключаются ложные срабатывания защиты при близких коротких замыканиях, т.к. исключается такой фактор, как насыщение трансформатора тока;
- Снижение вычислительных мощностей микропроцессорных устройств, т.к. нет необходимости постоянного сравнения мгновенных значений;
- Уменьшение размеров самих устройств, что влечет за собой более компактное размещение в релейном зале.

Литература

1. Никитин А.А. Микропроцессорные реле. Основы теории построения измерительной части: учеб. пособие /А.А. Никитин. Чебоксары: Изд-во НОУ "НОЦ "ЭКРА", 2016.
2. Никитин А.А. Аналоговые интегральные элементы электронных и микропроцессорных электрических аппаратов: учеб. пособие /А.А. Никитин. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2011. – 258 с.

Е.А. Цыганова, студ.; рук. В.П. Кавченков, д.т.н., проф.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ ПОЛЯРНОГО КРАНА

На атомных станциях (далее по тексту – АЭС) самым главным краном является мостовой электрический кран кругового действия (полярный кран). Он применяется в реакторном отделении АЭС. С его помощью устанавливается необходимое оборудование в реакторном отделении, перемещается топливо (загрузка и выгрузка ядерного топлива), также в период строительства АЭС с его помощью осуществляется доставка и установка оборудования на проектное место. Управление полярным краном осуществляется следующим образом: при строительстве АЭС – с пульта управления, а также с кабины крановщика, после ввода в эксплуатацию АЭС (при работе с топливом) – из специального защитного помещения.

Согласно [1] полярный кран относится ко второй категории электроснабжения с автоматическим включением резерва. Питание происходит от сети 6,0/0,4 кВ через трансформаторные подстанции. Система заземления питающей электрической сети TN – S – это пятипроводная система с шинами «PE» и «N», но от шкафа управления до кранового рубильника (с его помощью происходит электропитание крана) идет четырехпроводная система без нулевого провода «N».

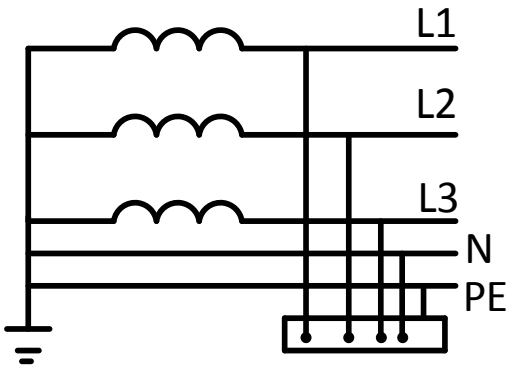


Рисунок 1. Система заземления TN – S

Электропитание полярного крана происходит с помощью системы ввода и распределения энергии. Данная система обеспечивает:

– прием первичного электропитания трехфазного напряжения (В), частотой (Гц) от вводного устройства через разъединитель;

– блокировку вводного устройства посредством специального замка с ключом, без которого не может быть подано напряжение на кран;

– преобразование и распределение первичного электропитания для электропитания потребителей электрооборудования крана;

– защиту потребителей от токов короткого замыкания и перегрузки, превышения и снижения напряжения, пропадания любой из фаз питающего напряжения;

– световую индикацию наличия питающих напряжений и аварийных режимов работы.

Система ввода содержит коммутационную и защитную аппаратуру, распределительные шины питания, вторичные источники электропитания, а также устройства формирования информации об их состоянии.

Для системы ввода, обеспечивающей питание электрооборудования, необходимы следующие технические характеристики, значения которых указывается в заводской документации:

– напряжение, В;

– частота напряжения питания переменного тока, Гц;

– максимальная потребляемая мощность, кВт;

– напряжение цепей управления, В;

– напряжение цепей рабочего освещения, В;

– напряжение цепей ремонтного освещения, В;

– напряжение питания потребителей, В;

– подвод питания к электрооборудованию обеспечивается по одной линии питания.

При системе питания TN – S на кране отсутствуют однофазные нагрузки, соответственно на вводе отсутствуют уравнительные токи и нейтральный провод N. Для работы оборудования предусмотрены понижающие трансформаторы.

В системе ввода обеспечено отключение главного контактора (силового питания приводов крана), непосредственно от кнопок аварийного останова (расположенных на шкафах управления и на пультах управления), от аварийных концевых выключателей, общестанционной сейсмозащиты, прибора контроля превышения скорости или сигналу «останов» от программно-технических средств.

При пропадании одной из фаз напряжения питания, поступающего от системы ввода, или при выходе его величины за допустимые пределы, реле контроля фаз отключает главный контактор.

Чаще всего выбор трассы для прокладки кабелей на АЭС для электроснабжения крана происходит исходя из сложности прокладки трассы, наличия коммутаций, площадки обслуживания, а также работы платформы постнатяжения тросов в межоболочном пространстве.

Трасса проходит по определенным отметкам на атомной станции, и с этих отметок, через существующие кабельные проёмы, переходит в межоболочное пространство. Для прохода кабелей через стены и перекрытия используются существующие проектные проемы. Основной объём силовых и контрольных кабелей в межоболочном пространстве прокладывается в 2-х коробах определенного размера (согласно проектной документации) и переходит от одной стены до другой, спускается до определенной отметки (согласно проектной документации) и подходит до осей расположения гермопроходок и поднимается до определенной отметки, проходит через трубные гильзы гермопроходок в герметичную зону АЭС. Затем по штатным кабельным трассам внутри, кабели поднимаются до определенной отметки и расключаются в переходных клемных коробках. От переходных клемных коробок к шкафу подключения полярного крана прокладываются штатные проектные кабели.

Кабели управления и жизнеобеспечения кабины прокладываются в межоболочном пространстве в трубном блоке по определенной высоте на стене (согласно проектной документации), выходят из зоны действия платформы постнатяжения тросов, переходят от одной стены до другой, опускаются до определенной высоты на стене (согласно проектной документации) и подходят к оси (градусы оси обозначены в проектной документации полярного крана), где поднимаются до нужной отметки и заходят в реакторное здание. Дальше кабели предусматривается проложить по штатным проектным трассам к кабине управления полярным краном. Кабельные опорные конструкции для коробов устанавливаются по стенам зданий.

Подводя итог можно сказать, что электроснабжение полярного крана – это довольно сложный процесс, который требует четкого проектирования, усовершенствования технологий и надежности электроснабжения.

Литература

1.ПУЭ 7. Правило устройства электроустановок. Издание 7. П 1.2 – с. 21

И.А. Шалаев, студ.; рук. В.П. Кавченков, д.т.н., проф.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ НАДЁЖНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ 110 КВ И МЕТОДОВ ЕЁ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Электрические сети должны функционировать безотказно, одним из самых важных требований предъявляемым к ним является бесперебойность работы. Трансформатор относится к числу основных элементов энергосистемы, поэтому вопрос его надёжности ставится во главу угла, однако большую часть трансформаторов 110 КВ начали эксплуатировать более пяти десятков лет назад. Данный факт говорит о том, что многие их компоненты в силу времени во многом износились или же требуют периодического прохождения полного анализа их состояния с целью предотвращения аварий и продления срока службы. В связи с этим специалистами используются различные методы контроля состояния трансформаторов для прогнозирования их остаточного ресурса [1].

Контроль надёжности производится уже в момент первой установки трансформаторов на объекте при вводе их в состав энергосистемы. Перед подачей напряжения на первичные обмотки предусмотрено проведение процедуры планово-предупредительных осмотров, в которую входит список конкретных контрольных проверок трансформатора. Во время таких испытаний эксперты прибегают к помощи специализированных измерительных приборов, нередко в ход пускают лабораторные стенды и механизмы [2].

В обязательном порядке периодически проводятся измерения на трансформаторе, введённом в эксплуатацию. Чтобы отслеживать и контролировать состояние должным образом необходимо осуществлять оценку по временным промежуткам, а также проводить срез контролируемых значений параметров. Материалы проверки должны храниться в безопасном месте, обеспечивающем безошибочный и быстрый доступ к данным. При снятии свежих показаний их необходимо проанализировать и сравнить с результатами прошлых диагностик для выявления отличий. Исходя из полученной информации решается, какие шаги следует предпринять касательно обследуемого оборудованию. В диагностике силовых трансформаторов именно на этом основывается первый этап, главная цель которого состоит в создании параметрической базы данных исследуемого объекта. Далее возможен анализ сведений о показателях из архива и их сопоставление с результатами текущей диагностики [4].

В случае если текущие и предыдущие показания не имеют значительных отличий, новые опытные величины фиксируются в базе данных с соответствующей датой для возможности их использования при следующий проверках

Если же в ходе обследования обнаруживаются ощутимые отличия показаний какого-то из узлов оборудования, производится благовременная наладка. В случае невозможности проведения ремонтных мероприятий старые

запчасти заменяется новыми для возвращения трансформатора в рабочее состояние.

Документация в архиве по устройству содержит все необходимые нормативные акты, материалы об элементах трансформатора, результаты всех испытаний и сведения, полученные в ходе крайней проверки о каждом узле агрегата. Рассмотрим наиболее важные методы технической диагностики трансформаторов: хроматографический, тепловизионный, акустический и вибрационный.

Для проведения комплексного анализа трансформаторного масла хроматографическим методом необходимо использовать технически сложное оборудование. В первую очередь берутся пробы масла с последующим проведением процедуры контроля. После выполнения анализа результатов можно сделать выводы касательно существующих дефектов, а также стадии их развития. Опытные специалисты могут в мелких подробностях описать какие именно повреждения стали причиной изменения химического состава масла. Проецируя их выводы на сам агрегат, можно исправить состояние устройства, предотвратить возникновение серьезных поломок и еще более серьезного по экономическим потерям простоя оборудования. Главная задача, которая выполняется при диагностике трансформаторного масла хроматографическим методом заключается мониторинге составов газов, их концентрации и уровня загрязнения. При проведении диагностики необходимо получить точные данные о содержании в масле ацетилена, водорода, метана и этан. Это основные газы, которые не только ухудшают состояние и рабочие характеристики жидкого масла, но и указывают на внутренние повреждения трансформатора [2].

Физико-химическая диагностика осуществляется путем взятия проб трансформаторного масла так же, как и в случае с хроматографическим анализом, с той лишь разницей, что в данном случае проверяется не газовый состав, а диэлектрические свойства масла. В результате ежедневной работы, а также после стрессовых режимов работы трансформатора диэлектрические свойства масла изменяются к худшему из-за возрастающей концентрации инородных примесей.

Заключения специалистов, получаемые в ходе физико-химического анализа, позволяют понять: в каком состоянии находится твёрдая и бумажная изоляции, исправно ли работает система охлаждения, а также оценить вероятность выхода устройства из строя в целом. В трансформаторе могут возникать электрические заряды, появляющиеся в результате беспрестанно образующихся дуговых зарядов, присутствие которых можно отследить, используя данный способ контроля [3].

Обследование тепловизионным способом — это технически сложная процедура, требующая наличия компактного дорогостоящего оборудования, тепловизоров, ровно, как и компьютеров для расшифровки и анализа результатов.

Тепловизор устанавливаются на неподвижном штативе, после чего производится съёмка вблизи трансформатора с разных ракурсов. Так получают

фотографии теплового поля на его элементах. В специализированную программу вносятся снимки вместе с большим объёмом персональных параметров, присущих исследуемой модели трансформатора, в которые входят сведения о внутренних и внешних конструктивных особенностях, и температурных характеристиках.

Тепловизионный метод обследования позволяет выявить ряд серьёзных неисправностей внутри агрегата:

-Витковые замыкания в обмотках трансформатора.

-Электродинамическую стойкость, целостность, понять насколько исправно функционирует контактная часть (рис. 1).

-Исправность работы регуляторов переключателей системы РПН, системы охлаждения (рис. 2).

-Оценить целостность шин заземления, выявить возможные скрытые обрывы.

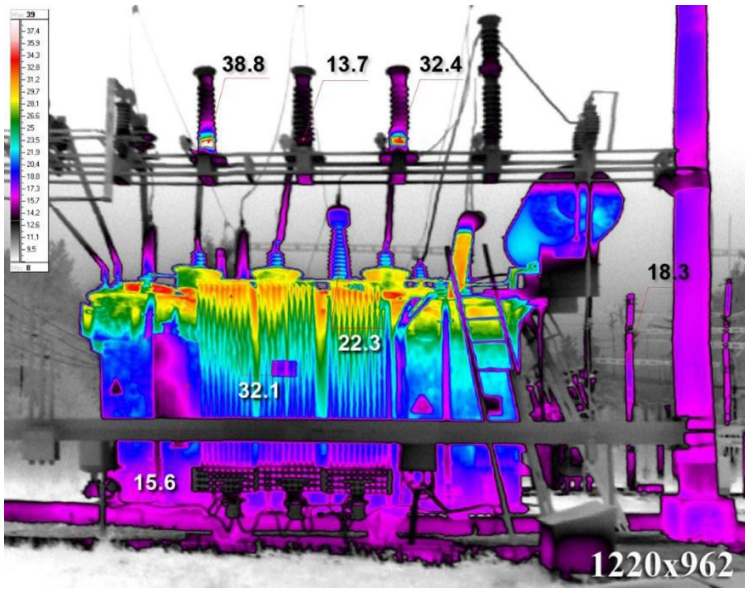


Рис. 1 – Локальный перегрев изоляторов трансфоматора.

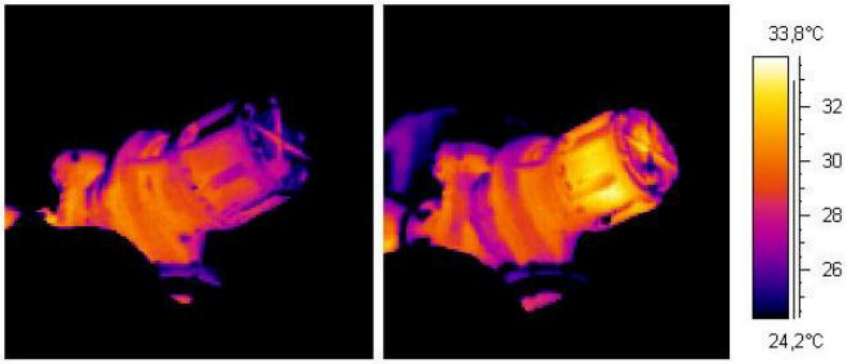


Рис. 2 – Термограммы маслонасосов, слева маслонасос в удовлетворительном состоянии; справа маслонасос с дефектом подшипника.

Акустический метод обследования позволяет определить уровни частичных зарядов в трансформаторе. Для проведения данного типа диагностики используется микрофонная техника с увеличенной чувствительностью

восприятия звуковых волн. К положительным аспектам метода относят возможность проведения процедуры на значительном отдалении от тестируемого оборудовании. Однако обследование акустикой имеет значительные погрешности на конкретный сектор, где они возникают. Установить точку их возникновения таким путем достаточно сложно. К тому же, нет возможности отделять разряды от электромагнитного фона, создаваемого устройством. Из-за чего существует вероятность ошибочно определить зону обнаружения. Поэтому использование электрического метода с установкой заводских датчиков для диагностики силового оборудования намного выгоднее [4].

Для определение вибрационных характеристик оборудования в ход пускают высокоточную, технически-сложную аппаратуру контроля и измерений. Специальное программное обеспечение, которым она снабжается, позволяет решать разноплановые задачи, для которых используется одна интерактивная измерительная оболочка. Уровень вибрации диагностируется при помощи спектрального анализа важнейших узлов трансформатора, таких как: стяжки, обмотки, отдельные шпильки и прочие элементы крепления.

Проведение данного исследования позволяет установить уровень изношенности деталей в рабочем режиме, или другими словами их усталости.

Проведя обследование акустическим методом, специалисты могут определить:

-информационные параметры о соответствии узлов трансформатора нормативным требованиям;

-на сколько глубоко распространяется механическое воздействие вибрации на изоляцию, металлоконструкцию в целом и вспомогательные аксессуары;

-степень изношенности элементов и промежуток времени, после которого они станут неремонтопригодными.

Кроме перечисленных методов диагностики трансформаторов очень важно проверять работу его переключающего устройства и системы охлаждения. Подобная диагностика проводится в соответствии с нормативными требованиями. Обыкновенно ещё на заводе производителе осуществляют проверку работоспособности, целостности и соответствию номинальным значениям переключающих устройств, опираясь на тип и мощность силовых трансформаторов. В паспортной документации устройства можно найти сведения с регламентом проведения испытаний и результатами заводской диагностики.

Система охлаждения трансформаторов состоит из многочисленных подсистем масляно-воздушного охлаждения, в которых применяются автоматические системы управления, регулирующие состояние внутреннего контура охлаждения с использованием маслонасосов и вентиляторов.

Диагностика внешней системы масляного охлаждения не требует специального оборудования, так как в неё входит визуальный осмотр дефектов, к которым относятся протечки, механические повреждения и другие неисправности в результате которых трансформатор может начать работать

неправильно, либо, что ещё хуже, полностью выйдет из строя из-за перегрева. Показатель температуры на термометре расширительного бака не должен превышать 95° С.

После осмотра внешнего контура начинается диагностика внутренних систем охлаждения. Производят тестовый запуск автоматизированной системы прокачки масла в шкафах ШАОТ с последующим отслеживанием показателей на выходе. При выявлении данных отличных от номинально-допустимых, эксплуатация трансформатора в составе энергоустановки незамедлительно прекращается. Далее его направляются на детальную диагностику, по результатам которой проводят наладку и ремонт всех элементов системы масляного охлаждения устройства.

Особое внимание в обследовании уделяют масляным насосам, так как срок их службы в агрессивных средах недолговременный. При нахождении мельчайших неполадок в обязательном порядке производят ремонт или полную замену.

Так же работу маслонасосов оценивают по качеству промывки патрубков и внутренних трубопроводов. Анализируя сливные излишки масла, можно судить о его качество и содержание в нём сторонних примесей. Чем чище будут образцы сливного масла, тем исправнее работают насосные системы [4].

В настоящее время конструкция трансформатора доведена практически до совершенства. Это значит, что увеличение надёжности силовых трансформаторов методом внедрения новых технологий представляется проблематичным. Однако в современном мире можно добиться высокой стабильности работы энергетических систем косвенными способами, к которым относятся системы диагностики. Систематические обследования оборудования, введение автоматических систем слежения, а также совершенствование старых и введение новых способов контроля состояния элементов системы позволит свести число аварий к минимуму и избежать чрезмерных и непредвиденных трат на закупку нового оборудования.

Список литературы

1. Хлыстиков А.В., Игнатьев И.В. Проблемы надежности работы силовых трансформаторов. Братский государственный университет, г. Братск, Россия, 2013 г.

2. Соколов В. В. Ранжирование состаренного парка силовых трансформаторов по техническому состоянию // Современное состояние и проблемы диагностики силового электрооборудования: материалы совместного заседания совета специалистов по диагностике силового электрооборудования при УРЦОТ и секции «Техническое обслуживание, мониторинг и диагностика электрооборудования» Четвертой Всерос. науч.-техн. конф. Новосибирск: НГТУ, 2006.

3. Львов М. Силовые трансформаторы на 110 кВ и выше. Будущее определит диагностика // Новости электротехники. 2003. № 6 (24). [Электрон. ресурс]. http://www.news.elteh.ru/arh/2003/24/12.php (дата обращения 17.02.2021).

4. Методы комплексной диагностики и контроля элементов силовых трансформаторов. [Электрон. ресурс]. https://otransformatore.ru/vopros-otvet/diagnostika-transformatora/ (дата обращения 17.02.2021).

Abdullo Majidov, Nurzat Kanybekova
(National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow)

FEATURES OF THE MATHEMATICAL EQUATIONS OF ASYNCHRONOUS MOTORS IN THE TRANSIENT PROCESS

The paper discusses the basic equations of an asynchronous motors in a transient process. In this case, transient processes in an asynchronous motor are defined as electromagnetic inertia, windings of asynchronous motor and mechanical inertia of the moving elements of asynchronous motors in a working machine. Physical phenomena that occur in an asynchronous motor during a transient process are generally characterized by great complexity. Their mathematical description leads to nonlinear differential equations, the solutions of which are very difficult. The reason is that all equation systems in an asynchronous motor are non-linear, since they always contain elements with non-linear characteristics. The relationship between magnetic flux and current is non-linear, due to magnetic saturation of the core, clearances in gears are non-linear elements. However, in many research problems and calculations, transient processes in an asynchronous motor can be neglected by a number of nonlinearities and the system can be brought to a linear one, in which such parameters as the inductance of the circuits and the moment of inertia remain constant. In the course of the study, transient processes described by linear differential equations with constant coefficients and mathematical theories were considered.

Electromagnetic transient processes (TP) in an asynchronous motor (AM) are a mechanical energy converter with some magnetically coupled stator and rotor windings, while the position of the rotor changes. As a result, the TP of the AM in the stator and rotor windings change according to complex time dependences, and the determined electromagnetic moment has an oscillatory character and has a complexity of the function. The AM in the TP can change the torque several times in the static mode, since the input current of the stator and rotor can significantly exceed the value calculated by the formula for the static mode. The magnetic field generated by the transient current can enhance or weaken the main field created by the forced component current, thereby causing a weakening of the electromagnetic moment.

The type of AM characteristic is determined by the parameter of its windings, the moment of load and inertia of the AM, and the nature of the electromagnetic AM depends on the type of TP (start, reverse, braking) and on the initial period of the magnetic field [1-5].

The basic equation describes the mechanical PP in the IM, in which the IM torque and the actuator are a nonlinear function of the speed (slip). TP in AM describes a system of differential equations, which are nonlinear in nature and contain periodic coefficients (1-2). Such a description of TP in AM is given by the Park–Gorev system of equations. At the same time, it is necessary to take into account some factors that are insignificant in the case of TP in generators, the absence of an excitation winding and the complete symmetry of the rotor (magnetic and electrical). Thanks to this equation, the TP in the AM recorded both in a coordinate system $d\ u\ q$, rigidly connected to the rotor and rotating at a constant speed does not contain variable coefficients [1-5].

The Park–Gorev equation for AM must be written in a coordinate system rotating at a constant speed, which corresponds to the frequency in the set operating mode, that is, in the coordinate system in which the TP equations are usually written in the network elements of a complex electric power system (3–5). This allows you to combine the equations for AM and network elements into the system without introducing additional equations of the transformed coordinates. With the directions of the axes which gives a positive result for transients that look like this [1-5]:

1. in stator circuits

$$-d\psi_{cd} / dt - \omega_0 \cdot \psi_{cq} - r_1 \cdot i_{cd} = u_d \quad (1)$$

$$\omega_0 \cdot \psi_{cd} - d\psi_{cq} / dt - r_1 \cdot i_{cq} = u_q \quad (2)$$

2. in rotor circuits

$$-d\psi_{pd} / dt - (\omega_0 - \omega) \cdot \psi_{pq} - r_2 \cdot i_{pd} = 0 \quad (3)$$

$$(\omega_0 - \omega) \cdot \psi_{pd} - d\psi_{pq} / dt - r_2 \cdot i_{pq} = 0 \quad (4)$$

3. rotor motion equation

$$\frac{T_j}{\omega_0} \cdot \frac{d\omega}{dt} = \omega_0 \cdot (\psi_{pd} \cdot i_{pq} - \psi_{pq} \cdot i_{pd} - M_{mechanism}) \quad (5)$$

where ψ_{cd}, ψ_{cq}, ψ_{pd}, ψ_{pq} – flux linkage of windings along the axes d and q stator and rotor; i_{cd}, i_{cq}, i_{pd}, i_{pq} – currents in these windings; u_d, u_q – voltage at the terminals of the stator windings; r_1, r_2 – active resistances of stator and rotor windings; ω –angular speed of rotation of the rotor; T_j – constant inertia of the rotor together with the rotating mechanism; $M_{mechanism}$ – moment of resistance of the mechanism.

The coupling flux of the AM windings is determined by the formulas:

$$\psi_{cd} = L_c \cdot i_{cd} + M \cdot i_{pd} \;\; u \;\; \psi_{cq} = L_c \cdot i_{cq} + M \cdot i_{pq}$$
$$\psi_{pd} = L_p \cdot i_{pd} + M \cdot i_{cd} \;\; u \;\; \psi_{pq} = L_p \cdot i_{pq} + M \cdot i_{cq} \quad (6)$$

where L_c, L_p – inductances of stator and rotor windings, M – mutual inductance between these windings (the same along both axes, that is, the symmetry of the stator and rotor).

Similar equations for a synchronous generator, we write equations (1–5) in a more convenient form, the transition from flux linkages in Electromotive Force and from inductive and mutually inductive to inductive resistance. To do this, we introduce:

1. resistance to mutual induction (magnetization):

$$x_\mu = \omega_0 \cdot M \quad (7)$$

2. stator winding leakage resistance:

$$x_1 = \omega_0 \cdot L_c - x_\mu \quad (8)$$

3. rotor winding leakage resistance:

$$x_2 = \omega_0 \cdot L_p - x_\mu \tag{9}$$

4. Electromotive Force along the axes d and q, accordingly:

$$\mathrm{E'_d} = -\omega_0 \cdot \psi_{cq} + x' \cdot i_{cq} \tag{10}$$

$$\mathrm{E'}_q = \omega_0 \cdot \psi_{cd} - x' \cdot i_{cd} \tag{11}$$

where

$$x' = x_1 + \frac{x_2 \cdot x_\mu}{(x_2 + x_\mu)} \tag{12}$$

Replacing in equations (1–5) flux linkage by Electromotive Force, we obtain after transformations the following system of equations describing transient processes in AM [1-5]:

$$-\frac{1}{\omega_0} \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\mathrm{E'}_q + x' \cdot i_{cd}) + (\mathrm{E'}_d - x' \cdot i_{cq}) - r_1 \cdot i_{cd} = u_d \tag{13}$$

$$(\mathrm{E'}_q + x' \cdot i_{cd}) + \frac{1}{\omega_0} \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\mathrm{E'}_d - x' \cdot i_{cq}) - r_1 \cdot i_{cq} = u_q \tag{14}$$

$$-T \cdot \frac{d\,\mathrm{E'}_q}{dt} + (\omega_0 - \omega) \cdot \mathrm{T} \cdot \mathrm{E'}_q - \mathrm{E'}_q + x \cdot i_{cd} = 0 \tag{15}$$

$$(\omega_0 - \omega) \cdot \mathrm{T} \cdot \mathrm{E'}_q + T \cdot \frac{d\,\mathrm{E'}_d}{dt} + \mathrm{E'}_d + x \cdot i_{cq} = 0 \tag{16}$$

$$\frac{T_j}{\omega_0} \cdot \frac{d\omega}{dt} = -(\mathrm{E'}_q \cdot i_{cq} + \mathrm{E'}_d \cdot i_{cd}) - \omega_0 \cdot M_{mechanism} \tag{17}$$

there

$$T = \frac{(x_2 + x_\mu)}{\omega_0 \cdot r_2} \quad u \quad x = \frac{x^2{}_\mu}{(x_2 + x_\mu)} \tag{18}$$

The resulting system of 5-and differential equations (13–17) contains 7 unknowns ($\mathrm{E'}_d, \mathrm{E'}_q, i_{cd}, i_{cq}, \omega, u_d, u_q$), two of which ($u_d$ and u_q) must be determined from the operating conditions AM in the system. Equations (15–17) are nonlinear (contain products of variables and, moreover, $M_{mechanism}$ may be a non-linear function ω) and therefore the system of equations (13–17) can be solved only by methods of numerical integration.

The steady-state mode of the AM operation is described by the equations obtained from the considered system at $d/dt = 0$:

$$\mathrm{E'}_d - x' \cdot i_{cq} - r_1 \cdot i_{cd} = u_d \tag{19}$$

$$\mathrm{E'}_q + x' \cdot i_{cd} - r_1 \cdot i_{cq} = u_q \tag{20}$$

$$(\omega_0 - \omega) \cdot \mathrm{T} \cdot \mathrm{E'}_d - \mathrm{E'}_q + x \cdot i_{cd} = 0 \tag{21}$$

$$(\omega_0 - \omega) \cdot \mathrm{T} \cdot \mathrm{E'}_q + \mathrm{E'}_d + x \cdot i_{cq} = 0 \tag{22}$$

$$-(\mathrm{E'}_q \cdot i_{cq} + \mathrm{E'}_d \cdot i_{cd}) = \omega_0 \cdot M_{mechanism} \tag{23}$$

When calculating electromechanical TP in the electric power system, electromagnetic TP in the windings of the AM is often neglected. In this case, the TP in the

AM are determined only by the change in its rotation speed, and therefore the system of equations consists of algebraic equations (19–22) and differential equation (23). These algebraic equations can be transformed into electrical circuit equations as follows:

1. multiplying (19) by j and adding with (20), we obtain:

$$(\mathrm{E}'_q + j\mathrm{E}'_d) - (r_1 + jx')\cdot(i_{cq} + ji_{cd}) = u_q + ju_d \tag{24}$$

or

$$\vec{\mathrm{E}}' - (r_1 + jx')\cdot \vec{I}_c = \vec{U} \tag{25}$$

2. transforming equations (21) and (22) in a similar way, we find:

$$\bar{\mathrm{E}}'\ 1 + j(\omega_0 - \omega)\cdot \mathrm{T}\ + jx\cdot \vec{I}_c = 0 \tag{26}$$

3. substituting E' from (26) to (25), we obtain after transformations:

$$\bar{U} = -\vec{I}_c \cdot \left[(\mathrm{r}_1 + jx_1) + \frac{jx_\mu \cdot (\mathrm{r}_2/\mathrm{s} + jx_2)}{\mathrm{r}_2/\mathrm{s} + j(x_2 + x_\mu)} \right] \tag{27}$$

where $\mathrm{s} = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$ – slip of the IM rotor relative to the stator field rotating at a speed ω_0. From (26) it follows that in steady-state modes, the AM can be represented by an equivalent circuit in the form of an electric circuit (Fig. 1) [1-5].

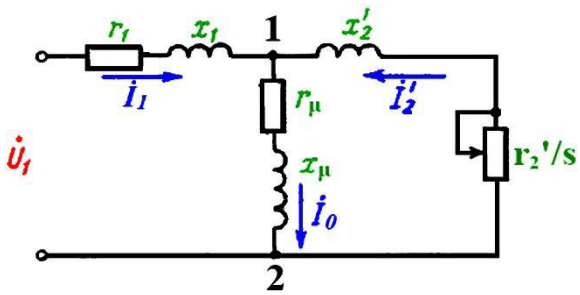


Figure: 1. Complete equivalent circuit AM

If the determination of changes in the currents and Electromotive Force of the AM in the TP is not a research task, then these variables can be excluded from (17) using equations (19–22) and as a result, the TP in the AM will be described by a single differential equation - the equation of the rotor motion:

$$\begin{aligned} \frac{T_j}{\omega_0}\cdot\frac{d\omega}{dt} &= \omega_0\cdot(M_{electromagnetic} - M_{mex}) \\ T_j\cdot\frac{ds}{dt} &= \omega_0\cdot(M_{mex} - M_{electromagnetic}) \end{aligned} \tag{28}$$

where $M_{electromagnetic}$ –electromagnetic torque AM

Solving equations (19–22) for E'_d, E'_q, i_{cd}, i_{cq} and substituting the found expressions into the right-hand side of (17), we obtain after transformations:

$$M_{electromagnetic} = \frac{U^2}{\omega_0}\cdot\frac{r_2\cdot s}{\left[(x_1 + x_2\cdot c_1)\cdot \mathrm{s} - \mathrm{r}_1\cdot \mathrm{r}_2/x_\mu\right]^2 + \mathrm{r}_2\cdot c_1 + \mathrm{r}_1\cdot c_2\cdot s^{\ 2}} \tag{29}$$

where $c_1 = 1 + x_1/x_\mu$, $c_2 = 1 + x_2/x_\mu$; $U = \sqrt{u^2{}_d + u^2{}_q}$ – voltage at the stator terminals of the AM.

Note that this is an expression for $M_{electromagnetic}$ can be obtained from considering the equivalent circuit (Fig. 1), based on the ratio:

$$\omega_0 \cdot M_{electromagnetic} = I_p^{\,2} \cdot r_2 / s \tag{30}$$

In practical calculations, the active resistance of the stator winding is often neglected r_1 due to its smallness, that is, the expression for the electromagnetic moment is greatly simplified, takes the following form:

$$M_{electromagnetic} = \frac{U^2}{\omega_0} \cdot \frac{r_2 \cdot s}{(x_1 + x_2 \cdot c_1)^2 \cdot s^2 + c_1^{\,2} \cdot r_2^{\,2}} \tag{31}$$

Specifications $M_{electromagnetic} = f(s)$ occurs when the slip is equal to the critical:

$$s_{кр} = c_1 \cdot r_2 / (x_1 + x_2 \cdot c_1) \tag{32}$$

and is determined by the expression:

$$M_{эл.\max} = \frac{U^2}{\omega_0} \cdot \frac{1}{2 \cdot c_1 \cdot (x_1 + x_2 \cdot c_1)} \tag{33}$$

In approximate calculations of electromechanical TP in electric power systems, a simplified AM equivalent circuit is also used (Fig. 2), in which the magnetization branch is placed on the stator winding terminals, and the leakage resistances are combined [1-5].

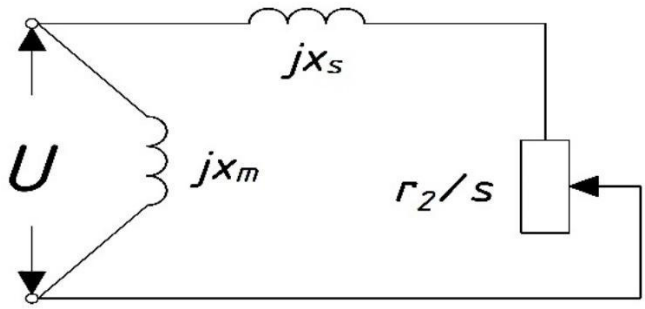


Figure: 2. Simplified equivalent circuit AM

$$x_s = x_1 + x_2 \text{, then } s_{кр} = r_2 / x_s \tag{34}$$

$$M_{electromagnetic\ \max} = \frac{U^2}{\omega_0} \cdot \frac{1}{2 \cdot x_s} \tag{35}$$

The equations of electrical equilibrium describing the electromagnetic PP in the AM with a squirrel-cage rotor are known in various forms of writing. Selecting a coordinate system rotating with frequency ω_k, depends on the problem under consideration: with asymmetry of the stator, the coordinates α, β stator, that is $\omega_k = 0$; with asymmetry of the rotor – coordinates d, q rotor, that is $\omega_k = \omega_r$.

From the above analysis in this work, it became clear that for AM in the Park-Gorev system of equations, electromagnetic TP. However, the dependence of the rotor parameters on the frequency of currents in the AM, the model, which contains one rotor office in each axis with constant parameters, leads to significant changes in the calculation TP for large changes in slip. For a more accurate determination of the electromagnetic TP in the AM, it is necessary to provide the rotor with several circuits in each axis.

References

1. Majidov Abdullo, Sultanalieva Guliza, Sultanalieva Eliza. Accounting for An Asynchronous Motor with Constant Slip in Case of a Sudden Three-Phase Short Circuit. Proceedings of the Internat. Scientific and Practical Conf.: "Actual Problems of Modern Science: The View of Young Scientists". Grozny, 2020, Pp. 651-657

2. Venikov V.A. Transient electromechanical processes in electric power systems. M.: Higher school, 1978, 414 p.

3. Majidov Abdullo. Features of Calculation of Short Circuit Currents in The System of Own Needs of Power Stations. Proceedings of the International Scientific and Practical Conf.: "Actual Problems of Modern Science: The View of Young Scientists". Grozny, 2020, Pp. 646-651

4. Gurevich Yu.E., Libova L.E., Khachatryan E.A. Load stability of electrical systems. M.: Ener-dat, 1981, 208 p.

5. Madzhidov A.Sh. Analysis of Short Circuit Current Calculation in Auxiliary Means of Thermal Power Plants Using ETAP Simulation Software. Proceedings of the XVII International Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates: "Information Technologies, Energy and Economy (Electric Power Eng., Electrical Eng. and Heat Power Engineering, Mathematical Modeling and Information Technology Production)". Smolensk, 2020, Pp. 39-44

А.И. Авдеев, студ.; рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ПРОГРАММЕ FEMM

Программа FEMM, основанная на методе конечных элементов, широко используется для расчета двухмерных магнитных полей. Для классических электрических машин, которые имеют практически плоскопараллельное магнитное поле в пределах активной части, использование данной программы для моделирования магнитных полей вполне адекватно. Кроме того, данная программа может быть использована в качестве инструмента на этапе проектирования электрических машин. Встроенный в нее алгоритмический язык программирования LUA позволяет создавать программы (скрипты), которые автоматизируют такие операции, как: создание наглядной картины магнитного поля, расчет токов в пазах, расчет индукции в различных участках магнитопровода, расчет магнитных потокосцеплений, отображение изменения магнитного поля вследствие изменения токов статора.[1]

В статье ставится задача представить результаты создания и отладки скрипта LUA.

Для корректной работы скрипта следует создать геометрическую модель магнитопровода асинхронного электродвигателя (например, в программе КОМПАС 3D). Далее модель импортируется в FEMM. В модели группируются фазные зоны A,B,C,X,Y,Z в группы 2-7 соответственно. Всему ротору вместе со стержнями была присвоена группа 1. Это необходимо для последующего расчёта потокосцеплений и электромагнитного момента через скрипт.

Кроме того, необходимо создать файл с исходными данными, так как скрипт считывает из него начальные данные. Без этого файла скрипт не работает. Также важно понимать, что каждое значение в этом файле должно находиться на определенной строке, так как скрипт считывает данные по строкам. Файл должен содержать следующие данные: угол фазы обмотки статора, угол сдвига ротора относительно статора, фазное значение тока статора, ток ротора, угол поворота магнитного поля, количество витков обмотки статора, количество пазов ротора, количество расчетов в цикле, активное сопротивление обмотки фазы, индуктивное сопротивление лобовой части, частота сети, число пазов на фазу, номинальное скольжение, число пар полюсов.

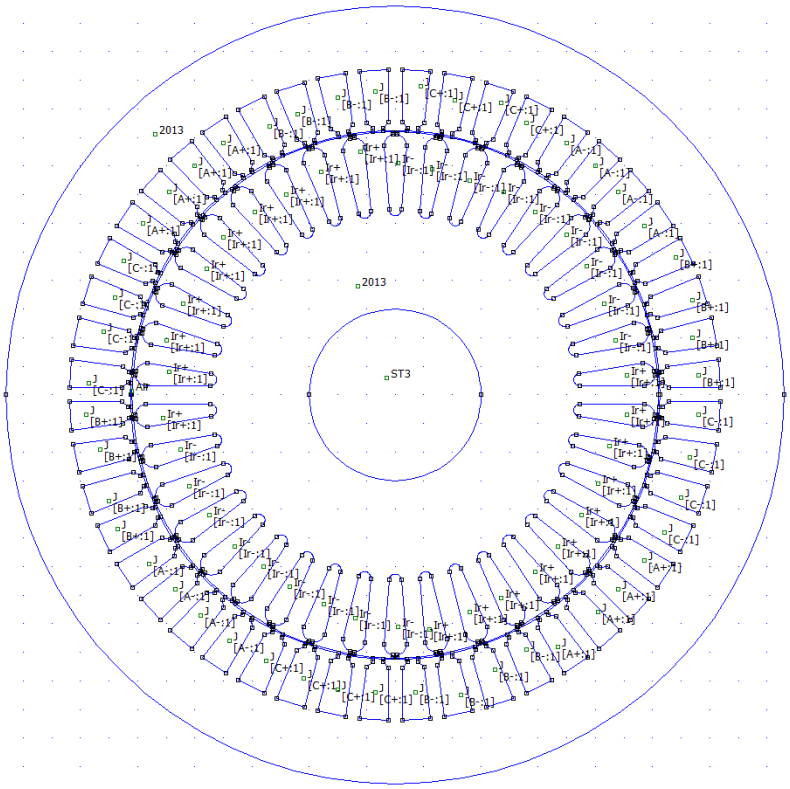


Рисунок 1 – Модель магнитной системы АД в программе FEMM

Алгоритм работы скрипта:

1. Считывание исходных данных из файла.
2. Скрипт автоматически производит расчёт токов и определение его в пазы и затем рассчитывает поле при этих токах и угле фазового сдвига β, резервирует массивы для сохранения расчётных параметров.
3. В цикле, состоящем из k-расчётов, происходит вычисление фазных токов с учётом угла начальной фазы β и угла поворота фазы α относительно оси d. Затем расчётные значения токов присваиваются материалу.
4. Далее скрипт запускает цикл расчёта и загрузку решения на экран.

Производится перебор каждой фазной зоны через цикл для вычисления интеграла векторно-магнитного потенциала и площадей фазных зон. Тут же в цикле по формуле производится расчёт магнитного потокосцепления по формуле: $\psi_i = Ns \cdot \frac{A_i}{S_i}$ [2], где Ns— число последовательных витков в фазе статора (задается в исходных данных); A_i— расчёт векторного магнитного потенциала в фазах статора (им заранее присваиваются определенные группы для удобства расчётов); S_i— площадь выделенного блока пазов фаз;

5. Скрипт суммирует с учётом знаков МПС фазных зон в фазы А, В и С и записывает результаты в массив.
6. По значениям МПС рассчитываются фазные ЭДС/ амплитуды sin и cos составляющих напряжения находятся как среднее арифметическое из всех значений в цикле.

$$Fsin = Fsin + 2 * PsA[i] * \sin(a * p)/k$$

$$Fcos = Fcos + 2 * PsA[i] * cos(a * p)/k$$

Здесь $PsA[i]$ – значение фазной МПС, a – угол поворода МП, p – число полюсов, k – число расчетов в цикле. Выделяется группа ротора (1) и вычисляется электромагнитный момент по средневзвешенном по тензору натяжения

7. Происходит запись в текстовый файл МПС фаз, строится векторное поле. После каждого расчёта производится сохранение картины.

8. Поворот магнитной системы и увеличение угла фаз тока статор α на определенный угол (da=3°), ротор поворачивается на меньший угол (das), который рассчитывается с учетом скольжения $das = da(1 - s)$, где s – номинальное скольжение.

9. По формулам находится действующие ЭДС и напряжение. Для определения фазного напряжения производится расчёт суммарного (за все циклы) ЭДС по формуле: $El = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot f \cdot Fm1$, где f — частота сети (50 Гц);

Fm1 — амплитуда ЭДС (находится в скрипте после всех циклов расчёта);

$U_{sa} = El \cdot \cos(fil) + U_r$; $U_{sr} = El \cdot \sin(fil) + E_v$ —активная и реактивная составляющие напряжения; U_r и E_v — падение напряжений на активном и индуктивном элементах;

fil— фазовый сдвиг El от тока Is; $fis = \mathrm{arctg}\left(\frac{U_{sr}}{U_{sa}}\right)$; [2]

$U_s = \sqrt{U_{sa}^2 + U_{sr}^2}$ — действующее значение фазного напряжения;

10. По углу сдвига тока и напряжения находится коэффициент мощности, а затем и активная мощность.

11. Находится значение электромагнитного момента, по нему по формуле вычисляется электромагнитная мощность. Электромагнитный момент в скрипте находится путем выделения группы ротора и нахождения установившегося момента по средневзвешенному тензору натяжения. Электромагнитная мощность рассчитывается по формуле:

$$P_{эм} = M_{эм} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} \quad [1]$$

12. Запись вычисленных интересующих нас значений (ЭДС фаз, действующее значение напряжения, активная и электромагнитная мощности, электромагнитный момент) в текстовый файл с результатами.

13. Закрытие постпроцессора и конец скрипта.

Текст скрипта LUA:

```
name_prog="AD" -- имя программы
F_dan="f.txt" -- имя файла данных
f_d=openfile(F_dan,"r")-- открытие файла данных
a=read(f_d,"*n","*l")  -- считывание угла
b=read(f_d,"*n","*l")  -- считывание угла
I=read(f_d,"*n","*l")  -- считывание тока статора
If=read(f_d,"*n","*l") -- считывание тока ротора
da=read(f_d,"*n","*l") -- считывание угла повора МП
Ns=read(f_d,"*n","*l") -- считывание числа витков фазы статора
Qr=read(f_d,"*n","*l") -- считывание числа пазов ротора
k=read(f_d,"*n","*l")  -- считывание числа расчётов (поворотов)
Rs=read(f_d,"*n","*l") -- считывание активного сопротивления обмотки фазы
Xv=read(f_d,"*n","*l") -- считывание индуктивного сопротивления лобовой части
fs=read(f_d,"*n","*l") -- считывание частоты сети
q1=read(f_d,"*n","*l") -- считывание числа пазов на фазу
```

```
16  s=read(f_d,"*n","*l")  -- считывание номинального скольжения
17  p=read(f_d,"*n","*l")  -- считывание числа пар полюсов
18  closefile(f_d)         -- закрытие файла данных
19  Ur=Rs*I -- падение напряжения на Rs
20  Ev=Xv*I -- падение напряжения на Xv
21  I=I*Ns/ql -- расчёт тока статора
22  nc=60*fs/p -- расчет синхронной скорости вращения
23  n=nc*(1-s) -- расчет скорости вращения ротора в номинальном режиме
24  das=n*da/nc -- расчет угла поворота ротора с учетом скольжения
25  b=b*(1)
26  writeto("Rezultat_rascheta_AD.txt") --создание текстового файла, куда будут записываться выходные данные
27  Fa={}  Mas={} -- создание массивов для записи МПС фазных обмоток, ЭДС и прочего
28  PsA={} PsB={} PsC={}
29  E1A={} E1B={} E1C={}
30  Fsin=0 Fcos=0 --обнуление накопителей
31  gr=Pi/180   --коэффициент для перевода переменных их градусов в радианы
32  for i=1,k,1 do
33      Im=I*sqrt(2)   --амплитудное значение тока
34      IA=Im*cos(a*p*gr+b*gr)
35      IB=Im*cos(a*p*gr-2*Pi/3+b*gr) -- фазы токов
36      IC=Im*cos(a*p*gr+2*Pi/3+b*gr)
37      mi_modifycircprop("A+",1,IA) -- присвоение токов в пазы статора и ротора
38      mi_modifycircprop("B+",1,IB)
39      mi_modifycircprop("C+",1,IC)
40      mi_modifycircprop("A-",1,-IA)
41      mi_modifycircprop("B-",1,-IB)
42      mi_modifycircprop("C-",1,-IC)
43      mi_modifycircprop("Ir+",1,If)
44      mi_modifycircprop("Ir-",1,-If)
45      mi_analyze(0) -- запуск расчета модели
46      mi_loadsolution() -- загрузка решения
47      for nf=2,7,1 do  -- перебор фазных зон и поиск потокосцеплений
48          mo_groupselectblock(nf) -- разметка блока очередной фазной зоны
49          S=mo_blockintegral(5) -- площадь по всем стержням фазной зоны
50          A=mo_blockintegral(1) -- интеграл ВМП по площади фазной зоны
51          mo_clearblock() -- очистка блока
52          Fa[nf-1]=Ns*A/S -- МПС фазной зоны обмотки
53      end
54      PsA[i]=(Fa[1]-Fa[4]) -- запись суммарного фазного МПС в массив
55      PsB[i]=(Fa[2]-Fa[5])
56      PsC[i]=(Fa[3]-Fa[6])
57      E1A[i]=Pi*sqrt(2)*fs*PsA[i] -- расчёт фазных ЭДС и запись их в массив
58      E1B[i]=Pi*sqrt(2)*fs*PsB[i]
59      E1C[i]=Pi*sqrt(2)*fs*PsC[i]
60      Fsin=Fsin+1.55*PsA[i]*sin(a*p*gr)/k --амплитуды sin и cos составляющих
61      Fcos=Fcos+1.55*PsA[i]*cos(a*p*gr)/k
62      if i<2 then  --разветвление, необходимое для одиночной записи наименований таблицы
63          write("мпс A","     ","мпс B","     ","мпс C","     ","угол da","\n")
64          mo_groupselectblock(1) -- извлечение электромагнитного момента
65          Mas=mo_blockintegral(22) -- расчёт момента по средневзвешенному тензору натяжения
66          mo_clearblock() -- очистка блока
67      else end
68      write(format("%4.3f",PsA[i])) -- запись МПС в текстовый файл
69      write("    ",format("%5.3f",PsB[i]))
70      write("    ",format("%5.3f",PsC[i]))
71      aa=abs(da)*(i-1)
72      write("      ",format("%5.3f",aa),"\n")
73      mo_zoomnatural() -- отцентровка картины поля в натуральную величину
74      mo_showvectorplot(1,0.6) -- построение векторной картины поля (длина вектора 0.6)
75      mo_savebitmap("pole"..i..".png") -- сохранение картинок каждого расчёта в формате jpg
76      a=a+da -- смещение угла фаз для правильного расчёта картин поля
77      mi_selectgroup(1)     --веделение группы ротора
78      mi_moverotate(0,0,das) -- поворот ротора на угол
79      mi_clearselected() -- снятие выделения
80  end -- конец цикла
81  Fm1=sqrt(Fsin^2+Fcos^2) -- амплитуда для нахождения действующей ЭДС
82  gl=atan2(Fsin,Fcos) -- начальная фаза
83  El=Pi*sqrt(2)*fs*Fm1 -- действующее значение фазной ЭДС
84  fil=-(b*gr+Pi/2-gl) -- фазовый сдвиг ЭДС El от тока Is
85  Usa=El*cos(fil)+Ur  Usr=El*sin(fil)+Ev -- активная и реактивная составляющие фазного напряжения
86  Us=sqrt(Usa^2+Usr^2) -- действующее значение фазного напряжения
87  fis=atan(Usr/Usa)       cosfi=cos(fis) -- фазовый сдвиг между Us и Is и коэффициент мощности
88  Pa=3*Us*I*ql/Ns*cosfi -- активная мощность
89  Pmem=Mas*2*Pi*fs/p -- электромагнитная мощность
90  write("\n") -- пропуск строчки для читабельности файла
91  write("эдс фазы A","     ","эдс фазы B","     ","эдс фазы C","     ","угол da","\n"
92  for i=1,k,1 do -- запись фазных эдс в файл
93      write(" ",format("%5.3f",E1A[i]))
94      write("      ",format("%5.3f",E1B[i]))
95      write("      ",format("%5.3f",E1C[i]))
96      write("        ",format("%5.3f",aa),"\n")
97  end
98  write("\n") --запись конечных результатов в текстовый файл
99  write("фазная эдс: ",format("%4.5f",El)," В","\n") write("\n")
100 write("фазное напряжение: ",format("%4.3f",Us)," В","\n") write("\n")
101 write("коэффициент мощности: ",format("%4.3f",cosfi),"\n") write("\n")
102 write("Активная мощность: ",format("%4.3f",Pa)," Вт","\n") write("\n")
103 write("электромагнитный момент: ",format("%4.6f",Mas)," Н*м","\r\n") write("\n")
104 write("электромагнитная мощность: ",format("%4.6f",Pmem)," Вт","\r\n") write("\n")
105 writeto() --закрытие файла
106 mo_close() -- закрытие постпроцессора
```

Рисунок 2 – Текст скрипта LUA

Результатом работы данного скрипта является файл с таблицами МПС и ЭДС фаз. По данным таблицам строятся в программе Excel дискретные зависимости фазных МПС и фазных ЭДС от угла поворота ротора: $\psi_{A,B,C}=f(\alpha)$ и $E_{A,B,C}=f(\alpha)$.

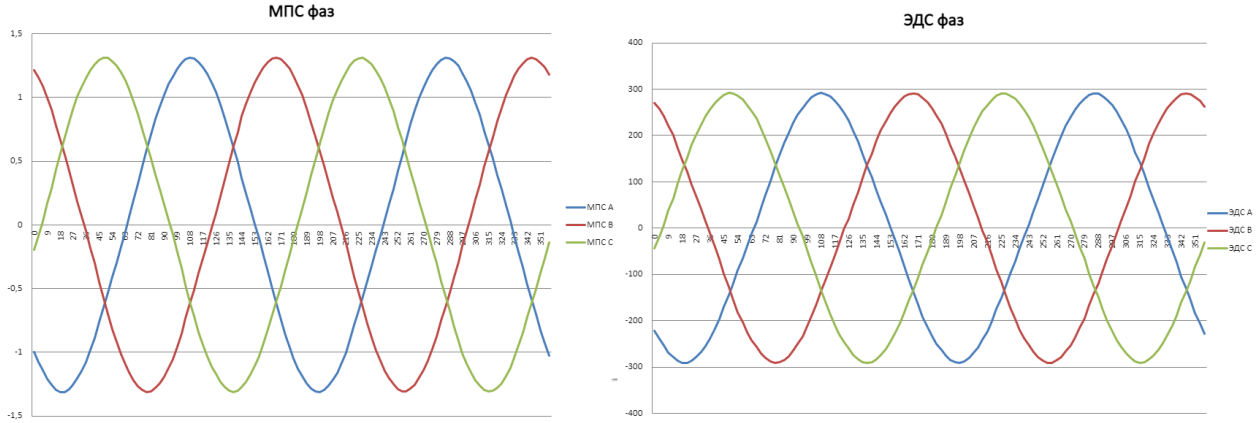


Рисунок 3 - Зависимость $\psi_{A,B,C} = f(\alpha)$, $E_{A,B,C} = f(\alpha)$

Также программа рассчитывает фазную ЭДС, фазное напряжение, коэффициент мощности, активную мощность, электромагнитный момент и электромагнитную мощность. Кроме того на каждом шаге цикла сохраняется картина распределения магнитного поля. В конечном счете имеем k картин поля, что позволяет создать анимацию вращения магнитного поля.

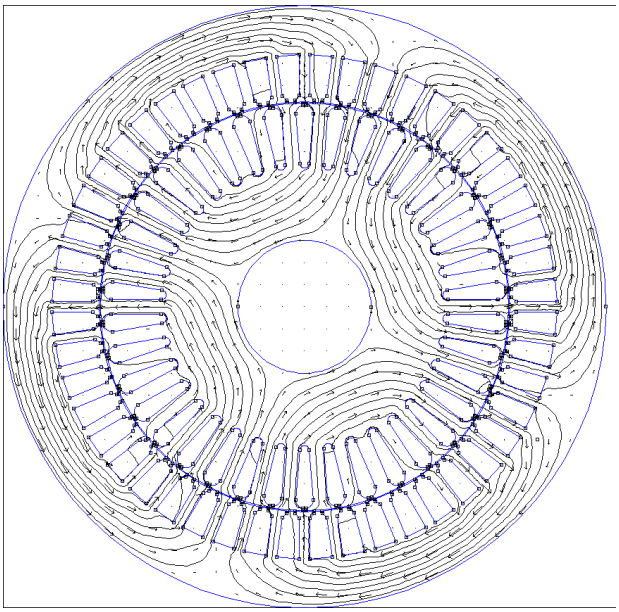


Рисунок 4 – Картина магнитного поля в начальный момент времени (k=0)

Литература

1. В.И. Милых, Л. В. Шилкова Численно-полевой поверочный анализ проектных параметров трехфазных асинхронных двигателей
2. В.И. Милых, Н.В. Полякова Определение электромагнитных параметров и фазовых соотношений в турбогенераторах автоматизированным расчетом магнитного поля в программной среде femm. -2016.-№1. - С. 26-32.
3. В.И. Милых, Н.В. Полякова Автоматизированные расчеты в программной среде FEMM динамики электромагнитных процессов турбогенераторов. -2015.-№6. - С. 24-30.

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

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ УСТАНОВОК

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).

Парожидкостные компрессионные трансформаторы тепла (ПЖКТТ) характеризуются тем, что их работа протекает главным образом в области влажного пара. В качестве рабочего тела (хладагента) в таких системах используются жидкости с низкими температурами кипения. Рабочее тело в таких установках может находиться в двух агрегатных состояниях – пара и жидкости, что позволяет приблизиться к циклу Карно наиболее простым методом.

На рис. 1 показана схема и процесс работы одноступенчатого ПЖКТТ с охладителем на T-s-диаграмме.

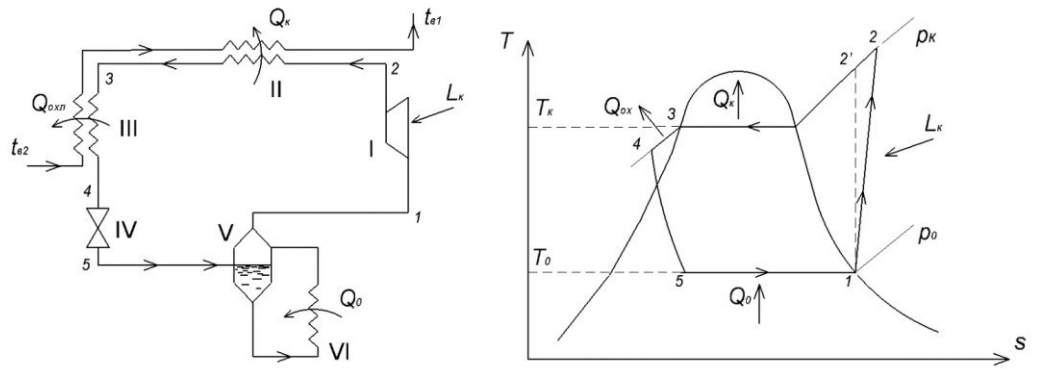


Рис. 1. Схема одноступенчатой ПЖКТТ с охладителем и ее цикл на T-s-диаграмме.
I – компрессор; II – конденсатор; III – охладитель; IV – дроссельный вентиль; V – сепаратор; VI – испаритель.

Установка работает следующим образом. В испарителе IV к хладагенту на температурном уровне T_0 подводится количество теплоты Q_0, полученное от теплоотдатчика (процесс 5-1). В результате подведенного тепла хладагент испаряется и в точке 1 имеем сухой насыщенный пар, который поступает в компрессор I.

В компрессоре рабочее хладагент сжимается за счет внешней работы $L_к$, его давление повышается с p_0 до $p_к$, а температура – с t_0 до t_2. Процесс 1-2′ – изоэнтропное сжатие в компрессоре (идеальный процесс). Реальный процесс сжатия заканчивается в точке 2 и не совпадает с идеальным, который заканчивается в точке 2′. Это обусловлено наличием внутренних потерь на трение и теплообменом с окружающей средой при сжатии рабочего агента в компрессоре [1].

После компрессора хладагент в состоянии 2 поступает в конденсатор II, где от него теплоприемнику отводится количество теплоты $Q_к$. В результате этого рабочий агент охлаждается и конденсируется и в точке 3 имеем кипящую жидкость (процесс 2-3). Далее хладагент направляется в охладитель V, где от него отводится количество тепла $Q_{охл}$, а его температура уменьшается от t_3 до t_4 (процесс 3-4). После этого рабочее тело поступает в дроссельный вентиль III, где происходит его расширение, в результате чего давление хладагента понижается с $p_к$ до p_0, а температура – с t_4 до t_5 (процесс 4-5). Затем влажный пар хладагента поступает в сепаратор V, где происходит отделение жидкости от сухого пара, и цикл замыкается.

В большинстве случаев для повышения эффективности работы трансформаторов тепла применяют регенеративный теплообмен, который заключается в установке теплообменного аппарата между потоком жидкого рабочего агента, идущего из конденсатора в дроссель, и потоком пара, идущего из испарителя в компрессор.

Схема и процесс работы одноступенчатой ПЖКТТ с регенерацией представлены на рис. 2.

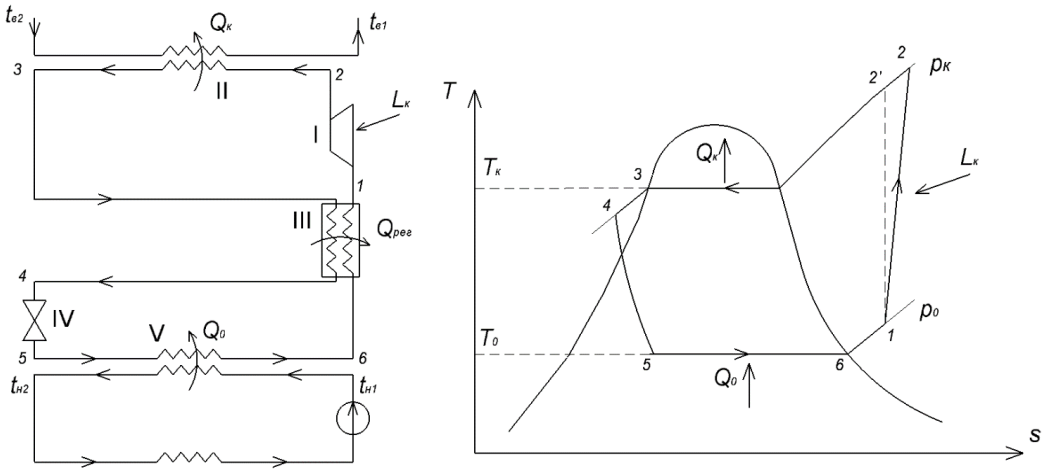


Рис. 2. Схема одноступенчатой ПЖКТТ с регенерацией и ее цикл на T-s-диаграмме.
I – компрессор; II – конденсатор; III – регенеративный теплообменник; IV – дроссельный вентиль; V – испаритель.

Для осуществления комбинированного цикла может быть оправдана замена регенеративного теплообменника на охладитель. В этом случае теплоприемником будет полезно использовано количество теплоты $q_{ох}$, равное перепаду энтальпий кипящего и охлажденного жидкого хладагента, а холодопроизводительность q_0 практически не изменится. Таким образом, увеличение тепловой нагрузки потребителя тепла за счет применения охладителя повысят энергоэффективность комбинированного цикла.

Одноступенчатые ПЖКТТ применяются при степенях повышения давления $p_к/p_0 = 7 \div 12$. При более высоких отношениях $p_к/p_0$ используются двух- и многоступенчатые установки.

На рис. 3. представлены схема и процесс работы на T-s-диаграмме двухступенчатой ПЖКТТ.

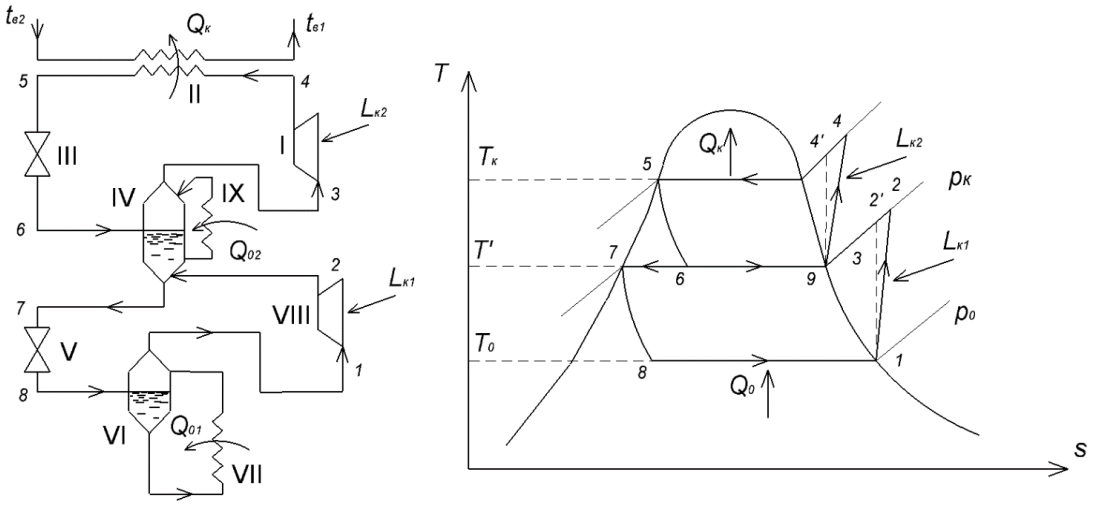


Рис. 3. Схема двухступенчатой ПЖКТТ и ее цикл на T-s-диаграмме.

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.

Одной из основных особенностей данной установки является возможность выработки в одной системе холода двух разных температурных уровней T_{01} и T_{02}. Кроме этого, данная схема имеет более высокие термодинамические показатели холодильного цикла по сравнению с одноступенчатой, задачей которой является выработка холода на температурном уровне T_{01}.

В многоступенчатых установках уменьшаются потери от дросселирования. Применение промежуточного сосуда позволяет отсепарировать пар и провести повторное дросселирование по линии 3-4, что повышает холодопроизводительность установки [1].

Однако применение двухступенчатого сжатия в комбинированном цикле только с целью увеличения холодопроизводительности может быть нецелесообразно. Недостатком такой схемы по сравнению с одноступенчатой является уменьшение тепловой нагрузки на конденсатор за счет понижения конечной температуры перегретого пара на выходе из компрессора.

Для осуществления двухступенчатого комбинированного цикла может быть рассмотрен вариант схемы без промежуточного испарителя (с неполным промежуточным охлаждением) и с охладителем.

Основное отличие данной схемы от предыдущей заключается в отсутствии испарителя второй ступени. Промежуточный сосуд в такой схеме выполняет одновременно функции отделителя жидкости (сепаратора), смесителя и теплообменника (рис. 4).

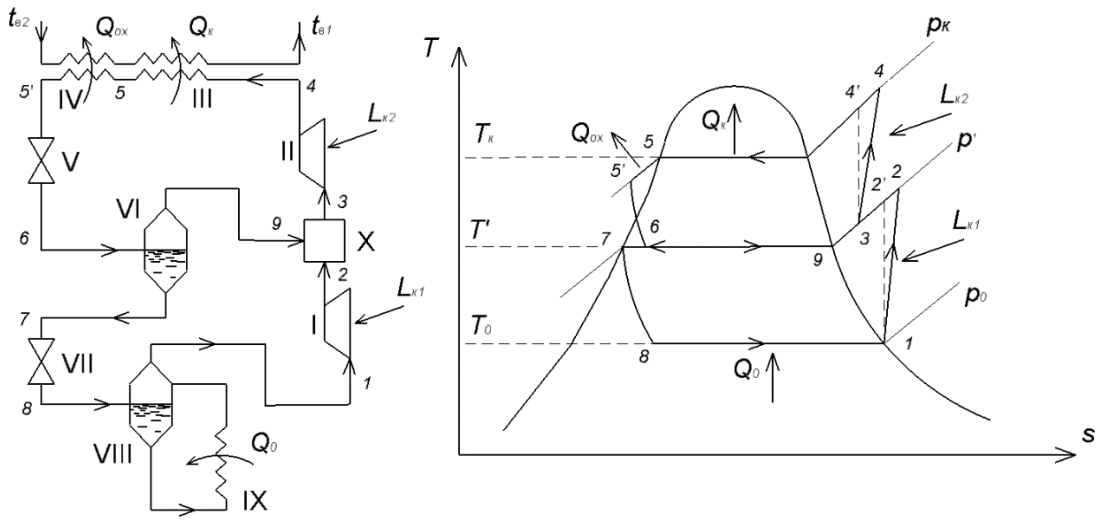


Рис. 4. Схема двухступенчатой ПЖКТТ с охладителем и ее цикл на T-s-диаграмме. I, II – компрессоры нижней и верхней ступени; III – конденсатор; IV – охладитель; V, VII – дроссельный вентиль верхней и нижней ступени; VI – промежуточный сосуд; VIII – сепаратор; IX – испаритель; X – камера смешения.

В данной схеме так же применен охладитель конденсата хладагента IV. Таким образом повышается энергоэффективность комбинированного цикла путем увеличения тепловой нагрузки потребителя.

Такое конструктивное решение позволяет без применения дополнительного испарителя одновременно охладить пар перед сжатием в компрессоре верхней ступени II и повысить холодопроизводительность установки за счет повторного дросселирования хладагента.

Эффективность работы трансформатора тепла можно оценить его эксергетическим КПД – отношением действительно совершенной работы к ее максимально возможному значению. Для рассматриваемой установки эксергетический КПД будет равен:

$$\eta_e = \frac{\eta}{\eta_к}. \qquad (1)$$

Коэффициент эффективности комбинированной установки будет равен:

$$\eta = \frac{Q_{пол}}{L} = \frac{Q_0 + Q_т}{Gl_к}, \qquad (2)$$

где $Q_т$ – теплопроизводительность установки, кВт;
Q_0 – холодопроизводительность установки, кВт;
G – расход рабочего агента, кг/с;
$l_к$ – удельная работа компрессора, кДж/кг.

Расчет цикла комбинированных установок был произведен для исходных данных, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Q_0, кВ	$t_{н1}$,°	$t_{н2}$,°	$t_{в1}$,°	$t_{в2}$,°	t_0,°	$t_к$,°	$\Delta t_р$,°	η_i	$\eta_{эм}$
200	-10	-16	35	75	-20	80	20	0,	0,

В качестве хладагента для проведения расчетов был выбран природный хладагент R600a (изобутан). Этот хладагент обладает высокой критической температурой $t_{кр}$ и относительно низким критическим давлением $p_{кр}$ и является наиболее подходящим для осуществления комбинированных циклов [2].

Результаты расчета комбинированных установок представлены на рис. 5.

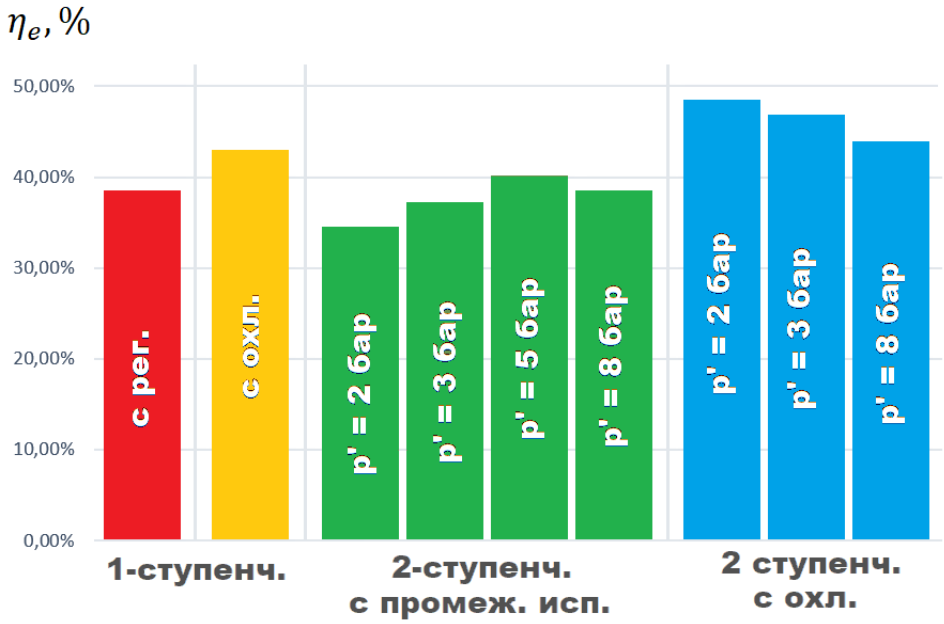


Рис. 5. Результаты расчета комбинированных установок на хладагенте R600a

Наибольшие значения эксергетического КПД были получены в комбинированном цикле с охладителем и без промежуточного испарителя. Были рассмотрены следующие варианты промежуточных давлений: 2, 3, 5 бар.

С понижением промежуточного давления увеличивается эксергетический КПД комбинированной установки, работающий по данной схеме. Максимальное значение КПД было получены при давлении p', равном 2 бар (48,5%). Холодильный коэффициент такого цикла составляет 1,486-1,774, коэффициент трансформации тепла – 2,385-2,460.

Литература

1. Дячек П.И. Холодильные машины и установки. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 424 с.

2. Калнинь И.М., Малафеев И.И. Проблема выбора рабочего вещества для применения в высокотемпературных тепловых насосах // Холодильная техника. 2014. №12. С. 21-24.

3. Coolselector2 calculation & selection software [Электронный ресурс] – URL: https://www.danfoss.com/en/service-and-support/downloads/dcs/coolselector-2/ (дата обращения: 05.03.2021).

Е.В. Безфамильная, студ., О.В. Ульянова студ., В.А. Кильяченко студ.;
рук. И.А. Кабанова, к.т.н., доц.,
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЕПЛА В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

В Российской Федерации на 2019 год фактическое потребление электроэнергии составило 1075,2 млрд кВт·ч и осталось практически на уровне 2018 года [1]. Несмотря на то, что повышения потребления не наблюдается, разработка систем энергосбережения остается актуальным вопрос как в РФ, так и в мире. На сегодняшний день меры по энергосбережению внедряют в различных сферах. Разрабатываются новые системы, потребляющие меньшее количество энергии, либо системы, позволяющие уменьшить потребление существующих.

В Российской Федерации за счет ее географического расположения большое количество энергии необходимо для систем, создающих и поддерживающих оптимальные параметры в местах пребывания людей (временного или постоянного). В качестве одной из таких систем в общественных зданиях применяют системы кондиционирования воздуха (СКВ), потребляющие ежегодно более 20 млрд кВт·ч электроэнергии.

Существует много различных мер по энергосбережению при использовании СКВ: рециркуляция, рекуперация, тепловые насосы, холодильные машины, прерывистый режим работы и комбинированные системы [2]. Одним из самых распространенных способов является применения в СКВ схем с использованием рекуперации или рециркуляции. Данные схемы отличаются от прямоточной тем, что используют тепло удаляемого воздуха. Но использование данных мер по энергосбережению может ограничивать назначение зданий и сооружений: обеспечение минимального притока свежего воздуха, либо невозможность применения данных схем из-за содержащихся в удаляемом воздухе вредных веществ.

Несмотря на ограничения, в СКВ применение схем с использованием рекуперации и рециркуляции позволяет сократить потребление энергии на первичный и вторичный подогрев и охлаждение в оросительной камере по сравнению с прямоточной схемой. При комбинировании схем с применением рециркуляции и трансформатора тепла появляется возможность полностью или частично заменить калориферы в схеме подготовки воздуха.

В рамках исследования была поставлена задача оценки эффективности применения мероприятий по энергосбережению: совместное использование рециркуляции и трансформатора тепла, в схемах тепло-влажностной обработки воздуха работы СКВ и оценка целесообразности применения трансформатора тепла в зависимости от параметров наружного воздуха.

В рамках исследования были рассмотрены две схемы: с применением трансформатора тепла для теплого периода и с совместным применением рециркуляции и трансформатора тепла для холодного.

Для теплого периода года рассмотрена схема с применением парожидкостного трансформатора тепла до и после оросительной камеры. При использовании данной схемы наружный воздух забирается приточным блоком из окружающей среды и направляется в элемент трансформатора тепла первой ступени: испаритель, где наружный воздух охлаждается. Затем охлажденный воздух подается в оросительную камеру, где происходит процесс охлаждения и увлажнения воздуха. Далее воздух поступает в элемент трансформатора тепла второй ступени: конденсатор, где происходит процесс нагрева до параметров приточного воздуха (при необходимости в схему добавляется теплообменник до или после трансформатора для обеспечения пиковых нагрузок или для постоянной совместной работы). Приточный воздух поступает в помещение и удаляется из него с помощью вытяжного блока. Энергосбережение в данной схеме обеспечивается за счет уменьшения температурного напора, который должна обеспечить оросительная камера, а также за счет полной или частичной замены теплообменника.

Для холодного периода рассмотрена схема с совместным применением рециркуляции и парожидкостного трансформатора тепла. При использовании данной схемы наружный воздух забирается приточным блоком из окружающей среды и направляется в элемент трансформатора тепла первой ступени: конденсатор, где происходит процесс первичного нагрева наружного воздуха (при необходимости в схему добавляется теплообменник до или после трансформатора для обеспечения пиковых нагрузок или для постоянной совместной работы). После трансформатора тепла первой ступени подогретый воздух подается в рециркуляционную камеру для смешения с удаляемым из помещения воздухом. Затем воздушная смесь поступает в оросительную камеру, где происходит процесс охлаждения и увлажнения воздуха. Далее охлажденный воздух поступает в элемент трансформатора тепла второй ступени: конденсатор, где происходит процесс вторичного нагрева до параметров приточного воздуха (при необходимости в схему добавляется теплообменник до или после трансформатора для обеспечения пиковых нагрузок или для постоянной совместной работы). Приточный воздух поступает в помещение и удаляется из него с помощью вытяжного блока. Энергосбережение в данной схеме обеспечивается за счет уменьшения температурного напора, который должна обеспечить оросительная камера, а также за счет полной или частичной замены теплообменников первичного и вторичного подогрева.

Данные схемы СКВ используются совместно с основным источником тепла – системой отопления в холодный период года для удаления из помещения теплоизбытков, обеспечения комфортного микроклимата: увлажнение, осушение, подогрев и охлаждение воздуха (зависит от периода года и схем подготовки воздуха).

В рамках работы был проведен анализ работы СКВ с определением потребляемого количества энергии для различных схем: прямоточной, с применением трансформатора тепла (для теплого периода) или с совместным применением рециркуляции и трансформатора тепла (для холодного периода). Так же

была рассмотрена эффективность применения схем с точки зрения энергосбережения в зависимости от параметров наружного воздуха. За объект исследования принято общественное здание объемом $V = 2400 м^3$ с постоянным нахождением людей $n = 400$ чел. Требуемый воздухообмен для заданного помещения составил $G = 41000$ кг/ч [4] для параметров внутреннего воздуха: температура $t_в = 20°C$, влажность
$\varphi = 60\%$ [3]. Расчеты проводились для параметров наружного воздуха: температура $t_н^т = 23°C$, $t_н^х = -52°C$влажность $\varphi_н^т = 44\%$, $\varphi_н^х = 72\%$.

По данным, полученным при построении процессов подготовки воздуха на i-d диаграмме для теплого периода, для выбранных схем: прямоточная и с применением трансформатора тепла, было рассчитано их энергопотребление. Для схемы с использованием трансформатора тепла в качестве рабочего агента был выбран R134a [5]. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета для теплого периода

Схема:	$Q_Х$, кВт	$Q_Т$, кВт	Q, кВт	$Q_{эк}$	
				кВт	%
прямоточная	129,94	72,95	202,88	0	0
с применением трансформатора тепла на рабочем агенте R134a	65,17	12,89	78,06	124,82	61,52

где $Q_Х$, кВт – количество энергии, потребляемое на выработку холода;

$Q_Т$, кВт – количество энергии, потребляемое на выработку тепла;

Q, кВт – суммарное количество энергии, потребляемое на подготовку воздуха;

$Q_{эк}$, кВт/% – количество (или процент) энергии, сэкономленное за счет применения схем подготовки воздуха для увеличения энергоэффективности.

По результатам расчетов можно отметить, что применение трансформаторов тепла в схемах подготовки воздуха в теплый период года дает большой процент экономии – 61,52%, значит применение тепловых насосов и холодильных машин как мероприятий по энергосбережению является целесообразным.

По данным, полученным при построении процессов подготовки воздуха на i-d диаграмме ля холодного периода, для выбранных схем: прямоточная и с совместным применением рециркуляции и трансформатора тепла, было рассчитано их энергопотребление. Для схемы с использованием трансформатора тепла в качестве рабочего агента был выбран R134a. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

По результатам расчетов можно отметить, что применение трансформаторов тепла совместно с рециркуляцией в схемах подготовки воздуха в холодный период дает большой процент экономии – 90,44%, но не

Таблица 2 – Результаты расчета для холодного периода

Схема:	Q_X, кВт	Q_T, кВт	Q, кВт	$Q_{эк}$	
				кВт	%
прямоточная	227,96	1025,82	1253,78	0	0
с применением рециркуляции и трансформатора тепла на рабочем агенте R134a	43,31	76,61	119,92	1133,86	90,44

позволяет полностью заменить калорифер. Для покрытия нагрузки дополнительно к трансформатору тепла первой ступени необходимо включать в схему теплообменник. Значит применение тепловых насосов совместно с рециркуляцией в системах СКВ в холодный период года является целесообразной мерой по увеличению энергоэффективности.

В практике выбор оценка эффективности схемы также зависит от параметров наружного воздуха: на сколько эффективна будет выбранная схема на протяжении всего года. Для схем с применением трансформатора тепла данный вопрос заключается в том, до каких температур трансформатор тепла сможет полностью заменить теплообменник.

Как показали исследования для холодного периода года, представленные в виде диаграммы на рисунке 1, при температурах наружного воздуха ниже -30°С применение только трансформатора тепла на рабочем агенте R134a в схемах подготовки воздуха с комбинированием рециркуляции и трансформатора в СКВ становится невозможным и в схему необходимо включать дополнительно теплообменник до или после трансформатора первой ступени. При температурах наружного воздуха -30°С и выше трансформатор тепла (на аналогичном рабочем агенте) покрывает 100% тепловой нагрузки в схеме с совместным применением рециркуляции и трансформатора тепла в СКВ.

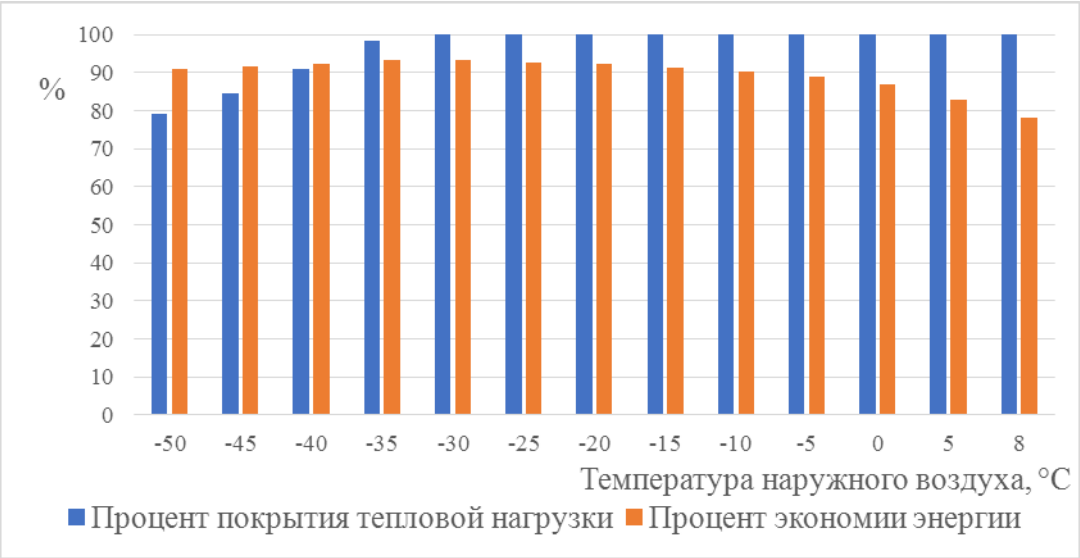


Рисунок 1 – Процента покрытия тепловой нагрузки и процента экономии энергии в холодный период года при использовании схем обработки воздуха с применением трансформатора тепла по сравнению с прямоточной схемой

По диаграмме также видно, что с увеличением температуры наружного воздуха процент экономии энергии в схеме подготовки воздуха с совместным применением рециркуляции и трансформатора тепла падает. Так как температурный напор, который необходимо обеспечивать трансформатору тепла первой ступени уменьшается, эффективность использования трансформатора тепла уменьшается. При достижении положительных температур наружного воздуха экономия обеспечивается уже за счет применения рециркуляции, а не за счет замены теплообменника трансформатором тепла.

Таким образом, полученные результаты показывают о целесообразности внедрения трансформаторов тепла в системы СКВ как мероприятия по энергосбережению как в теплый, так и холодный периоды года.

Можно дать следующие рекомендации для общественных зданий:

– для теплого периода как мероприятие по эффективному энергосбережению в СКВ можно рекомендовать использование схем обработки воздуха с применением трансформатора тепла с использованием рабочего агента R134a. Процент экономии при применении данной схемы в СКВ может составить более 60%;

– для холодного периода как мероприятие по эффективному энергосбережению в СКВ можно рекомендовать использование схем обработки воздуха с совместным применением рециркуляции и трансформатора тепла с использованием рабочего агента R134a. Процент экономии при применении данной схемы в СКВ может составить около 90%, но для покрытия пиковых нагрузок в схему необходимо включать дополнительный теплообменник до или после трансформатора первой ступени.

Литература

1. Основные характеристики Российской электроэнергетики [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Российской Федерации. URL: https://minenergo.gov.ru/node/532. (Дата обращения: 27.02.2021).

2. Ананьев В.А. и др. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. 2003. – 416 с.

3. ГОСТ 30494-2011 Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. 01.01.13

4. Свистунов В.М., Пушняков Н.К. Отопление, вентиляция и кондиционирования воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства: Учебник для вузов. – 2-е изд. – СПб.: Политехника, 2007. – 423 с.: ил.

5. Кабанова И.А., Безфамильная Е.В. Анализ эффективности использования парожидкостных трансформаторов тепла в системах кондиционирования воздуха//Сборник трудов X Национальная научно-техническая конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2020» 3-4 декабря 2020 года. Т.1. Филиал ФГБОУ «НИУ «МЭИ». Смоленск. 2020. С.159-164.

А.А. Борминов, студ.; рук. И.С. Саватеева, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДВУХЗОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ В MATLAB

Современной тенденцией развития электропривода является повышение его энергетической эффективности, которое достигается за счет снижения потерь при электромеханическом преобразовании энергии. С этой точки зрения актуальной задачей является не только проектирование новых систем электропривода, но и исследование возможностей существующих. Одним из таких вариантов является система двухзонного регулирования скорости двигателя. Работа такой системы, при скоростях выше номинальных, заключается в изменении потока возбуждения при неизменном ЭДС или напряжении на якоре двигателя. При этом допустимый момент двигателя за счет уменьшения магнитного потока меняется пропорционально потоку. Целесообразной сферой применения данного способа регулирования являются электроприводы тех механизмов, статический момент которых с ростом скорости уменьшается (механизмы главного привода ряда металлорежущих станков, наматывающие механизмы и др.). В механизмах с электроприводом постоянного тока применение двухзонного регулирования позволяет снизить требуемую мощность двигателя и улучшить энергетику. Но этот способ регулирования представляет интерес и для привода переменного тока. В частности, в [1] показано, что в синхронном двигателе данное регулирование скорости позволяет не только уменьшить габаритные показатели преобразователя частоты, но и повысить его энергетические показатели.

В настоящее время системы двухзонного регулирования скорости с двигателями постоянного тока хорошо освещены в технической литературе. Однако, при детальном изучении данной тематики выясняется, что основное внимание уделяется статическим режимам работы. Информация о моделировании таких систем в различных программах компьютерной математики либо упоминается поверхностно, либо совсем отсутствует.

Целью данной работы является разработка модели системы двухзонного регулирования скорости двигателя постоянного тока и исследование её поведения в динамических режимах.

Рассматриваемая система построена по принципу подчиненного регулирования координат (рис. 1) [2]. Помимо контура скорости с контуром тока, в состав такой системы входят контур ЭДС двигателя с подчиненным контуром тока возбуждения. Система является существенно нелинейной, так как, помимо кривой намагничивания, содержит также блоки нелинейностей БО, БМ, БОВ. Расчеты проводились для двигателя мощностью 13 кВт.

Моделирование данной схемы осуществлялась в пакете Simulink системы компьютерной математики MatLab [3]. Модель электропривода представлена на рис. 2.

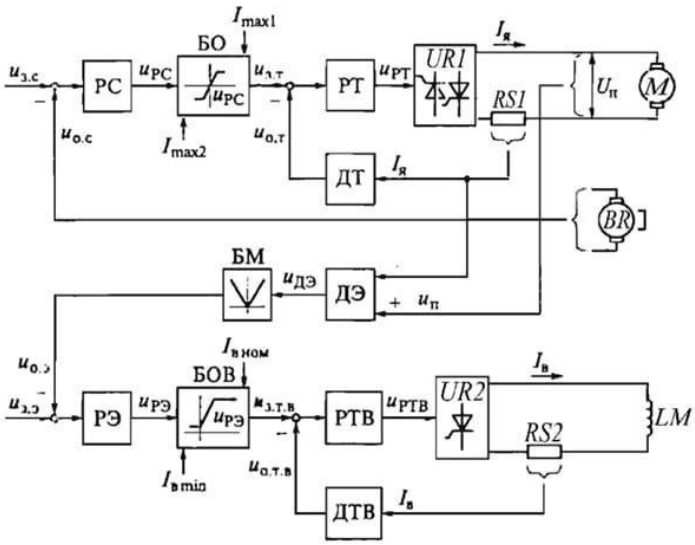


Рис. 1 – Функциональная схема электропривода с двухзонным регулированием скорости

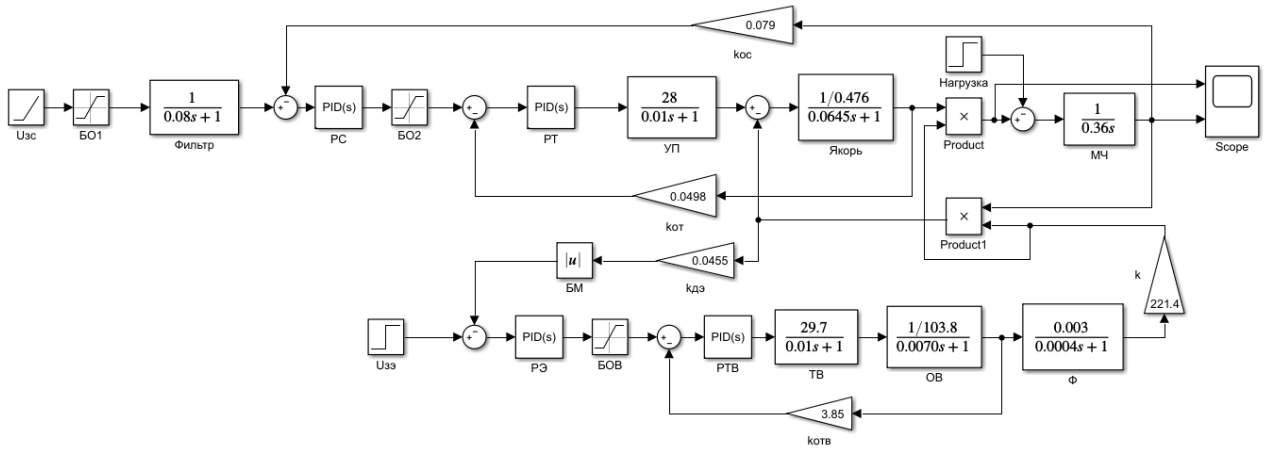


Рис. 2 – Модель исследуемой системы электропривода

Контур тока настроен на технический оптимум с целью достижения минимума перерегулирования и максимума быстродействия. Контур скорости двигателя настроен на симметричный оптимум с целью обеспечения точности регулирования. Для уменьшения перерегулирования использован фильтр, включенный на вход регулятора скорости.

Контур тока возбуждения состоит из возбудителя, выполненного в виде трехфазного тиристорного моста, ПИ-регулятора тока возбуждения, настроенного на технический оптимум, и отрицательной обратной связи по току возбуждения. Контур ЭДС, который настраивается на технический оптимум, состоит из контура тока возбуждения, И-регулятора ЭДС двигателя и датчика ЭДС двигателя. Блок выделения модуля ЭДС обеспечивает неизменность знака напряжения отрицательной обратной связи по ЭДС. Для поддержания номинального значения тока возбуждения двигателя используется блок ограничения возбуждения.

Для правильной работы модели необходимо было рассчитать и настроить регуляторы для каждого контура (рис. 3), а также рассчитать их обратные связи.

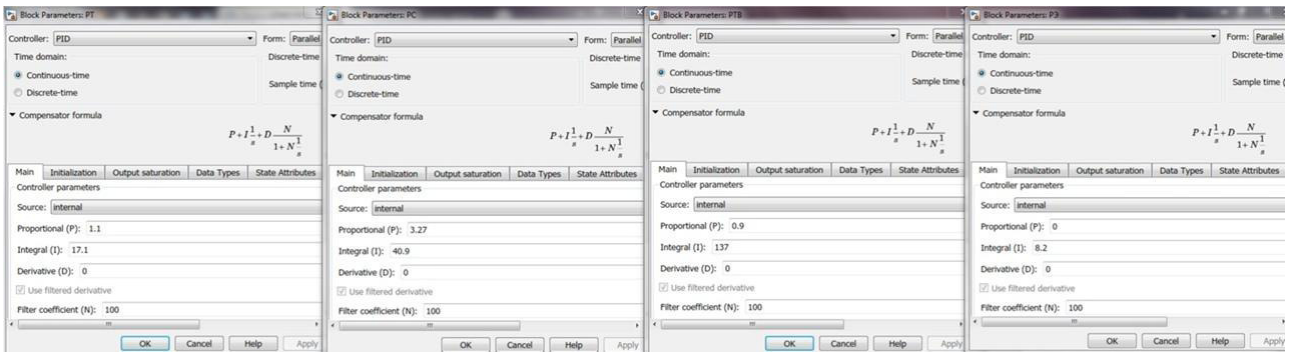


Рис. 3 – Настройка регуляторов

Исследование работы системы электропривода проводилось при линейно нарастающем сигнале задания. Рассматривался пуск двигателя вхолостую на разные скорости: номинальную ($\omega_н$), максимальную ($\omega_{макс}$) и промежуточную ($\omega_н < \omega_{пр} < \omega_{макс}$), а также приложение нагрузки, соответствующей номинальному моменту двигателя. Для того чтобы провести сопоставление, пуск двигателя на разные скорости осуществлялся за одно и тоже время.

Графики, соответствующие пуску и работе двигателя на номинальной скорости ($\omega_н$), представлены на рис. 4.

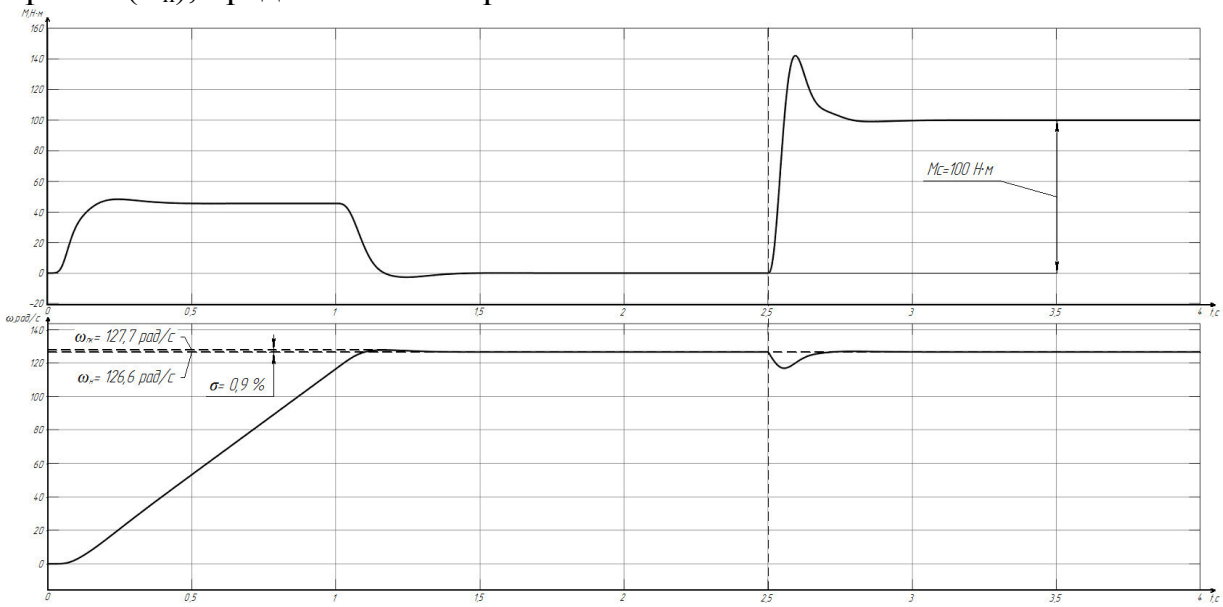


Рис. 4 – Пуск и работа двигателя на номинальной скорости

Здесь представлены графики момента и угловой скорости. Графики соответствуют заданной настройке. График угловой скорости показан при наличии инерционного фильтра. Наличие фильтра приводит к уменьшению перерегулирования, так как он компенсирует форсирующее действие регулятора скорости. При отработке скачка момента нагрузки после завершения свободной составляющей движения действительное значение скорости возвращается к заданной величине, что связано с наличием интегрирующей составляющей в регуляторе скорости.

Поток возбуждения при пуске и работе двигателя достигает номинального значения и не изменяется, так как двигатель работает на номинальной скорости.

Графики, соответствующие пуску и работе двигателя на промежуточной ($\omega_{пр}$) и максимальной скоростях ($\omega_{макс}$), представлены на рис. 5 и рис. 6.

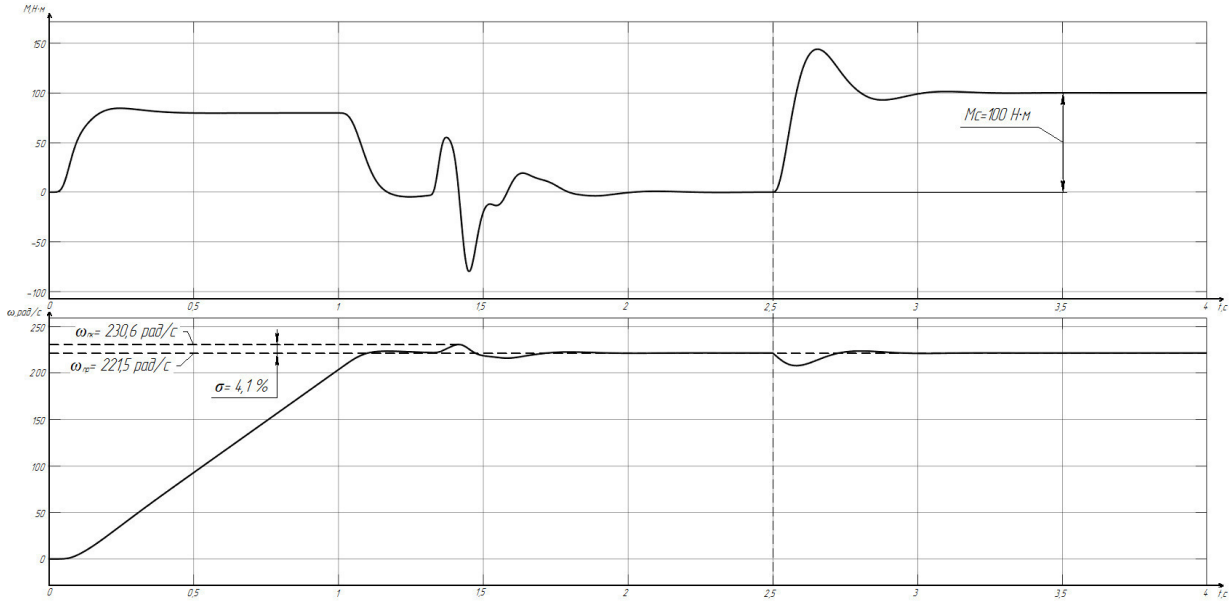


Рис. 5 – Пуск и работа двигателя на промежуточной скорости

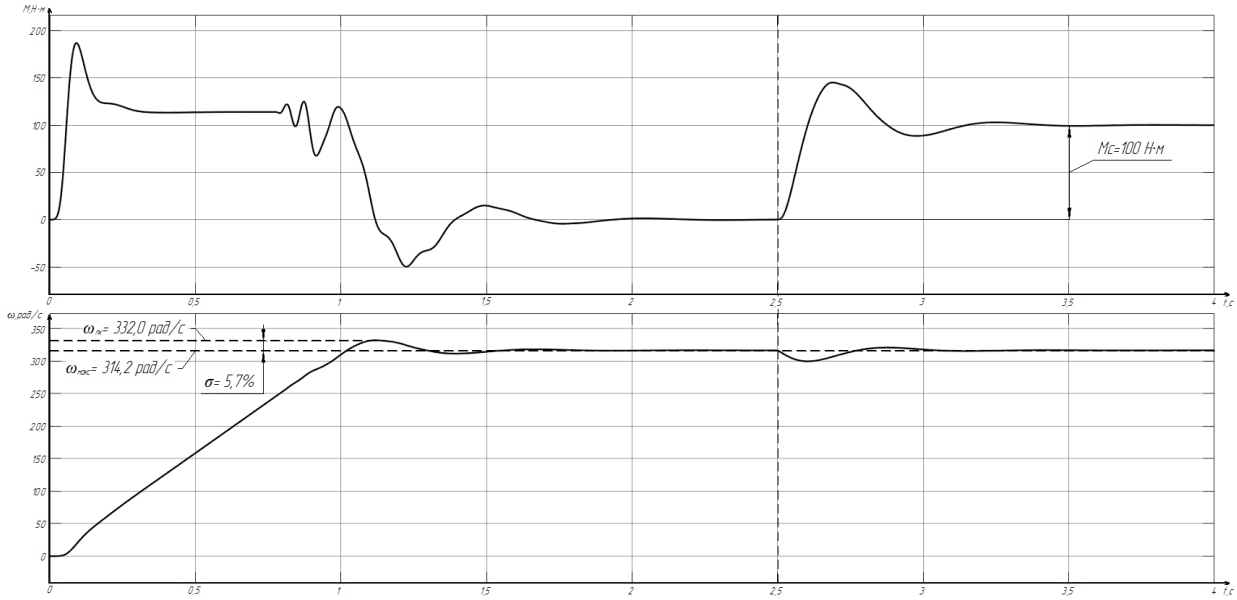


Рис. 6 – Пуск и работа двигателя на максимальной скорости

Анализ полученных графиков показывает, что оптимальная настройка системы электропривода обеспечивается только при расчетном значении потока (в данном случае – при номинальном, выбранном из соображений обеспечения устойчивости замкнутого контура скорости во всем диапазоне регулирования). Чтобы сохранить показатели при других значениях потока, требуется усложнение системы. Однако, даже в исходном варианте, несмотря на повышение колебательности в кривой момента, угловая скорость дает неплохие результаты и при изменении потока. Перерегулирование скорости во всех случаях находится в пределах допустимых значений (σ <10%).

Литература

1. Шрейнер Р.Т. и др. Энергетическая эффективность регулируемого синхронного электропривода при переменном потоке / Шрейнер Р.Т., Поляков В.Н., Медведев А.В. // Труды Международной (XIX Всероссийской)

конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014, Саранск, 7-9 октября 2014 г. / отв. ред. И.В. Гуляев. – Т.1. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 263-268.

2. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 304 с.

3. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем. – СПб.: «КОРОНА Принт», 2001. – 320 с.

Д.И. Вожлаков, студ.; рук. Ю.Д. Кулик, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОБЗОР ИНДУКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ВЕНТИЛЬНОЙ КОММУТАЦИЕЙ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ ОБМОТКИ

В современном тихоходном электроприводе широкое применение находят индукторные двигатели с сосредоточенной обмоткой, питание которой осуществляется импульсной системой напряжений. Это объясняется тем, что они конструктивно просты, надежны и имеют достаточно высокие технико-экономические показатели.

Индукторной машиной принято считать синхронную машину, у которой на статоре в общем случае размещается две обмотки (главная и возбуждения), а ротор представляет собой ферромагнитное тело с равномерно расположенными выступами (зубцами). Эта формулировка требует уточнения, так как под этот тип электромеханических преобразователей подпадают следующие электрические машины:

- с катящимся ротором (цилиндрический ротор эксцентрично расположен относительно статора);
- с гибким ротором (как элемент волновой механической передачи);
- с зубчатым ротором (конфигурация зубцовой зоны ротора увязана определенным отношением с зубцовой зоной статора).

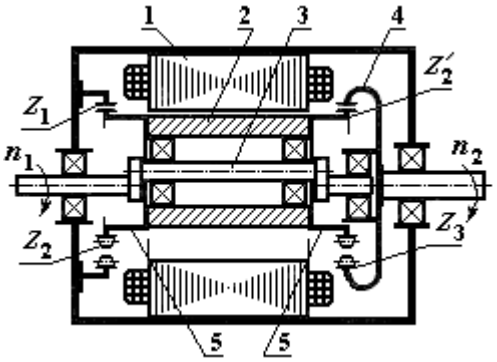
Принцип действия перечисленных модификаций основан на взаимодействии магнитного поля с ферромагнитным ротором, однако это требует особого вида создания электромагнитной волны, которая может быть создана только при импульсной системе питания сосредоточенной обмотки.

Для справки следует отметить, что первоначальный этап развития перечисленных модификаций индукторных двигателей был связан как раз с использованием двух распределенных обмоток (наложением двух синусоидальных полей), а при зубчатом роторе для пуска еще и применение короткозамкнутой обмотки /1/. Поэтому широкого применения на этом этапе индукторные двигатели не могли найти, так как имели сложную конструкцию, низкие энергетические (КПД и cosφ) и удельные показатели (Вт/кт или Н·м).

Появление силовой электроники и с микропроцессорных средств управления можно считать вторым этапом развития индукторных двигателей, так как конструкция статора предельно упростилась за счет применения сосредоточенной обмотки (при зубчатом роторе к отсутствию короткозамкнутой обмотки).

На рис.1. представлен общий вид индукторного двигателя с эксцентрично расположенным ротором, магнитопровод которого может быть выполнен как

сплошным, так и шихтованным. Возможен вариант конструктивной схемы такого двигателя с фрикционным обкатыванием кинематических пар (рис. 2.), что позволяет устранить применение подшипников, а работу двигателя осуществлять в агрессивной среде (первоначальные варианты именно и создавались для этой цели).



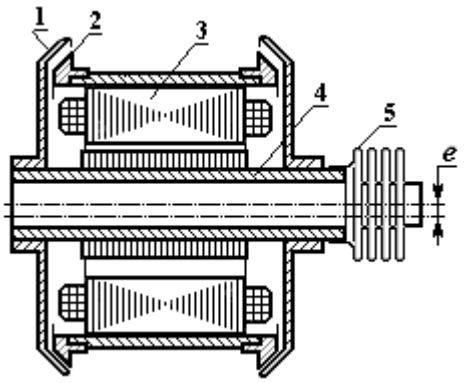
1 – сердечник статора с обмоткой;
2 – цилиндрический магнитопровод ротора;
3 – эксцентрично расположенный вал;
4 – центральное зубчатое колесо;
5 – зубчатые колоса сателлита

Передаточное отношение планетарной передачи:

$$i_p = \frac{Z_1 Z_2'}{Z_1 Z_2' - Z_2 Z_3}$$

Z_1 , Z_3 – число зубьев центральных колес;
Z_2 , $Z_2^{/}$ – число зубьев сателлита (при двухступенчатой передаче)

Рис. 1. Индукторный двигатель с эксцентирично расположенным ротором (ротор является сателлитом двухступенчатой планетарной передачи)



1 – каток; 2 – бандаж; 3 – пакет статора с обмоткой; 4 – цилиндрический ротор с шихтованным манитопроводом; 5 – сильфон (для сглаживания эксцентричного вращения ротора);
е – эксцентриситет между осями статора и ротора.
$D_к$ – диаметр катка в точке касания с бандажем;
$D_б$ – диаметр бандажа (по точке касания)

Передаточное отношение:

$$i_p = \frac{D_к}{D_к - D_б}$$

Рис. 2. Индукторный двигатель с катящимся ротором (фрикционное обкатывание вынесено из активной зоны)

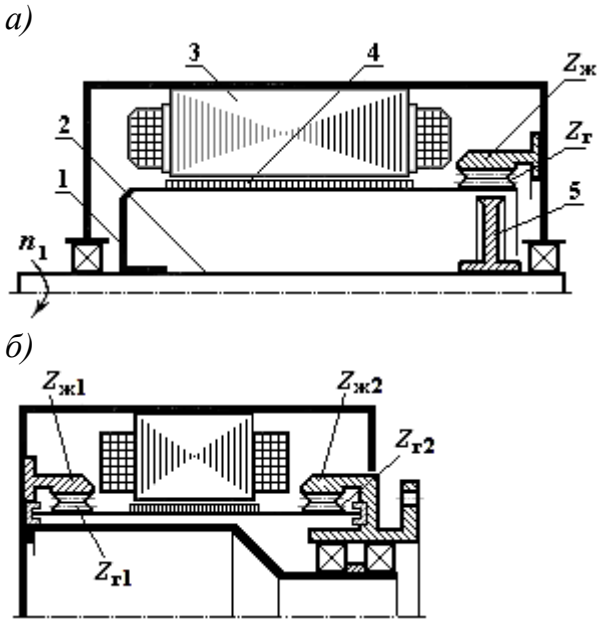
На рис. 3. приведены конструктивные схемы индукторных двигателей с гибким ротором (волновая передача совмещена с электромагнитным генератором волн деформации). В обоих случаях совмещение планетарной или волновой механической передачи с генератором электромагнитной волны позволяет осуществлять в ней силовое воздействие минуя быстроходное звено (в планетарной на сателлит, а в волновой на гибкий элемент), что позволяет не только улучшить условия компановки, но повысить быстродействие и энергетические и удельные показатели. Оба рассмотренных варианта относят обычно к электромеханическому способу редукции частоты вращения.

При электромеханической редукции частота вращения определяется выражением

$n = 60 \cdot f / N \cdot i_р$,

где N – число повторения фазных зон в схеме сосредоточенной обмотки;

$i_р$ – коэффициент редукции механической передачи.



1 – гибкий элемент волновой передачи;
2 – вал двигателя; 3 – статор с обмоткой;
4 – гибкий магнитопровод;
5 – ограничитель деформации;
$Z_г$ – число зубьев гибкого элемента передачи;
$Z_ж$ – число зубьев жесткого колеса передачи.

Передаточное отношение волновой передачи:

$$i_р = \frac{Z_ж}{Z_ж - Z_г} = \frac{Z_ж}{b}$$

b – число волн деформации гибкого элемента

Рис. 3. Конструктивные схемы двигателей с гибким (волновым) ротором:
а) при одноступенчатой передаче; б) при двухступенчатой передаче или укороченном роторе за счет использования пары $Z_{ж1} – Z_{г1}$ как зубчатой муфты.

В настоящее время наиболее распространенным способом понижения частоты вращения является электромагнитный, при котором особым образом должен быть обеспечен закон изменения проводимости воздушного зазора, что достигается выбором определенного соотношения между зубцовыми структурами статора и ротора. Частота вращения определяется выражением

$n = 60 \cdot f / Z_2$, $Z_2 = c \cdot Z_1 \pm a = c \cdot m_2 \cdot N \pm a$,

где Z_1, Z_2 – число зубцов (полюсных выступов) статора и ротора;
m_2 – число обмоток фаз статора;
с – число малых зубцов на полюсном выступе статора;
a – целое число (простое в случае несимметричной магнитной системы).
При симметричной магнитной системе обычно $a = N$, поэтому в окончательном виде для частоты вращения выражение принимает вид

$n = 60 \cdot f / N \cdot (c \cdot m_2 \pm 1)$.

На рис. 4 приведены структуры магнитных систем индукторных двигателей с электромагнитной редукцией для регулируемого быстроходного и нерегулируемого тихоходного электропривода. Особенностью структуры рис. 4.а является то, что питание обмоток фаз двигателя осуществляется как привило от инвертора с вариантом применения ШИМ технологии. При варианте рис. 4.б

коммутацию обмоток фаз можно осуществить непосредственно от синусоидального источника по схеме вентильной коммутации предложенной в /2/.

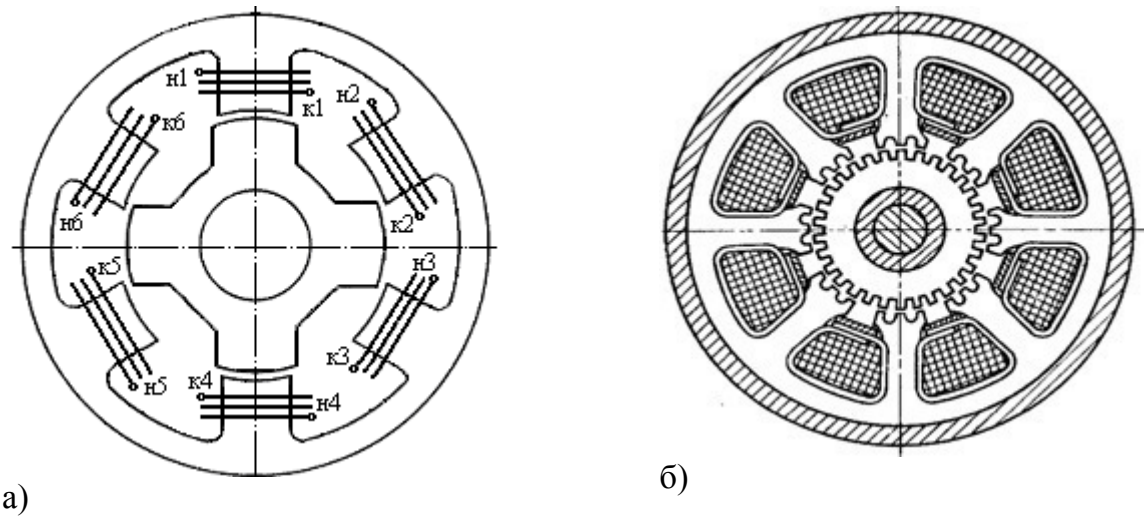


Рис. 4. Зубчатые структуры статора и ротора при электромагнитной редукции:
а) при с = 1; б) при с ≥ 2

На рис. 5,а представлена диаграмма напряжения $u(\alpha)$ и тока $i(\alpha)$ при неуправляемой вентильной коммутации, а на рис. 6,а структура электропривода для этого случая. При m_1 = 3 может быть сформирована импульсная система напряжений с числом фаз m_2 от 3 до 12 /3/, что является одним из достоинств этого способа. Однако, длительность протекания фазного тока (несмотря на наличие части отрицательной полуволны напряжения) отрицательно сказывается на КПД двигателя. Улучшение энергетики двигателя может быть достигнуто использованием частично управляемой коммутации (см. рис. 5,б и рис. 7) при этом управляемые вентили могут быть применены не для всех фаз обмотки.

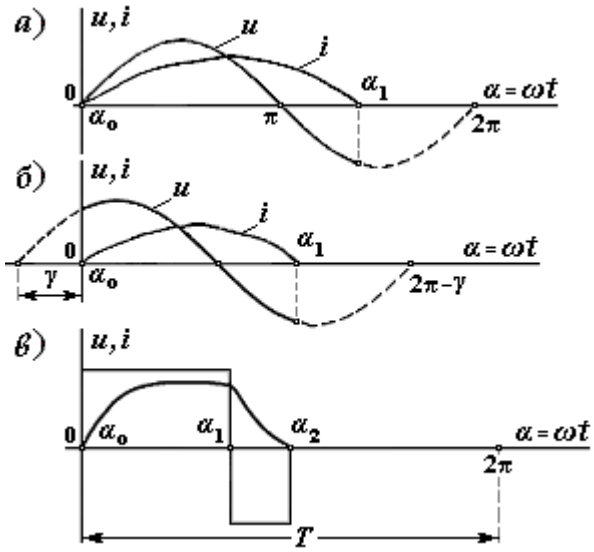


Рис. 5. Способы создания импульсной системы напряжений:
а) при неуправляемой коммутации;
б) при частично управляемой коммутации;
в) при питании от инвертора.

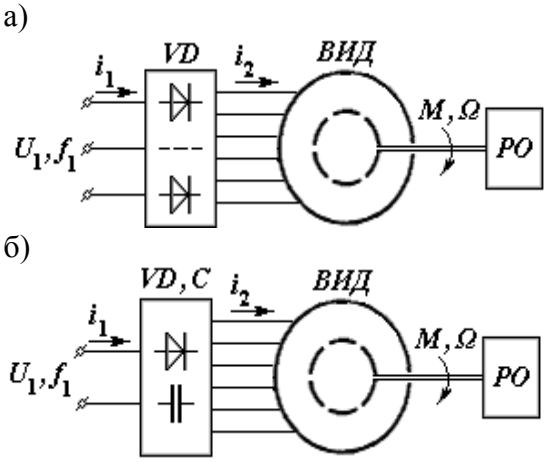


Рис. 6. Структуры тихоходных электроприводов с вентильной неуправляемой коммутацией:
а) при m_1 = 3; б) при m_1 = 1

С точки зрения простоты конструкции для регулируемого электропривода предпочтение следует отдать двигателям с зубчатой структурой ротора. На рис. 5,в приведена диаграмма напряжения $u(\alpha)$ и тока $i(\alpha)$ при питании цепи обмотки фазы от реверсивного преобразователя, а на рис. 8. структура привода с индукторным двигателем. Одна из проблем схемы управления – перекоммутация цепи обмотки фазы (включение при фазовом угле α_1 на обратное напряжение) с тем, чтобы процесс изменения тока закончился на восходящей ветви изменения индуктивного параметра при α_2. Переключение обмоток фаз приводит к тому, что каждая фаза находится под током T/m_2 части периода, что при увеличении m_2 понижает использование активных материалов двигателя.

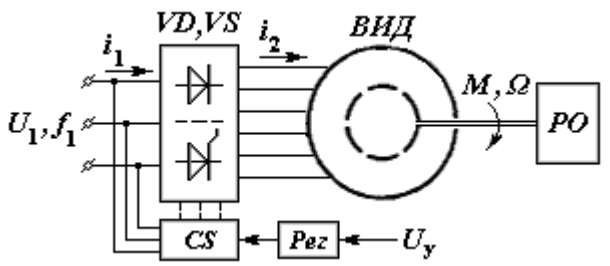


Рис. 7. Структура тихоходного электропривода с вентильной частично управляемой коммутацией при $m_1 = 3$

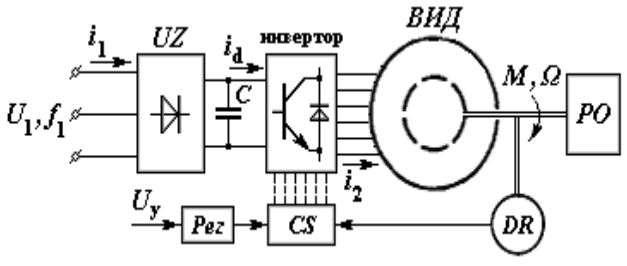


Рис. 8. Структура электропривода со звеном постоянного тока и питанием двигателя от инвертора

Рассмотрение конструктивных вариантов и способов формирования импульсных систем питания индукторных двигателей позволяет сделать следующие выводы:

- при электромеханической редукции частоты вращения ее значение n зависит от передаточного отношения механической передачи $i_р$ и не зависит от конфигурации полюсной системы статора и, наоборот, при электромагнитной редукции ее величина зависит от конфигурации структур статора и ротора Z_1/Z_2;
- для электропривода постоянной частоты вращения применимы все три рассмотренные модификации, однако выбор варианта будет определять величина частоты вращения n и мощность двигателя $P_{2н}$; при n от долей до нескольких оборотов в минуту предпочтение следует отдать двигателям с совмещенным редуктором, а при n от нескольких десятков до нескольких сотен – двигателям с зубчатой структурой ротора;
- для регулируемого электропривода предпочтение следует отдать двигателям с электромагнитной редукции частоты вращения в силу простоты конструкции, однако использование звена постоянного тока, инвертора, датчиков положения ротора, тока и др., усложняет схему управления двигателем.

Литература

1. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. – М.: Высшая школа, 1988.
2. Наний В.П. Электродвигатели с катящимся ротором и многофазным пульсирующим полем. – Харьков: ХВКИУ, 1967.
3. Кулик Ю.Д. Особенности построения схем сосредоточенных обмоток в индукторных двигателях при вентильной коммутации. Сб. трудов Междунар. научно-технич. конференции ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ. – 2011. Т.1. Смоленск: РИО филиала ГОУВПО МЭИ(ТУ) в г. Смоленске, 2011

Г.В. Гавриленков, Д.А. Осипов, Н.В. Корнеева, студ., рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СТЕПЕНИ ПОДВИЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Большинство промышленных роботов имеют реверсивный электропривод и лишь в отдельных случаях близкий ему по условиям работы нереверсивный электропривод циклического действия [1].

В цикле работы таких механизмов предусматриваются такие операции как: пуски, остановки и реверсы электрического привода. При этих условиях автоматизация рабочего цикла отдельных подъемно-транспортных механизмов представляет собой важную самостоятельную задачу, успешное решение которой является необходимой предпосылкой для решения общей задачи оптимального управления технологическим процессом. Под основными особенности развития электропривода подразумевают расширение области применения регулируемого электропривода, главным образом за счет количественного и качественного роста регулируемых электроприводов переменного тока благодаря достижениям достигнутым в области полупроводниковой техники в настоящее время. А также интенсивное повышение технологических требований к статическим и динамическим показателям точности электропривода, расширение и усложнение его функций, связанных с управлением технологическими процессами, и усложнению систем управления электроприводами.

Переходными процессами называются процессы, возникающие в электрических цепях при различных воздействиях, приводящих их к переходу из одного установившегося режима, имеющего одно энергетическое состояние в другой установившейся режим с другим энергетическим состоянием [2], [3]. Переходные процессы возникают при различных коммутациях (или изменений режимов работы преобразователей), действиях системы управления, набросах и сбросах нагрузки нагрузки.

Наглядно показать процесс перехода из одного энергетического состояния в другое позволяет, например, пакет прикладных программ Matlab в среде Simulink.

В настоящей статье изучаются переходные процессы и перерегулирование системы на примере электропривода средней мощности, построенного по тиристорной схеме управления.

Система управления силовой частью электропривода строится по принципу подчиненного регулирования координат.

Задачи работы заключаются в моделировании переходных процессов в электроприводе.

С помощью среды моделирования сложных технических систем Simulink составляется схема для снятия характеристик переходных процессов.

Мощность используемого в исследуемой системе двигателя постоянного тока независимого возбуждения равна 130 Вт.

Статический момент, приведенный к валу двигателя с грузом и без груза, равен 1.528 Н · м и 1.13 Н · м соответственно.

Угловая частота, приведенная к валу двигателя, равна 78.182 рад/с.

Рассмотрим вначале построение замкнутого контура регулирования тока, настроенного на технический оптимум (см.рис.1) и переходный процесс при реакции замкнутого контура регулирования тока на единичный скачок (см. рис.2).

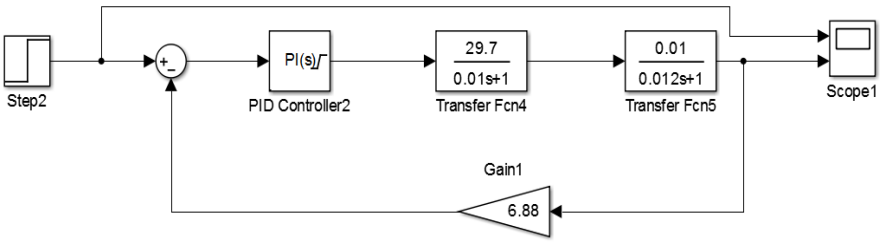


Рисунок 1 – Схема замкнутого контура регулирования тока, настроенного на технический оптимум

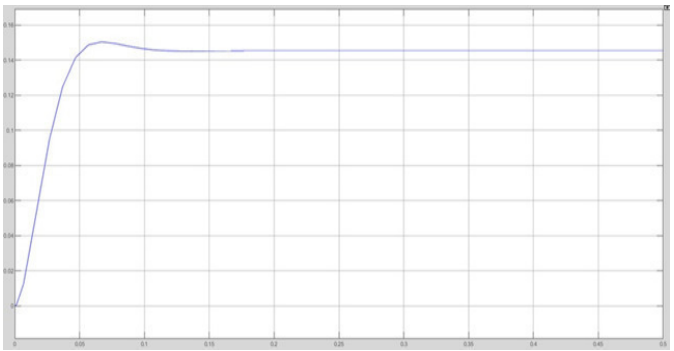


Рисунок 2 – Переходный процесс (реакция замкнутого контура регулирования тока на единичный скачок)

Видно, что перерегулирование системы составляет 3.27%. Данные характеристики свидетельствуют о правильной настройке контура тока на технический оптимум.

Далее рассмотрим схему замкнутого контура регулирования скорости, настроенного на технический оптимум с разомкнутым контуром регулирования по ЭДС (см.рис.3). На ней также снята переходная характеристика при воздействии единичной ступенчатой функции (см. рис.4).

Видно, что перерегулирование системы составляет 5%, что свидетельствует о правильной настройке контура скорости на технический оптимум.

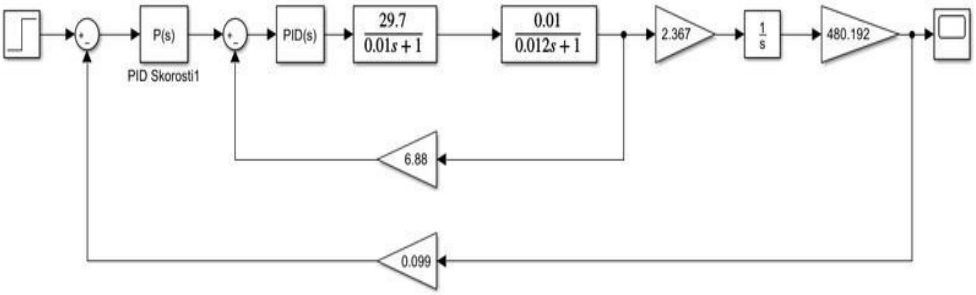


Рисунок 3 – Схема замкнутого контура регулирования скорости, настроенного на технический оптимум

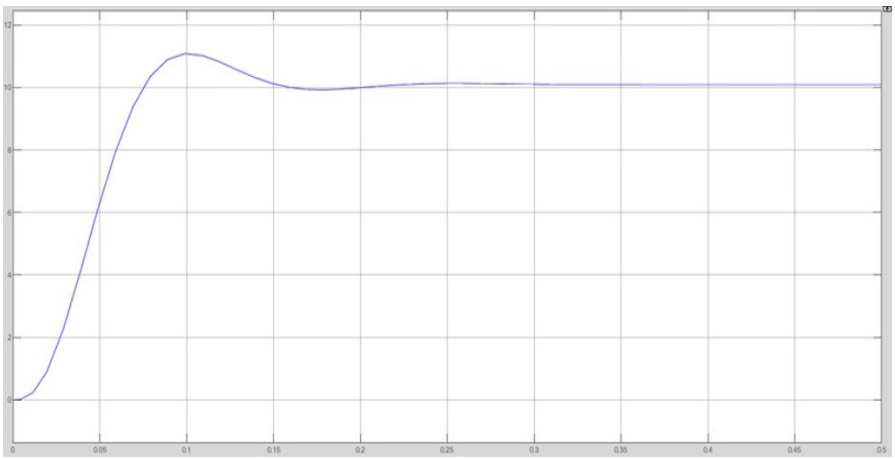


Рисунок 4 – Переходный процесс при подаче на вход замкнутого контура регулирования скорости единичного скачка

На рис.5 показана модель электропривода с учетом внутренней обратной связи по ЭДС двигателя. Используем ее для снятия нагрузочной диаграммы за весь цикл работы. В модели вычисляются эквивалентный момент и полезная работа за цикл.

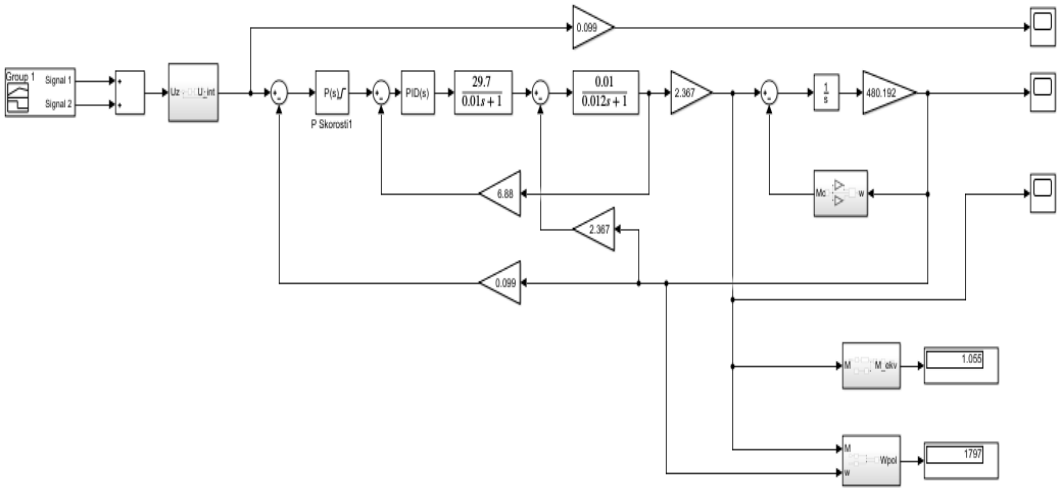


Рисунок 5 – Модель электропривода для снятия нагрузочной диаграммы

Элементами модели являются подмодели задатчика интенсивности, нагрузки и расчета эквивалентного момента (рис.6-рис.8 соответственно).

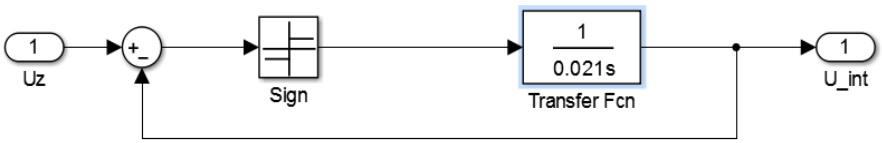


Рисунок 6 – Блок задатчика интенсивности

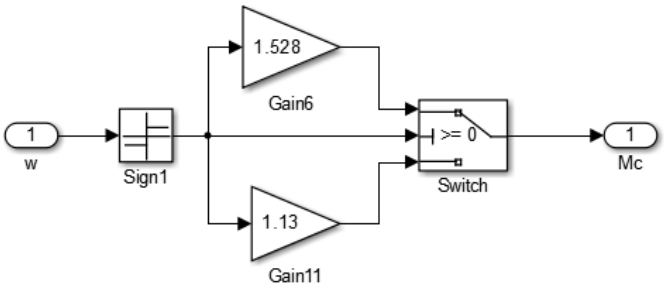


Рисунок 7 – Блок нагрузки

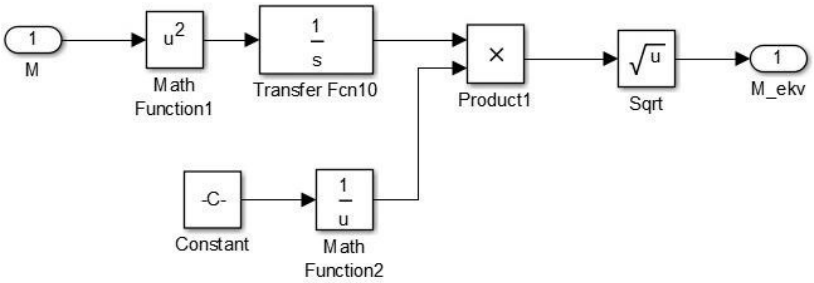


Рисунок 8 – Блок расчета эквивалентного момента

В результате моделирования получены диаграммы электропривода за цикл работы для следующих переменных: скорости механизма; силы сопротивления механизма. Эти графики показаны на рис.9 соответственно сверху и снизу.

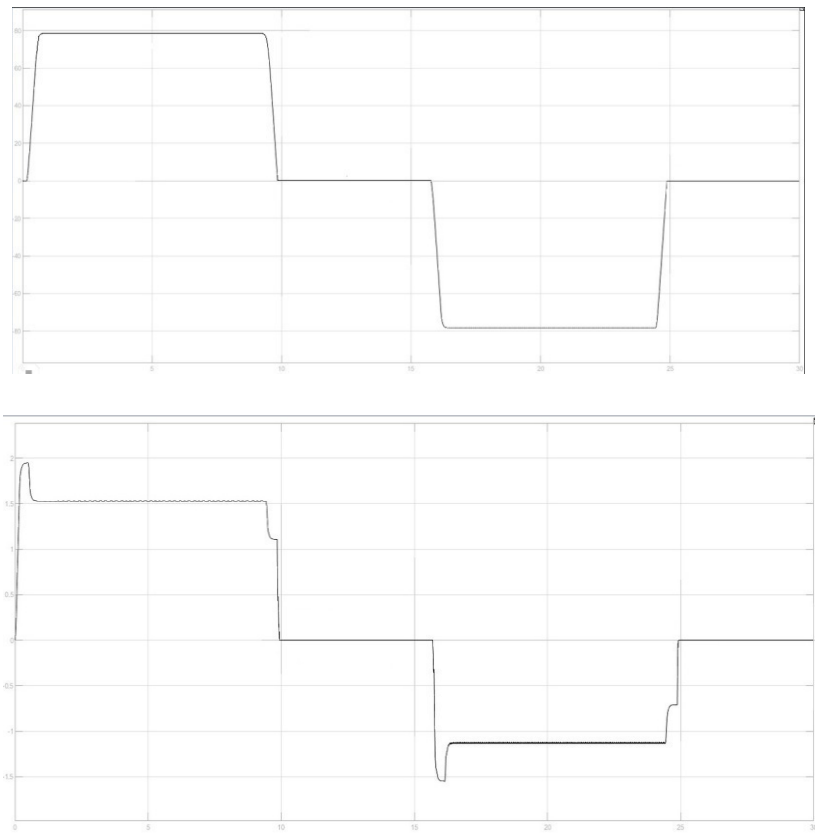


Рисунок 9 – Диаграммы электропривода за цикл работы (сверху вниз): Сигнал задания; скорость механизма; сила сопротивления механизма

По результатам анализа смоделированной системы видно, что скорость двигателя приблизительно равна 78 рад/с. Момент двигателя приблизительно равен 1.5 Н · м с грузом и 1.1 Н · м без груза.

Следовательно, качество переходных процессов, приемлемо и полностью соответствует настройке контуров регулирования в системе на технический оптимум.

Литература

1. Булгаков, А. Г. Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление / А.Г. Булгаков, В.А. Воробьев. - М.: Солон-Пресс, 2007. - 488 с.
2. Данилов П.Е. Основы теории электропривода. Часть первая. Конспект лекций по курсу «Теория электропривода». – 2-ое изд., испр. и доп. – Смоленск, 2013. – 200 с.
3. Данилов П.Е. Основы теории электропривода. Часть вторая. Конспект лекций по курсу «Теория электропривода». – 2-ое изд., испр. и доп. – Смоленск, 2014. – 152 с.
4. Фурсов В.Б. Моделирование электропривода: учебное пособие / В.Б. Фурсов; ГОУВПО «Воронежский гос. технический ун-т». – Воронеж: Воронежский гос. технический ун-т, 2008. – 105 с.

Н.Д. Геращенков, студ., Т.А. Мансуров, студ., А.Г. Мизеркин, студ., В.П. Шибаев, студ., С.П. Курилин, д.т.н., проф.

(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ПОЛЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

В электроэнергетике и электротехнике для расчётов различных процессов используются параметрические математические модели: схемы замещения, системы линейных и матричных уравнений. Но с развитием компьютерных технологий и повышением вычислительной мощности появляется возможность широко использовать полевые модели в практической инженерной деятельности. Для использования данных математических моделей необходимо специальное программное обеспечение в виде систем автоматизированного проектирования (САПР). Наиболее распространёнными и зарекомендовавшими себя САПРами среди инженеров-энергетиков являются ELCUT, ANSYS и SolidWorks. Произведём сравнительный анализ данных систем и выберем наиболее предпочтительный вариант.

Целью данной статьи является выбор оптимальной системы автоматизированного проектирования (САПР), предназначенной для выполнения расчётов тепловых и механических процессов.

В исследовании ставились задачи анализа рынка САПР, сравнение данных систем по основным критериям и выбор оптимального варианта.

Первой системой проектирования была рассмотрена ELCUT. ELCUT — это компьютерная программа для проведения инженерного анализа и двумерного моделирования методом конечных элементов (МКЭ). Модули ELCUT позволяют проводить анализ физических полей и получать решение связанных многодисциплинарных задач в таких видах анализа. В рамках поставленной задачи наибольший интерес представляет модуль анализа стационарного и нестационарного температурного полей.

Модуль «теплопередача» предназначен для расчёта переходного и установившегося температурного поля с учётом конвективного и радиационного теплообмена. Модуль используется для анализа систем обогрева и систем охлаждения.

Среди преимуществ данной САПР можно отметить высокое быстродействие, простоту использования, дружелюбный интерфейс и наличие большого количества справочной информации (руководство по использованию, документация, статьи, библиотека материалов и другое) на русском языке.

Главными недостатками является то, что решение задач основано только на методе конечных элементов, причем используется один вид конечного элемента — треугольник. Также размер сетки наиболее интересных анализов 3D объектов относительно невысок.

Для тестирования возможностей данной системы было проведено апробирование. Был смоделирована полевая математическая модель алюминиевого радиатора. К нему подвели тепловой поток величиной 25 кВт/м^2. Полученное распределение тепла представлено на рисунке 1.

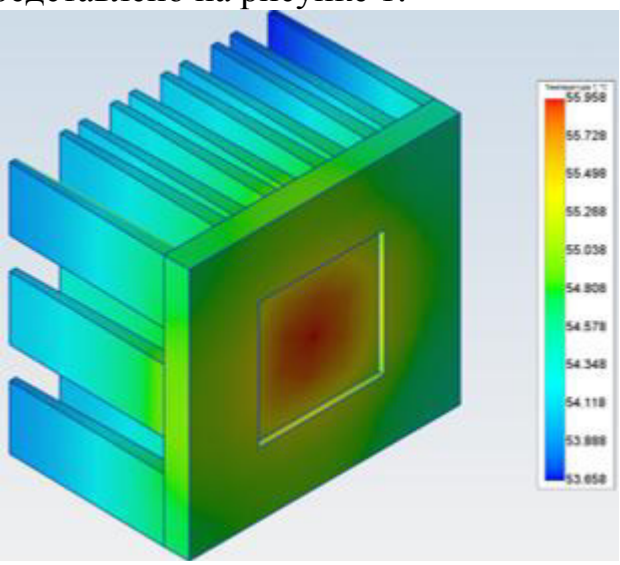


Рис. 1 — Распределение тепла в радиаторе

В качестве второй САПР был выбран ANSYS. ANSYS — это универсальная программная система конечно-элементного анализа, существующая и развивающаяся на протяжении последних 30 лет. Является довольно популярной у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчётов и конечно-элементного решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций, задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей. Система имеет геометрическое ядро Parasolid. Для выполнения поставленной задачи программа имеет необходимые модули анализа стационарного температурного поля.

Кроме этого, ANSYS располагает возможностью выбора различных типов конечных элементов и характеристик материала пользователем, что делает решения для механики деформируемых твердых тел более гибкими и позволяет

расширять возможности программного обеспечения для решения широкого круга задач. В добавок к этому, имеется возможность использовать параметрический язык программирования APDL, который обладает богатым набором возможностей создания сценариев для выполнения всех расчетов.

Преимуществом данной САПР является возможность выполнения действий с сложными моделями, огромный функционал, импорт геометрии из большинства CAD-систем.

Минусами САПРа можно отметить недружелюбный для новичков интерфейс, довольно высокая требовательность к ресурсам компьютера.

В качестве примера расчёта механики взят алюминиевый профиль. Одной стороне задано граничное условие: жесткое закрепление грани балки. Сверху приложена распределённая сила. Результат моделирования представлен на рисунке 3.

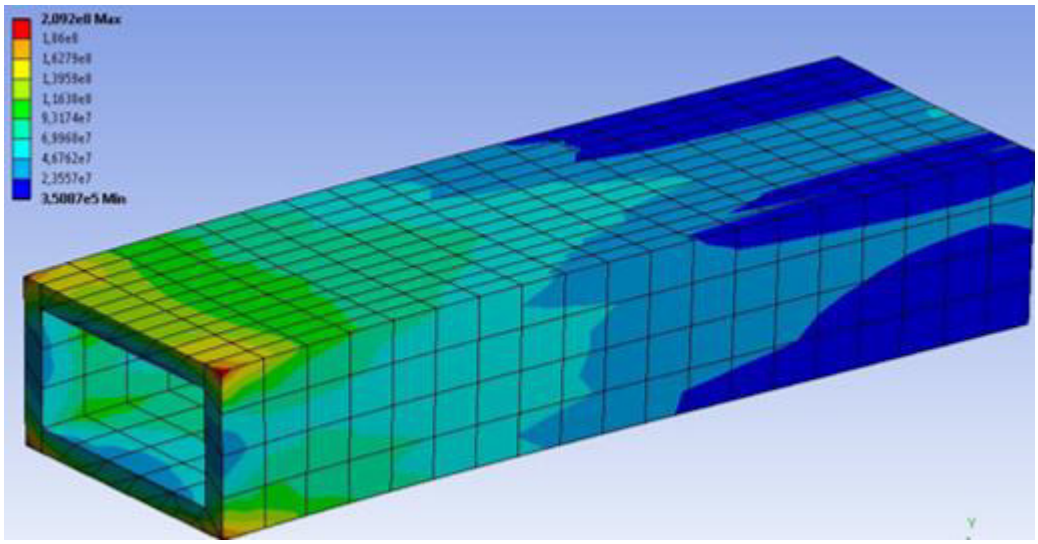


Рис. 3 — Распределение напряжений по Мизесу

Третьей САПР взят SolidWorks. SolidWorks — программный комплекс САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения. Система SolidWorks стала первой САПР, поддерживающей твердотельное моделирование для платформы Windows. SolidWorks использует ядро Parasolid.

Одной из главных решаемых задач этого комплекса САПР является инженерный анализ различных по сложности структуры объектов. Анализировать объекты можно на прочность, устойчивость, теплопередачу, частотный анализ и т.д.

Программный комплекс SolidWorks включает базовые конфигурации SolidWorks Standard, SolidWorks Professional, SolidWorks Premium, а также различные прикладные модули. Для инженерных расчетов предназначены модули SolidWorks Simulation Professional, SolidWorks Simulation Premium, SolidWorks Flow Simulation.

SolidWorks Professional включает функциональные возможности SolidWorks Standard, а также позволяет работать с библиотеками стандартных

изделий, осуществлять подготовку данных для ИТЭР (интерактивного электронного технического руководства), выполнят распознавание и параметризация импортированной геометрии и многие другие. SolidWorks Premium включает функциональные возможности SolidWorks Standard и SolidWorks Professional, а также проектирование трубопроводов (SolidWorks Routing), обратный инжиниринг (ScanTo3D) и др.

SolidWorks Simulation — расчёт на прочность конструкций (деталей и сборок) в упругой зоне. Входит в базовую конфигурацию SolidWorks Premium.

SolidWorks Simulation Professional — расчёт на прочность конструкций в упругой зоне, постановка и решение контактных задач, расчёт сборок; определение собственных форм и частот колебаний, расчёт конструкции на устойчивость, усталостные расчёты, имитация падения, тепловые расчёты.

SolidWorks Simulation Premium — нелинейные расчёты: учёт нелинейных свойств материала, нелинейного нагружения, расчёт нелинейных контактных задач; анализ усталостных напряжений и определение ресурса конструкций. Включает функциональность SolidWorks Simulation Professional.

Достоинствами являются быстрый расчет множества характеристик изделия, сокращение цикла разработки благодаря оптимизации конструкторских решений, определение запаса прочности, усталостных напряжений и других параметров на ранних стадиях процесса. В качестве недостатков было выявлено лишь высокие требования к аппаратной части.

Примером апробирования является модель железного профиля. Один конец жестко закреплён, сверху приложена распределённая сила. На рисунке 4 отображено смещение балки. Преимуществом SolidWorks в механических расчётах является вывод в интерфейсе коэффициента прочности, по которому можно сразу судить о том, выдержит ли объект такие нагрузки или нет.

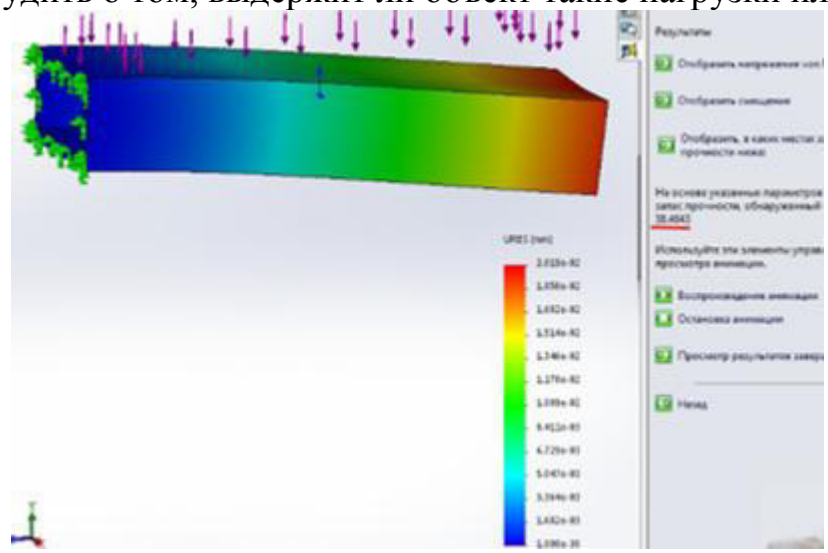


Рис. 4 — Смещение балки

Для расчёта тепла взят алюминиевый радиатор и подведён распределённый тепловой поток. Результаты расчета визуально представлены на рисунке 5.

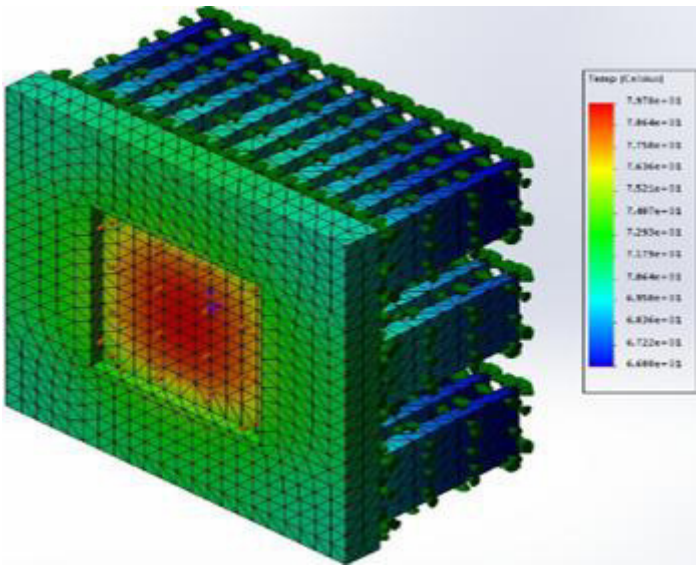


Рис. 5 — Тепловой расчет радиатора

Таблица 1. — Сравнение САПР

	ANSYS	ELCUT	SolidWorks
Преимущества	Возможность работы с сложными моделями	Высокое быстродействие	Быстрый расчет множества характеристик
	Большой функционал	Простота использования	Сокращение цикла разработки
	Возможность импорта моделей из большинства CAD-систем	Широкий набор инструментов анализа результатов	Широкие возможности за счёт обилия подключаемых модулей
		Наличие открытого объектного интерфейса	
Недостатки	Высокий порог вхождения	При решении задач применяется только метод конечных элементов	Высокие требования к аппаратной части
	Высокие требования к вычислительным ресурсам оборудования		

По выбранным критериям наиболее предпочтительным инструментом решения инженерных задач среднего класса сложности является САПР – SolidWorks, благодаря присущим ей широким возможностям и быстродействию.

Литература

1.Берлинер, Э. М. САПР в машиностроении / Э.М. Берлинер, О.В. Таратынов. - М.: Форум, 2011. - 448 с.

2.Гольдберг, О. Д. Инженерное проектирование и САПР электрических машин / О.Д. Гольдберг, И.С. 3.Свириденко. - М.: Academia, 2008. - 560 с.

4.Ушаков, Д. М. Введение в математические основы САПР. Курс лекций / Д.М. Ушаков. - М.: ДМК Пресс, 2015. - 208 с.

Н.Д. Геращенков, студ., Т.А. Мансуров, студ., А.Г. Мизеркин, студ., В.П. Шибаев, студ.,
рук. Ю.М. Божин, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В БЫСТРОХОДНЫХ ВЕНТИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРАХ С ТРЕХФАЗНОЙ ДВУХПОЛУПЕРИОДНОЙ СХЕМОЙ ВЫПРЯМЛЕНИЯ

Из разных схем выпрямления для вентильного генератора является более желательной схема с двухполупериодным выпрямлением. Это связано с тем, что при такой схеме выпрямления характеристики будут более благоприятными, чем при однополупериодной схеме. Поэтому была смоделирована работа вентильного генератора с двухполупериодной схемой.

Анализ изменения электромагнитного поля в вентильных генераторах показывает, что момент генератора периодически изменяется по величине, что неблагоприятно сказывается на работе подшипников и вызывает искажения формы ЭДС обмоток. Особенно это важно учитывать при использовании быстроходных вентильных генераторов. Также важно помнить о силе тяжести, действующей на ротор и обуславливающей неравномерность воздушного зазора. При таких скачках момента этим факторов пренебрегать не рекомендуется, так как это может серьезно повлиять на эффективность работы вентильного генератора.

Быстроходные вентильные генераторы значимы и широко распространены в современной технике. Данные электрические машины являются бесконтактными генераторами переменного тока (БГПТ), якорная обмотка которых подключена к полупроводниковому выпрямителю (В). [2]

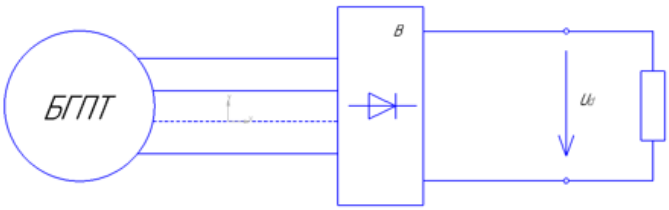


Рис 1 — Структура вентильного генератора

На рисунках ниже представлены электромагнитный момент (рис. 2), график МДС реакции якоря (рис. 3) и диаграммы фазных напряжений и токов вентильного генератора (рис. 4) с идеальными вентилями.

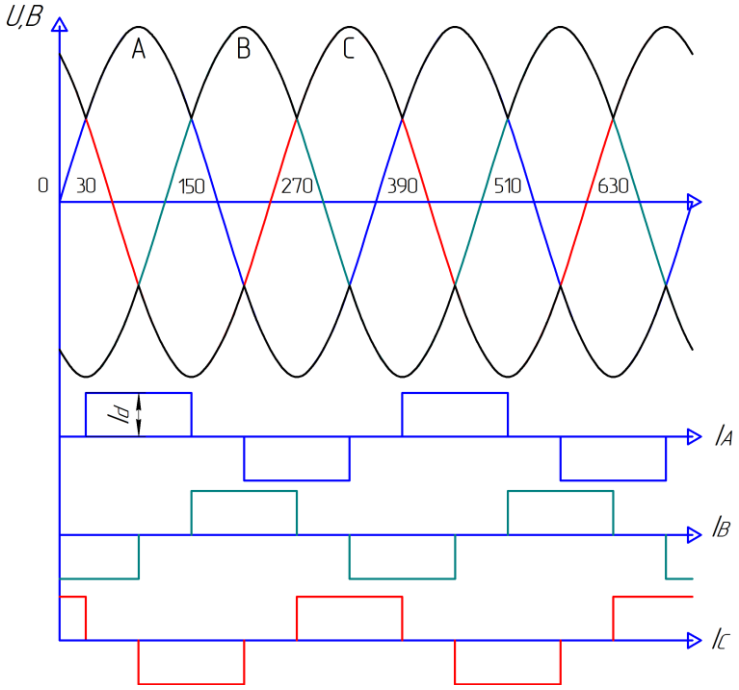


Рис. 2 — Диаграммы фазных напряжений и токов вентильного генератора без учета индуктивности фаз

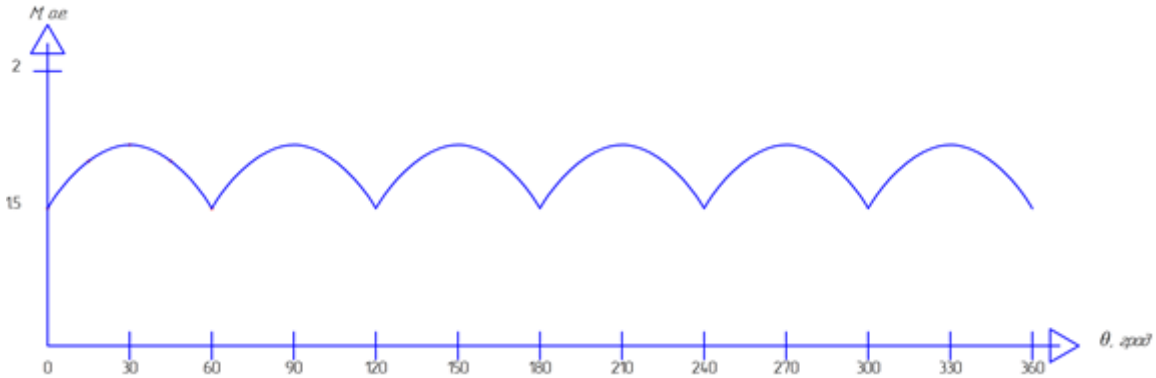
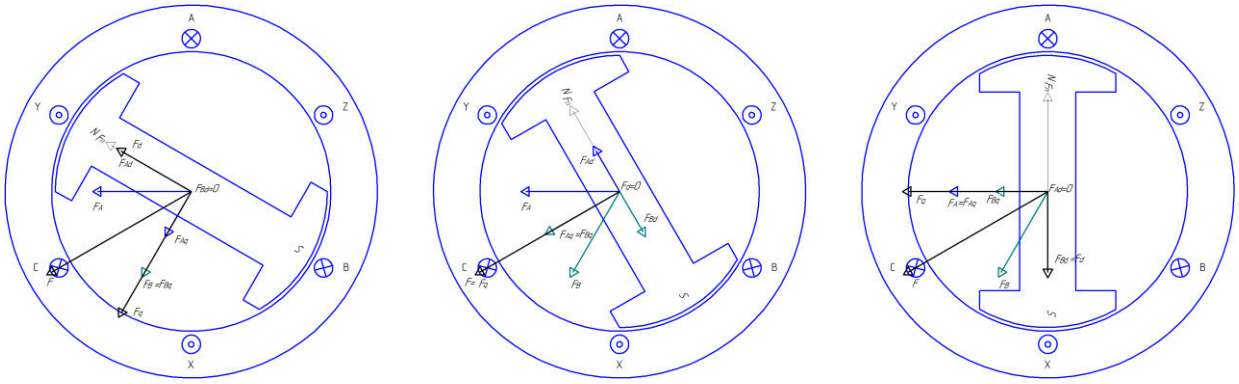


Рис. 3 — Мгновенный момент вентильного генератора без учета индуктивности фаз



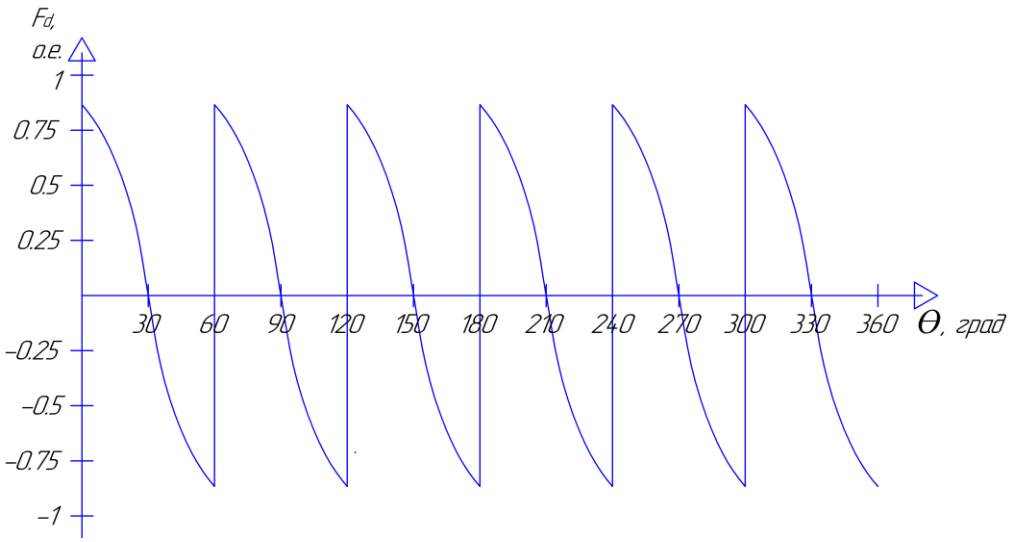


Рис. 4 — МДС реакции якоря вентильного генератора без учета индуктивности фаз

В двухполупериодной схеме выпрямления по сравнению с однополупериодной количество вентилей вдвое больше. Следовательно, период работы вентилей уменьшен вдвое, так как работает пара вентилей, а не один. С увеличение частоты переключения вентилей повышается частота пульсаций, но по величине пульсации меньше. Однако, работа пары вентилей обуславливается действием суммарных МДС, то есть складывается из действующих МДС для каждого работающего в данный период вентиля.

На практике из-за наличия индуктивностей в фазах обмотки ток в вентилях нарастает и спадает не мгновенно. Соответственно при работе вентильного генератора переключение вентилей происходит с некоторой паузой, которая называется углом коммутации.

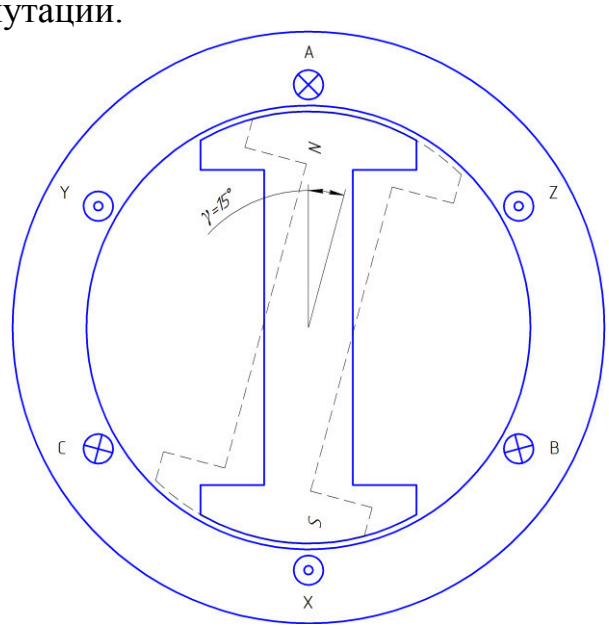


Рис. 5. — Эскиз поворота ротора на интервале коммутации (γ = 15°)

В связи с трудностью анализа процессов условно примем, что ток нарастает линейно. Это добавит небольшую погрешность, но позволит выявить закономерность изменения необходимых нам характеристик на периоде коммутации.

$$I = kI_m; \ (1)$$

На интервале убывания его можно представить, как

$$I = -kI_m; \ (2)$$

Тогда МДС фазы В можно представить, как

$F_B = aI_B = kaI_{Bm}; (3)$

Абсолютное значение момента на промежутке с 0° до 60°, когда протекают токи фаз А и В, можно представить, как

$|\mathrm{M}_{\text{эм}}| = a|\overrightarrow{F_A} + \overrightarrow{F_B}||\overrightarrow{F_N}| \sin\varphi, \qquad (4)$

где φ – угол между направлениями F_A и F_N. a – коэффициент пропорциональности.

На промежутке коммутации между фазами А, В и С действуют как F_A, так F_B и F_C. Соответственно момент на этом участке определяется как

$|\mathrm{M}_{\text{эм}}| = a|\overrightarrow{F_{ABC}}||\overrightarrow{F_N}| \sin\varphi, \qquad (5)$

где F_{ABC} – результирующая МДС фаз при коммутации.

Анализ остальных временных промежутков проводится аналогично

На рисунках 6-8 представлены диаграммы изменения реакции якоря и электромагнитного момента, а также диаграммы фазных напряжений и токов в вентильном генераторе, в котором выпрямитель выполнен по трехфазной двухполупериодной схеме с углом коммутации γ = 15°.

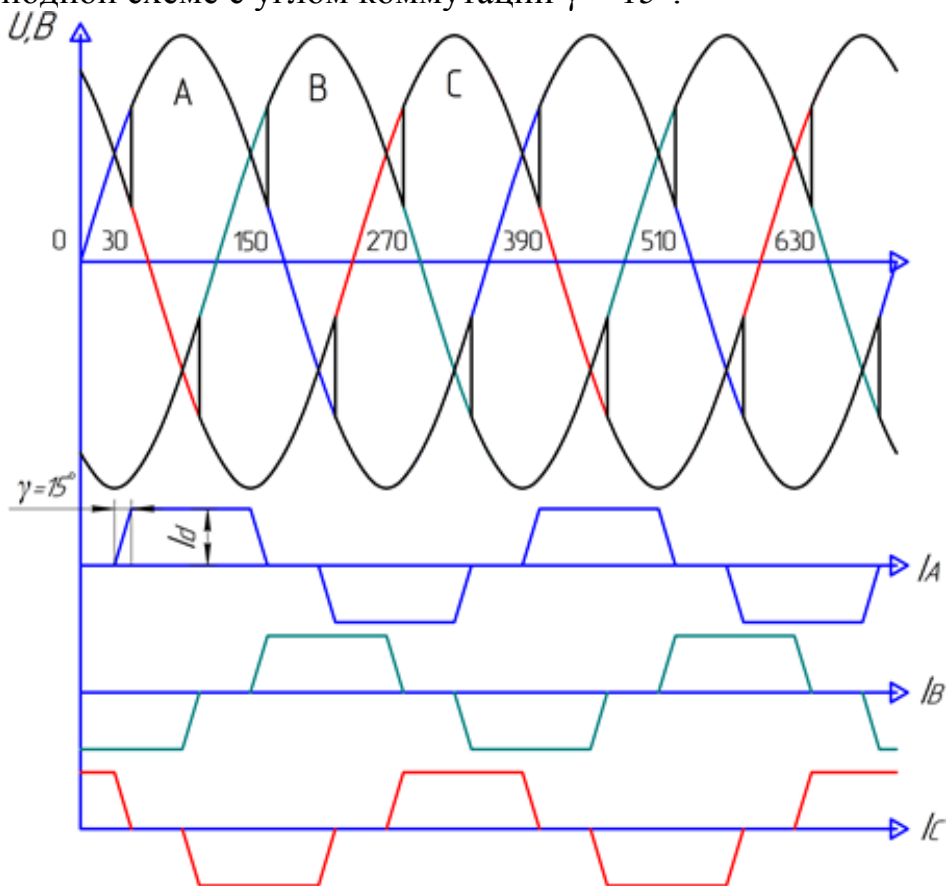


Рис. 6. — Диаграммы фазных напряжений и токов вентильного генератора с учетом индуктивности фаз

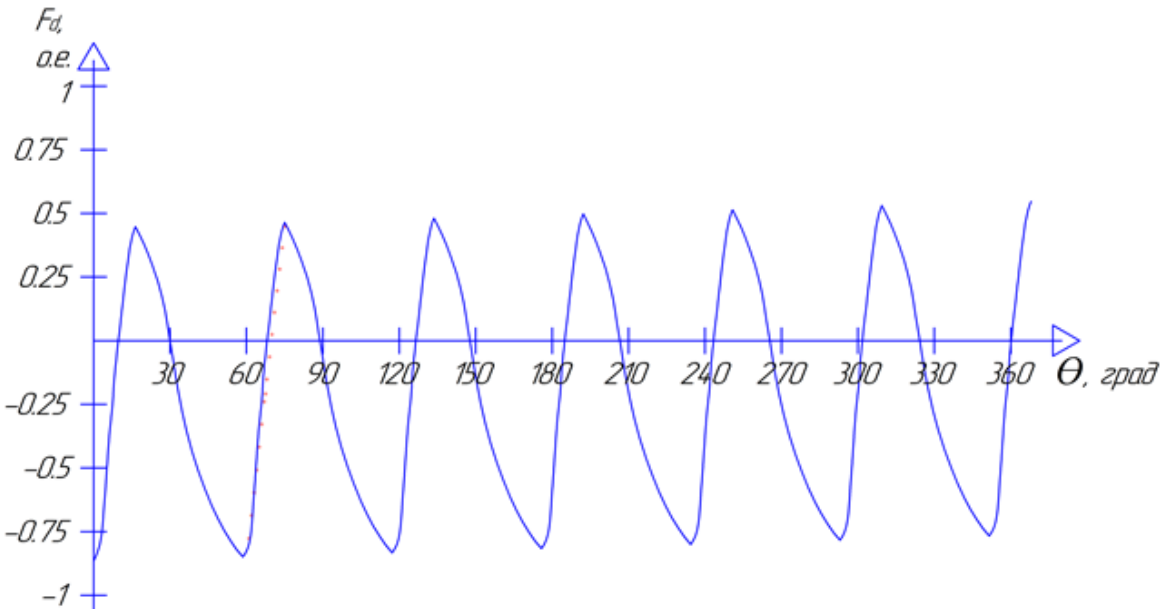


Рис. 7 — МДС реакции якоря вентильного генератора с учетом индуктивности фаз

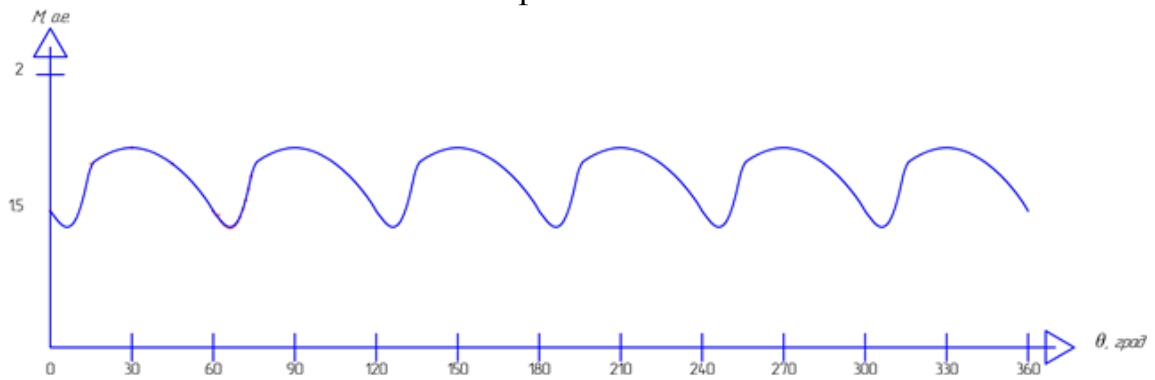


Рис. 8 — Мгновенный момент вентильного генератора с учетом индуктивности фаз

По результату проведённой работы было установлено, что из-за наличия угла коммутации средний момент вентильного генератора имеет повышенное число пульсаций и высших гармоник, диаграмма момента (рис. 8) будет искривляться, что приведёт к увеличению вибраций и ускоренному износу механической части машины. По диаграмме МДС видно, что реакция якоря имеет значительное размагничивающее действие. Следовательно, внешняя характеристика будет более мягкая, чем в идеальной машине, и, как следствие, выходное напряжение окажется ниже.

Литература

1.Балагуров В.А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока. М.: Высш. школа, 1982. 272 с.

2.Божин Ю.М. Вентильные генераторы: Учебное пособие по курсу "Специальные электрические машины". Под ред. В. Ф. Мартынова. – М.: Моск. энерг. ин-т, 1986. – 60 с.

Д.А. Гончаров, студ., М.А. Карташина, студ.; рук. М.А. Кисляков, ст.пр.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ПОТЕНЦИОМЕТРА НА БАЗЕ ATMEGA8

При измерении высоких температур в промышленности в качестве датчиков используются термопары. Термопара – пара проводников из различных материалов, соединённых на одном конце, использующих термоэлектрический эффект для измерения температуры (МЭК 60584). Принцип действия основан на эффекте Зеебека. В случае, когда стыки разнородных проводников находятся при разных температурах, между проводниками возникает разность потенциалов, зависящая от разности температур. Коэффициент пропорциональности в этой зависимости называют коэффициентом термо-ЭДС. В соответствии с ГОСТ Р 8.585-2001 (МЭК 60584) выделяют большое разнообразие типов термопар (R, S, B, J, T, N, K, E, L, M, I и др.), отличающихся различными метрологическими характеристиками - диапазоном измерений, чувствительностью [1].

В СССР для измерения высоких температур до 800 ^{o}C широкое распространение имели термопары L-типа (хромель-копелевые). Для отображения и фиксации температуры от таких термопар промышленностью выпускались специализированные потенциометры типа КСП-3, КСП-4 и другие. В настоящее время данные приборы не выпускаются, а при выходе их из строя возникает необходимость в замене на аналогичное современное оборудование. В настоящее время на рынке имеются современные цифровые модули, обеспечивающие измерение высоких температур с помощью термопар преимущественно K-типа. Такие модули строятся на специализированных микросхемах, например, MAX6675 или MAX31855. Однако данные микросхемы не поддерживают термопары L-типа, что вызывает дополнительные финансовые трудности, обусловленные необходимостью заменить и саму термопару, цена которой сопоставима с стоимостью цифрового устройства измерения температур.

В данной работе предлагается описание разработанного цифрового устройства, позволяющего заменить отслужившие свой срок службы потенциометры без замены самого датчика – термопары.

На рис. 1 представлена схема разработанного устройства.

«Сердцем» устройства служит микроконтроллер ATMEGA8.

Как отмечалось выше, выходное напряжение термопары невысоко (при 500 ^{o}C разность потенциалов составляет порядка 40 мВ), поэтому непосредственное измерение с помощью 10-битного, встроенного в микроконтроллер АЦП, практически невозможно. Следовательно, требуется дополнительное промежуточное звено, позволяющее усилить выходной сигнал термопары по амплитуде и мощности. В качестве такого устройства используется операционный усилитель, собранный по дифференциальной схеме (коэффициент усиления 120), на базе MCP607. Важнейшими характеристиками данного ОУ выступают: низкое напряжение смещения менее 250 мкВ, высокая скорость ра-

боты, высокое усиление разомкнутого контура и размах выходного сигнала от Rail-to-Rail. MCP607 работает от однополярного источника питания.

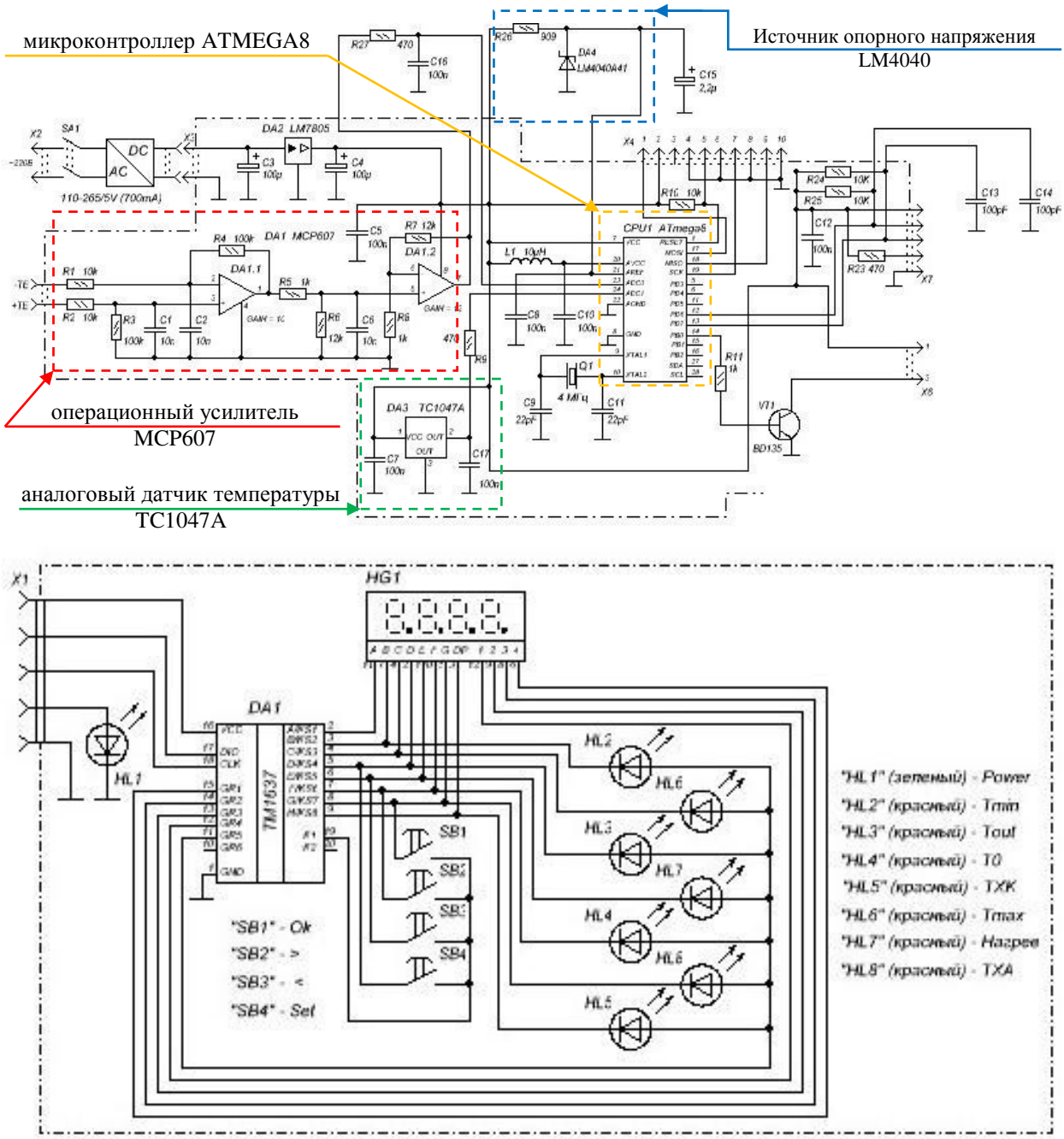


Рис. 1. Схема разработанного устройства для измерения высоких температур

Опорное напряжение для АЦП формируется с помощью специализированного источника опорного напряжения LM4040. Уровень опорного напряжения, формируемый данным элементом, составляет 4,096 В при погрешности, не превышающей 1% и очень низком температурном коэффициенте. Схема включения представлена на рис. 2.

В силу того, что по сигналу от термопары возможно определить только разность температуры между горячим и холодным спаями, для отображения на дисплее абсолютных значений температуры требуется измерить комнатную температуру. За данную функцию в предлагаемом устройстве отвечает анало-

говый датчик температуры (TC1047A). TC1047A обладает следующими основными характеристиками: диапазон измеряемых температур от -40 °C до 125 °C при линейно меняющемся выходном напряжении от 0,1 до 1,75 В.

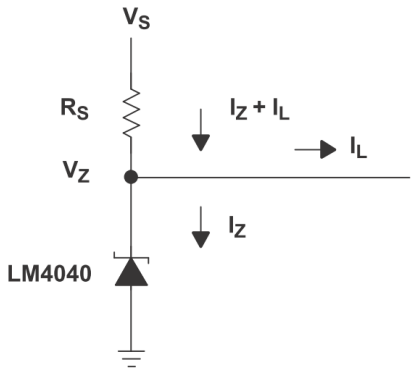


Рис. 2. Схема включения источника опорного напряжения

Основной алгоритм работы устройства состоит в следующем:

1. Выполняется измерение напряжения на аналоговом входе ADC1 подключенного к выходу датчика комнатной температуры.

2. Преобразование измеренного напряжения от датчика температуры в значения температуры.

3. Выполняется измерение напряжения на аналоговом входе ADC0, подключенном к выходу операционного усилителя. Благодаря тому, что используется схема дифференциального усиления, при отсутствии подключения термопары выходной сигнал ОУ будет равен 0.

4. Преобразование измеренного напряжения с порта ADC0 в значения температуры, измеряемой термопарой.

5. Отображение на экране результата измерения как суммы температур, полученных от термопары и от датчика температуры.

Следует отметить, что для термопары L-типа зависимость разности потенциалов от разности температур нелинейна в широком диапазоне измеряемых температур (рис. 3).

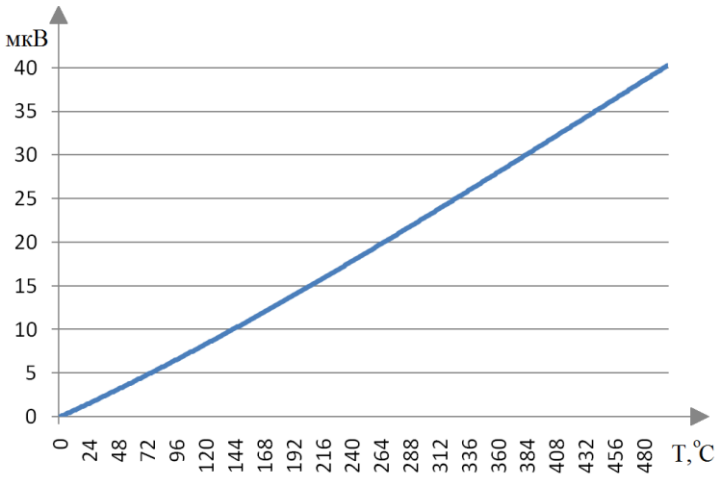


Рис. 3. Нелинейная зависимость между разностью потенциалов и разностью температур горячего и холодного спаев

Применение линейной аппроксимации данной зависимости будет иметь высокую погрешность измерения, достигающую 10 °С в диапазоне измеряемых температур от 0 до 500 °С. Для повышения точности выполнена полиномиальная аппроксимация этой зависимости, позволяющая существенным образом снизить погрешность измерения температуры.

Лицевая панель работающего устройства представлена на рис. 4.

Рис. 4. Внешний вид разработанного потенциометра.

Предлагаемое устройство апробировано и успешно используется на кафедре ТОЭ филиала «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, в лаборатории конструкционного материаловедения, при измерении высоких температур (до 500 °С), создаваемых муфельными и тигельными печами.

Литература

1. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразователей // ГОСТ Р 8.585-2001. – 81 с.
2. Термопара: Википедия. Свободная энциклопедия. – 2020. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0 (дата обращения: 02.03.2021).

М.В. Громовой, студент, А.И. Поздняков, студент;
рук. Р.В. Трушаков, к. т. н.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ НА НУЖДЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Энергетика – это ключевая отрасль всей мировой экономики, которая развивается в неумолимо нарастающей геометрической прогрессии. Если сравнивать увеличение роста численности населения планеты с ростом его потребности в энергии, то можно заметить явную тревожную тенденцию. Несмотря на условия всплеска демографии энергопотребление нашей планеты растет втрое быстрее, чем само количество людей. Также стоит учитывать, что экология оказывает существенное влияние на жизнь человека, и не обращать

внимания на данную проблему уже не представляется возможным. При этом от гарантированной подачи энергии в жилые и рабочие помещения, особенно зимой, или медицинских учреждений зависит и сама жизнь. Именно поэтому в последнее время человечество все сильнее ощущает энергетический дефицит и потребность в альтернативных традиционных источниках энергии.

В настоящее время современная энергетика Земли базируется преимущественно на невозобновляемых источниках, однако повышение стоимости газа, нефти и угля заставляют человечество искать новые источники энергии. Неизбежность угрозы постепенного истощения планеты является также и энергетической проблемой для всего человечества. Проблема отсутствия на рынке возобновляемой энергетики универсальных технических устройств является негативным фактором развития энергетики и в то же время актуальной задачей для практического решения. Тем не менее, атомное и ископаемое топливо все так же доминируют в нашем мире, поэтому имеет смысл комбинировать использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и традиционных.

Переход в краткие сроки на энергоснабжение населения от возобновляемых источников энергии (ВИЭ) не может быть осуществлен по ряду причин. Однако, уже сейчас можно пойти по пути комбинированных источников энергии. Преимущественно их можно использовать в малой энергетике – на маломощных автономных электростанциях. Можно добиться повышения эффективности использования ресурса дизельными генераторами (ДГ) в совокупности с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). К основным их типам относятся: энергия солнца, ветра, геотермальная и малая гидроэнергетика.

Большинство существующих сейчас энергетических систем, использующих ВИЭ, являются технически законченными изделиями, адаптированными под строго определенный тип оборудования. Это обусловлено тем, что параметры генерируемой электроэнергии установками возобновляемой энергетики существенно различаются по основным показателям, таким как частота, род тока и величина напряжения.

Для ВИЭ важно, чтобы комбинирование солнечной и ветряной электроэнергии особенно эффективно при круглогодичном потреблении, поскольку зимой генерация солнечной энергии сильно падает, при этом, как правило, зима - самое ветряное время. Поэтому в настоящее время в мире широко внедрено понятие комбинированные (гибридные) системы электроснабжения (КСЭ), выполненные на базе ВИЭ и традиционных источников электроэнергии.

Также известны несколько способов сопряжения ветроэнергетических установок (ВЭУ), фотоэлектрических установок (ФЭУ) и дизельных генераторов (ДГ) при условии электроснабжения одного потребителя. Все эти варианты построения гибридных электростанций имеют существенные отличия и по используемому оборудованию, и по технико-экономическим параметрам.

Существует и модель ветро-дизельной системы электроснабжения (СЭС), работающей исключительно на переменном токе. Реализация такой схемы не подразумевает наличие преобразователей, но ведет за собой ряд проблем, такие как синхронизация напряжения и частоты.

Уже реализована модель СЭС с использованием энергии как ветра, так и солнца в сопряжении с дизель-генератором. Модель построена на трехфазной сети переменного тока, установлены все необходимые преобразователи, что позволяет проводить расчет краткосрочного периода, однако моделирование долгосрочного периода требует много времени и затруднителен.

Рассмотренные типы комбинированных электростанций позволяют решать следующие задачи:

– осуществлять электроснабжение потребителей, отдалённых от внешних электрических сетей;

– обеспечить бесперебойное электроснабжение ответственных потребителей при частых отключениях сети, колебаниях и отклонениях напряжения;

– уменьшить оплату за электрическую энергию при наличии внешней сети;

– повысить мощности сети при её недостаче (если есть ограничения к подключению сети, к примеру, не более 10 кВт, то добавить недостачу электроэнергии можно от ВСЭ).

Перспективным является направление разработки мобильных ВСЭ, содержащих АБ или (и) бензогенераторы. Мощность таких электростанций может доходить до 10 кВт и более.

Огромную роль в построении любых гибридных электростанций играют накопители электроэнергии – блоки аккумуляторных батарей. Подключенные к сопрягающей шине любого типа с использованием соответствующего преобразователя, они способны существенно улучшить режим работы системы. Использование в составе гибридных электростанций буферных накопителей энергии позволяет снизить долю топливной составляющей за счет замещения энергии, вырабатываемой ДГ, энергией, запасенной в накопителе при работе ВИЭ; значительно увеличить ресурс дизелей путем оптимизации их рабочих режимов; повысить уровень надежности электроснабжения потребителей за счет введения в систему по сути бесперебойного источника питания; улучшить показатели качества генерируемой энергии в динамических режимах.

Основной проблемой при создании комбинированных электростанций является поиск оптимизации затрат, и, как следствие, поиск соотношения количества задействованных элементов. На данный момент отсутствует единственно верная и отработанная методика оптимизации, существуют только концептуальные алгоритмы, которые также имеют определенные достоинства и недостатки.

Например, в зарубежной публикации авторы применяют наиболее удачную схему построения на постоянном токе, но совсем не используются какие-либо накопители энергии. Также было заявлено использование расши-

ренного массива исходных данных солнечной радиации и ветровой нагрузки (365 дней в году, почасово), но в качестве источника была указана метеорологическая станция с крайне малым диапазоном охвата регионов – только Испания, что способствует затруднительному использованию описанного алгоритма на других территориях.

В другой иностранной статье приведено достаточно точное формализованное описание отдельных элементов гибридной схемы с использованием вставки на постоянном токе, также проведен простой, но корректный метод оптимизации затрат, также было произведено сравнение полученных результатов с выходными данными более сложных и точных алгоритмов оптимизации. Существенным недостатком данной работы является полное отсутствие резервного источника питания (ДГ или линии присоединения к магистрали), что позиционирует схему подключения как крайне ненадежную.

Подводя итоги, можно сделать вывод о том, что область использования комбинированных источников в малой энергетике на нужды освещения исследована далеко не полностью не только на территории РФ, но и за границей. Существует множество предложений, методик, разработок, но еще ни одна не признана эталоном, что открывает перед наукой широкие возможности для новых открытий.

Литература:

1) Применение буферных накопителей энергии для повышения энергоэффективности ветродизельных электростанций / Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Шутов Е.А., Хошнау З.П. // «Электричество» №6 – 2012 – С. 24-29.

2) Сравнительный анализ схем построения автономных электростанций, использующих установки возобновляемой энергетики / Обухов С.Г., Плотников И.А. // Промышленная энергетика. - 2012 - №. 7 - С. 46-51.

М.И. Иванов, студ.; Л.Ю. Павлова, студ.; рук. В.А. Галковский, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Тепловая энергия – это обязательное условие для полноценной жизнедеятельности человека и любого живого существа, а также для создания приятных условий для быта. Для повышения надежности и экономичности системы теплоснабжения необходимо более рационально проектировать тепловые схемы котельных или тепловых пунктов, а также больше внедрять технологии, которые помогут увеличить энергосбережения. Данные улучшения энергосбережения и повышения надежности системы улучшает перспективы развития теплоэнергетики.

Тепловой пункт – это комплект оборудования, расположенный в специальном здание, позволяет присоединять тепловые установки к тепловой сети, что позволяет изменять температурный и гидравлический режим теплоносителя, обеспечивается учёт и регулирование расхода теплоносителя и потери тепловой энергии.

Есть два вида тепловых пункта: индивидуальный и центральный тепловые пункты. В обоих типах предусмотрено присоединение систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения. Отличительной чертой этих типов является количество подключаемых зданий. В ИТП можно подключить одно здание, а в ЦТП можно подключать два и более здания.

Основная задача индивидуального и центрального тепловых пунктов является процесс автоматизация распределения тепловой энергии, которая нужна для теплового обслуживания домов.

Индивидуальные тепловые пункты (ИТП) – это комплект устройств, установленный в отдельном помещении, используется для распределения тепловой энергии, которая поступает от тепловой сети или напрямую от ТЭЦ к системам отопления, вентиляции и ГВС жилых и производственных помещений.

Индивидуальные тепловой пункты состоят из систем ГВС, которая необходима для подачи горячей воды в помещение, а также системы холоднокровного водоснабжения. Еще не мало важным элементами является система отопления и вентиляции, которые необходимы для поддержания температуры воздуха внутри помещения.

Основным оборудованием в ИТП и в ЦТП является теплообменное оборудование. Теплообменники используются для систем отопления и ГВС. Теплообменным аппаратом (теплообменником) называется устройство, в котором происходит передача теплоты от одной среды к другой.

Основные виды, которые используются в ИТП это кожухотрубчатые и пластинчатые теплообменные аппараты. По теплоносителям для ИТП используется водо – водяной или паро – водяной.

Центральный тепловой пункт (ЦТП) – это комплект устройств, используемый для подключения систем отопления и ГВС микрорайона к распределительным тепловым сетям городской тепловой сети и водопровода.

В связи с большим объемом жилых зданий возникла необходимость в строительстве более крупных, центральных тепловых пунктов (ЦТП), для которых отводились отдельное место вблизи жилого микрорайона.

В центральном тепловом пункте предусматривается размещение теплообменного оборудования, арматуры, приборов контроля, управления и автоматизации.

Схема подключения ЦТП не отличается от схемы подключения ИТП. Отличием является только то, что ИТП подключается только к одному зданию, за счёт чего и получил своё название «индивидуальный», а ЦТП подключается к двум и более зданиям. На рисунке 1 изображено схематично отличие подключения ИТП и ЦТП.

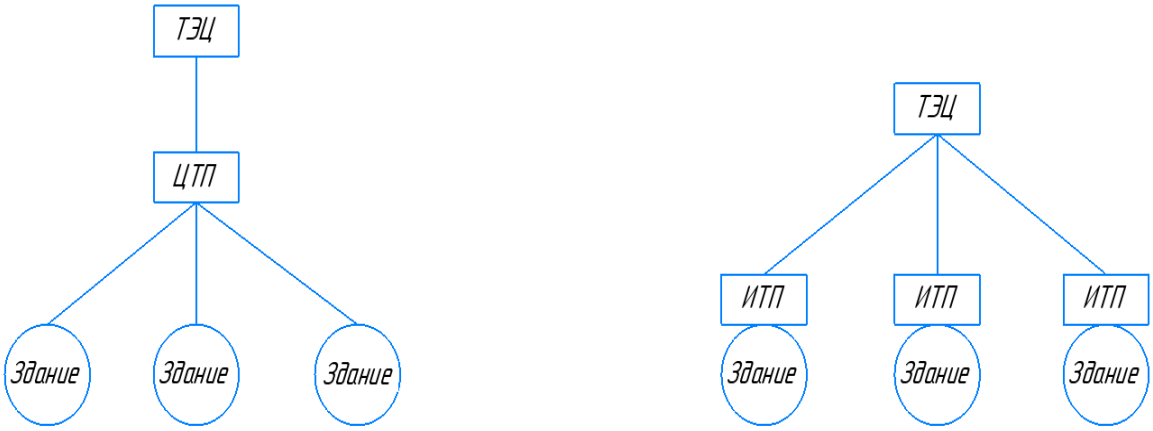


Рисунок 1 – Схемы присоединения здания через ЦТП и ИТП

По составу оборудования, их назначения и схемы подключения ничем не отличаются от ИТП. Отличие будет только в размерах, место расположения здания и количества оборудований в них. Это связано с увеличенной тепловой нагрузкой, чем у ИТП в связи с большим количеством потребителей.

Исходя из общей конструкции ИТП и ЦТП, они ничем не отличаются. Оба являются «посредниками» между ТЭЦ и потребителем. Выполняют одинаковые функции. Главным отличием является только количество подключенных зданий. Но помимо всего этого, ЦТП и ИТП имею свои плюсы и минусы по отношению друг к другу.

ЦТП имеет свои плюсы по сравнению с ИТП:

•ЦТП требует меньше затрат на обслуживание, чем ИТП. Это связано с тем, что ЦТП подключен к нескольким зданиям, и имеет количество оборудования, как ИТП, подключенный к одному зданию.

•ЦТП имеет меньше объем запасных частей по сравнению с ИТП. Это связано с тем же, что ЦТП имеет меньше оборудования, чем ИТП.

•Имеет более высокую надежность по сравнению с ИТП. Это связано с тем же, что ЦТП имеет меньше оборудования, чем ИТП.

Но также ЦТП имеет свои минусы по сравнению с ИТП:

•ЦТП не может обеспечить равномерный температурный напор для всех подключенных зданий. В связи с этим здания, которое располагаются ближе к ЦТП будет перегрето, а здания, которое располагаются дальше от ЦТП, будет холодным. А в ИТП температурный напор устанавливается индивидуально для конкретного здания.

•Нет возможности установить оптимальную температуру горячей воды для конкретного здания. Все здания, подключённые к ЦТП, имеют разную длину трубопроводов. Таким образом горячая вода остывает по пути от ЦТП до конкретного дома по-разному. А в ИТП температура горячей воды оптимальна, так как теплообменный аппарат ГВС установлен непосредственно в доме, а значит

потери тепловой энергии по трубопроводам незначительны и практически равны 0.

•Циркуляция горячей воды не обеспечивается полноценно, поэтому в некоторых квартирах у потребителя из смесителя с горячей водой сначала идёт холодная вода. А в ИТП обеспечена постоянная циркуляция горячей воды в доме, следовательно, у потребителя из смесителя с горячей водой всегда идёт горячая вода.

•Большие потери тепловой энергии по трубопроводам от ЦТП до потребителя. А в ИТП, потери тепла незначительны, так как длинна магистральных труб от точки врезки в тепловые сети до ИТП минимальны.

•Если произошла неисправность в ЦТП, то без горячей воды и тепла окажутся все дома, подключенные к данному пункту. А в ИТП меньше количество аварийных ситуаций, ведущих к отключению тепла у потребителей.

•В ЦТП ежегодно летом проводиться плановое отключение горячей воды у потребителя на длительный срок для проведения технического обслуживания и профилактического ремонта. А в ИТП отключение горячей воды не затрагивает сразу большое количество потребителей, профилактическое обслуживание занимает малый срок.

Для сравнительного анализа необходимо произвести расчёт площади поверхности теплообмена и сравнить капиталовложения на теплообменники в условии строительства ИТП для каждого здания или одного ЦТП для района. В настоящее время наиболее востребованными считаются пластинчатые теплообменники.

Расчёт будет производиться для микрорайона, состоящего из восьми домов: три дома 9 этажных с тепловой нагрузкой на отопление 900 кВт и на ГВС 150 кВт, пять домов 5 этажных с тепловой нагрузкой на отопление 450 кВт и на ГВС 90 кВт. Нагрузка представлена для каждого отдельного здания.

Результаты расчёта системы отопления ИТП с пластинчатым теплообменником для девятиэтажных зданий и их стоимость представлены в таблице 1.

Таблица 1

	Температурный график 95/70 ºС	Температурный график 110/70 ºС	Температурный график 130/70 ºС	Температурный график 150/70 ºС
F, м^2	71,07	54,72	30,33	27,88
Цена, руб.	694 522	550 757	278 048	264 251

Результаты расчёта системы отопления ИТП с пластинчатым теплообменником для пятиэтажных зданий и их стоимость представлены в таблице 2.

Таблица 2

	Температурный график 95/70 ºС	Температурный график 110/70 ºС	Температурный график 130/70 ºС	Температурный график 150/70 ºС
F, м^2	35,53	27,36	15,16	13,94
Цена, руб.	362 853	261 401	158 812	147 985

Результаты расчёта системы ГВС ИТП с пластинчатым теплообменником для девятиэтажных зданий и их стоимость представлены в таблице 3.

Таблица 3

	Температурный график 95/70 ºС	Температурный график 110/70 ºС	Температурный график 130/70 ºС	Температурный график 150/70 ºС
F, м^2	2,12	1,85	1,62	1,47
Цена, руб.	46 036	44 590	41 325	37 791

Результаты расчёта системы ГВС ИТП с пластинчатым теплообменником для пятиэтажных зданий и их стоимость представлены в таблице 4.

Таблица 4

	Температурный график 95/70 ºС	Температурный график 110/70 ºС	Температурный график 130/70 ºС	Температурный график 150/70 ºС
F, м^2	1,41	1,24	1,10	1,0
Цена, руб.	36 613	34 257	33 079	31 901

Результаты суммарной стоимости оборудования для ИТП для всего микрорайона представлена в таблице 5.

Таблица 5

	Температурный график 95/70 ºС	Температурный график 110/70 ºС	Температурный график 130/70 ºС	Температурный график 150/70 ºС
∑Цена оборудования для отопления, руб.	3 897 831	2 959 366	1 628 204	1 532 678
∑Цена оборудования для ГВС, руб.	321 173	305 055	289 370	273 418
∑Цена оборудования для ИТП, руб.	4 219 004	3 264 421	1 917 574	1 806 096

По результатам видно, что наиболее выгодным будет использование температурный график 150/70 ºС. Но в настоящее время данный график не используется в связи с техническими особенностями, поэтому наиболее выгодным будет температурный график 130/70 ºС.

Результаты расчёта системы отопления ЦТП с пластинчатым теплообменником для микрорайона и их стоимость представлены в таблице 6.

Таблица 6

	Температурный график 95/70 ºС	Температурный график 110/70 ºС	Температурный график 130/70 ºС	Температурный график 150/70 ºС
F, м^2	390,87	300,95	166,79	153,32
Цена, руб.	3 358 778	2 372 090	1 362 961	1 266 213

Результаты расчёта системы ГВС ЦТП с пластинчатым теплообменником для микрорайона и их стоимость представлены в таблице 7.

Таблица 7

	Температурный график 95/70 ºС	Температурный график 110/70 ºС	Температурный график 130/70 ºС	Температурный график 150/70 ºС
F, м^2	10,44	8,94	7,66	6,80
Цена, руб.	121 766	110 469	98 968	90 419

Результаты суммарной стоимости оборудования для ИТП для всего микрорайона представлена в таблице 8.

Таблица 8

	Температурный график 95/70 ºС	Температурный график 110/70 ºС	Температурный график 130/70 ºС	Температурный график 150/70 ºС
∑Цена, руб.	3 480 544	2 482 559	1 461 929	1 356 632

По результатам видно, что наиболее выгодным будет температурный график 130/70 ºС, аналогично расчётам ИТП.

По результатам стоимостного расчёта можно сделать вывод, что экономически выгодно для данного микрорайона использовать ЦТП. Это связано с меньшим количеством оборудования, и, следовательно, меньшими начальными капиталовложениями. Сравнение производилось только по результатам расчёта площади поверхности теплообменников без учета стоимости трубопроводов теплосети.

Литература

- СП 124.13330.2017 Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003
- Руководство по проектированию тепловых пунктов / ВГНИПИИ Атомтеплоэлектропроект Миэнерго СССР, МНИИТЭП ГлавАПУ Мосгорисполкома, ГПИ Сантехпроект Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1983 г. – 72 с. Актуализация 2017 год
- Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов. – М.: Издательство МЭИ, 2009. – 472 с

С.К. Калашников студ.; рук. М.А. Кисляков, ст. пр.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРОБЛЕМЫ ПРИ РАСЧЁТЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА. АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ

ВВЕДЕНИЕ

При разработке и производстве новых типов электрических устройств для нужд промышленности и сельского хозяйства необходимо учитывать высокие технические характеристики разрабатываемых устройств. Современное проектирование, используемое для разработки разнообразных электромеханических устройств и получения быстрого наглядного результата, пользуется большим выбором универсальных программных продуктов. Но если проектировщик осуществляет расчёт без компьютерной реализации, то как правило получается невысокий уровень точности. Данная проблема связана с тем, что используемые ранее методологические инженерные решения для нивелирования громоздкости вычислений содержали достаточно много упрощений, которые приводили к снижению точности.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В данной работе предлагается к рассмотрению причины и механизм возникновения погрешности при проведении расчётов активного сопротивления обмотки электрического устройства постоянного тока. Будет показано, что возникающая погрешность связана с ошибкой в определении средней длины витка обмотки при округлении количества слоёв обмоточного провода. Будут рассмотрены зависимости погрешности от различных факторов и предложен алгоритм расчёта, позволяющий исключить возникновение рассмотренной погрешности в расчётах.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В методике расчёта электромагнита постоянного тока [1] активное сопротивление обмотки определяется по формуле: $R = \frac{4 \times \rho_t \times l_{ср} \times \omega}{\pi \times d^2}$, (1)

где ρ_t - удельное электрическое сопротивление материала обмоточного провода при температуре t; ω- количество витков обмотки; d - диаметр обмоточного провода с изоляцией; $l_{ср}$ - длина среднего витка обмотки.

Для электромагнитов с сердечником прямоугольного поперечного сечения:

$$l_{ср} = 2 \times (a + b + 4 \times l_{и1}) + \pi \times h\,, \quad (2)$$

где a - ширина сердечника электромагнита; b - толщина пакета магнитопровода электромагнита; $l_{и1}$ - толщина изоляции между внутренней поверхностью обмотки и сердечником электромагнита (толщина каркаса) (рис. 1); h - высота обмотки.

Высота обмотки определяется по формуле: $h = n_{р1} \times d\,,$ (3)

где $n_{р1}$ - количество слоёв обмотки.

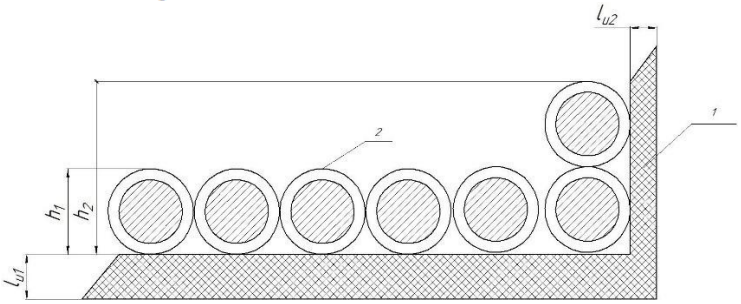


Рис. 1. Объяснение возникновения погрешности при расчёте по варианту А. Принимается h = h_2: 1 - каркас катушки; 2 - обмоточный провод

Так как, как правило наружный слой обмотки электромагнита оказывается неполным, и, при определении высоты h, необходимо решить, учитывать или нет его толщину.

В случае обмоток, изготовленных из провода, имеющего малое сечение и с большим количеством слоёв, указанная проблема не является существенной, так как, в этом случае толщина одного слоя несоизмеримо мала по сравнению с общей высотой обмотки. Если обмотка содержит небольшое количество слоёв, намотанных проводом большого диаметра, то справедливо предположить, что округление числа слоёв в ту или иную сторону может стать причиной возникновения значительной погрешности при расчёте сопротивления провода обмотки.

Ниже будут перечислены возможные варианты при определении количества слоёв обмотки.

Вариант А - образованием нового слоя считается появление хотя бы одного витка в этом слое. В этом случае для дальнейшего расчёта принимается число слоёв:

$$\begin{cases} n_{р1} = n + 1, & \text{если } n_р > n; \\ n_{р1} = n, & \text{если } n_р = n. \end{cases} \quad (4)$$

где n - число слоёв (целое); $n_р$ - расчётное (не округлённое) число слоёв.

Целое число слоёв определяется по формуле: $n = \left[\frac{\omega}{\omega_1}\right]$, (5)

где ω_1 - количество витков в одном полном слое обмотки:

$$\omega_1 = \left[\frac{h_k - 2\times l_{и2}}{d} \times k - 1\right], \quad (6)$$

где h_k - высота каркаса катушки (рис. 2); $l_{и2}$ - толщина торцевой стенки каркаса катушки (рис. 1); k – коэффициент укладки который учитывает плотность укладки проводов в процессе их намотки.

Расчётное (не округлённое) число слоёв определяется по формуле: $n_р = \left[\frac{\omega}{\omega_1}\right]$. (7)

Вариант Б - образованием нового слоя считается полное его заполнение. Принимаемое для расчёта количество слоёв: $n_{р1} = n = \left[\frac{\omega}{\omega_1}\right]$ (8)

Вариант В - Количество слоёв определяется по правилам округления:

$$\begin{cases} n_{р1} = n, & \text{если } n_р = n + 0.5; \\ n_{р1} = n + 1, & \text{если } n_р \geq n + 0.5. \end{cases} \quad (9)$$

Вариант Г - По формуле (5) определяется количество полных слоёв обмотки, а количество витков в неполном слое - по формуле: $\omega_{н.с.} = \omega - n \times \omega_1$. (10)

Определяется длина обмоточного провода:

$$L = \omega_{н.с.} \times l_{н.с.} + n \times (\omega_1 \times l_{п.с.}), \quad (11)$$

где $l_{н.с.}$ - длина витка провода в неполном слое; $l_{п.с.}$ - средняя длина витка обмоточного провода в полных слоях.

При рядовой намотке: $l_{п.с.} = 2 \times (a + b + 4 \times l_{и1}) + \pi \times n \times d$, (12)

$$l_{н.с.} = 2 \times (a + b + 4 \times l_{и1}) + \pi \times d \times (2 \times n + 1) \quad (13)$$

При шахматной намотке:

$$l_{п.с.} = 2 \times (a + b + 4 \times l_{и1}) + \pi \times d \times \left(1 + \frac{\sqrt{3}\times(n-1)}{2}\right) \quad (14)$$

$$l_{н.с.} = 2 \times (a + b + 4 \times l_{и1}) + \pi \times d \times \left(3 + \sqrt{3} \times (n - 1)\right) \quad (15)$$

Электрическое сопротивление провода обмотки: $R = \frac{4\times\rho_t\times L}{\pi\times d_{б.и.}{}^2}$, (16)

где $d_{б.и.}$ - диаметр провода обмотки без изоляции.

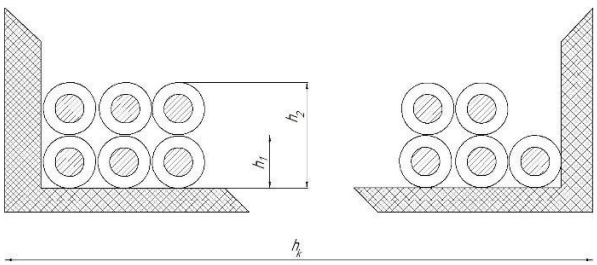


Рис. 2. Объяснение возникновения погрешности при расчёте по варианту Б. Принимается $h = h_1$

Если для определения количества слоёв используется вариант (А), то, очевидно, что при расчёте сопротивления обмотки по формуле (1) более точный результат будет получен, когда принимается $h = h_1$ (рис. 1). Если принять $h = h_2$, то будет допущена погрешность, относительная величина которой составит:

$$\delta = \frac{|R_2 - R_1|}{R_1} \times 100\% = \frac{\pi \times d}{2 \times (a + b + 4 \times l_{и1}) + \pi \times n_{p1} \times d} \times 100\% = \frac{\pi \times d}{D + \pi \times n_{p1} \times d} \times 100\%,$$

(17)

где D - внутренний периметр обмотки;

$$R_1 = \frac{4 \times \rho_t \times \omega \times l_{h1}}{\pi \times d^2} = \frac{4 \times \rho_t \times \omega \times (2 \times (a + b + 4 \times l_{и1}) + \pi \times h_1)}{\pi \times d^2}, \quad (18)$$

где l_{h1} - длина среднего витка обмотки, если её высота равна h_1;

$$R_2 = \frac{4 \times \rho_t \times \omega \times l_{h2}}{\pi \times d^2} = \frac{4 \times \rho_t \times \omega \times (2 \times (a + b + 4 \times l_{и1}) + \pi \times h_2)}{\pi \times d^2}, \quad (19)$$

где l_{h2} - длина среднего витка обмотки, если её высота равна h_2.

С использованием формулы (17) получены зависимости относительной погрешности от различных факторов (рис. 3, 4, 6 и 7).

Величина погрешности при определении количества слоёв по варианту (Б) такая же, а по варианту (В) приблизительно в два раза меньше, чем в случае использования варианта (А). При использовании предложенного варианта (Г) рассмотренная погрешность не возникает вообще.

Значения внутреннего периметра обмотки D обозначены следующим образом:

Номер значения	*δ1*	*δ2*	*δ3*	*δ4*	*δ5*	*δ6*	*δ7*	*δ8*	*δ9*
Внутренней периметр обмотки D, м	*0,02*	*0,03*	*0,04*	*0,05*	*0,07*	*0,10*	*0,15*	*0,20*	*0,30*

Количество слоёв обмоточного провода:

Номер значения	*δ1*	*δ2*	*δ3*	*δ4*	*δ5*	*δ6*	*δ7*	*δ8*	*δ9*
Количество слоёв $n_{пр}$	*1*	*3*	*5*	*8*	*12*	*20*	*30*	*40*	*50*

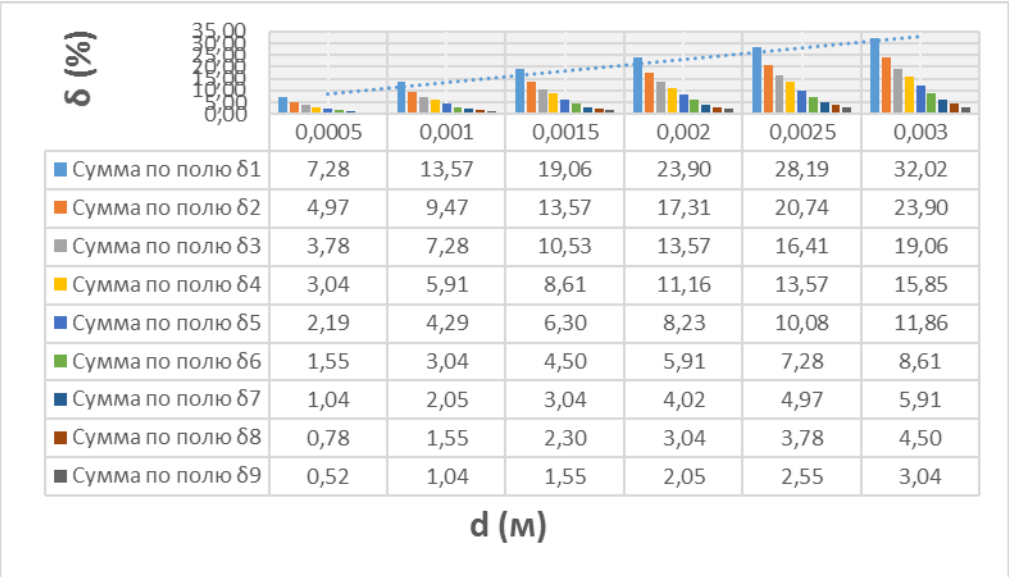
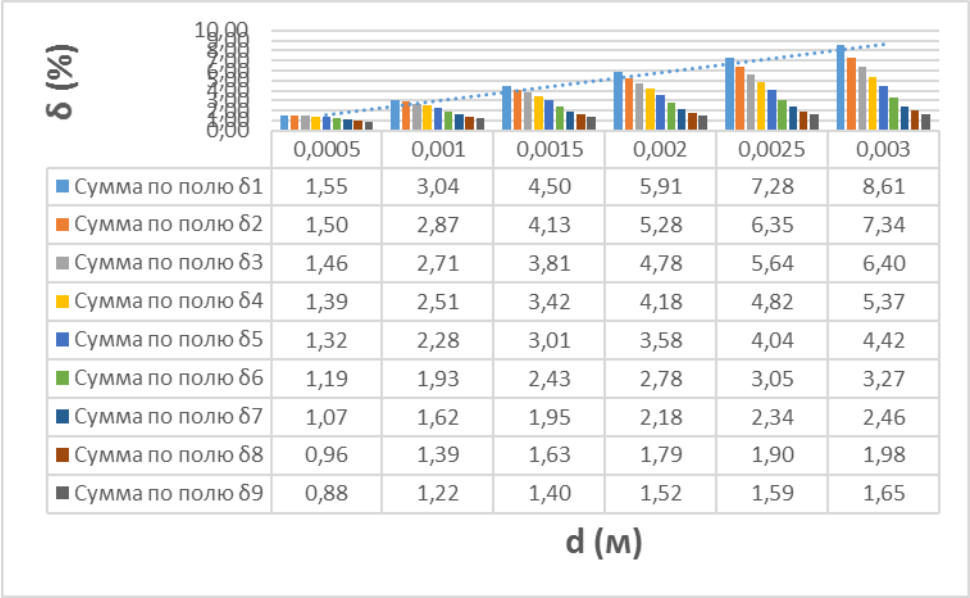


Рис. 3. Зависимость погрешности от диаметра обмоточного провода с изоляцией $d_и = d$ и внутреннего периметра обмотки D



	0,0005	0,001	0,0015	0,002	0,0025	0,003
Сумма по полю δ1	1,55	3,04	4,50	5,91	7,28	8,61
Сумма по полю δ2	1,50	2,87	4,13	5,28	6,35	7,34
Сумма по полю δ3	1,46	2,71	3,81	4,78	5,64	6,40
Сумма по полю δ4	1,39	2,51	3,42	4,18	4,82	5,37
Сумма по полю δ5	1,32	2,28	3,01	3,58	4,04	4,42
Сумма по полю δ6	1,19	1,93	2,43	2,78	3,05	3,27
Сумма по полю δ7	1,07	1,62	1,95	2,18	2,34	2,46
Сумма по полю δ8	0,96	1,39	1,63	1,79	1,90	1,98
Сумма по полю δ9	0,88	1,22	1,40	1,52	1,59	1,65

Рис. 4. Зависимость погрешности от диаметра обмоточного провода с изоляцией d и количества слоёв $n_{пр}=n_{р1}$

ВЫВОДЫ

Анализируя выражение (17) и зависимости, приведенные на рис. 3, 4, 6 и 7, можно сделать следующие выводы: при расчёте по классической методике погрешность δ увеличивается с уменьшением внутреннего периметра обмотки $D = 2 \times (a + b + 4 \times l_{и1})$; Погрешность δ увеличивается с ростом диаметра обмоточного провода d; погрешность δ увеличивается с уменьшением количества слоёв обмотки; погрешность δ увеличивается с увеличением количества витков в одном слое ω_1. По зависимостям (рис. 3, 4, 6 и 7) можно установить, что в наиболее неблагоприятных случаях величина погрешности может достигать 24 %. Использование алгоритма расчёта, предложенного в данной статье (вариант Г), позволяет избежать появления погрешности, обусловленной округлением при расчёте длины среднего витка.

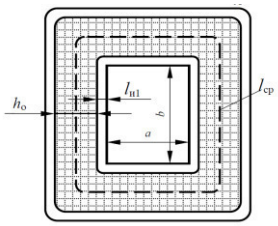


Рис. 5. Определение внутреннего периметра обмотки где: a – ширина сердечника магнитопровода; b – толщина пакета магнитопровода; $h_0 = h$ - высота обмотки; $l_{и1}$ – толщина каркаса катушки; $l_{ср}$ - длина среднего витка

Значения внутреннего периметра обмотки D:

Номер значения	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
Внутренней периметр обмотки D, м	*0,02*	*0,03*	*0,04*	*0,05*	*0,07*	*0,10*	*0,15*	*0,20*	*0,30*

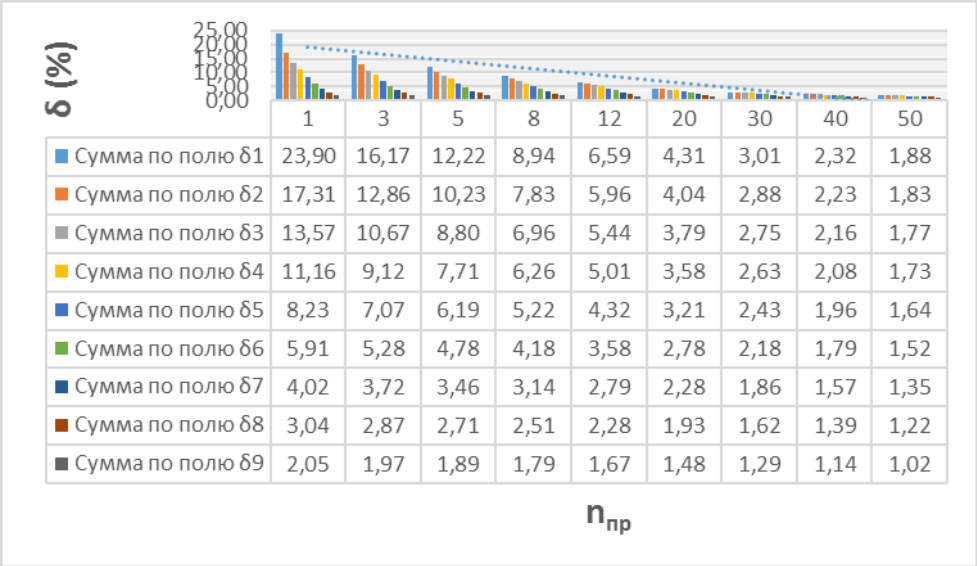


Рис. 6. Зависимость погрешности от количества слоёв провода $n_{пр}=n_{p1}$ и внутреннего периметра обмотки D

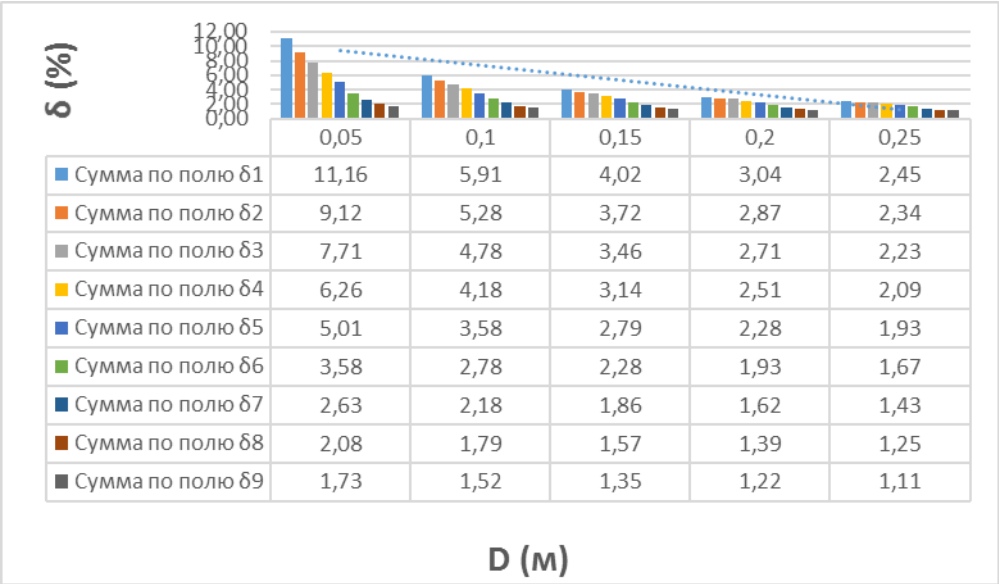


Рис. 7. Зависимость погрешности от внутреннего периметра обмотки D и количества слоёв провода $n_{пр}=n_{p1}$

Количество слоёв обмоточного провода:

Номер значения	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
Количество слоёв $n_{пр}$	*1*	*3*	*5*	*8*	*12*	*20*	*30*	*40*	*50*

ЛИТЕРАТУРА

[1] Гордон А.В., Сливинская А.Г. Электромагниты постоянного тока. - М., - Л.: Госэнергоиздат, 1960. - 447 с.

[2] Ротерс. Электромагнитные механизмы. – М. - Госэнергоиздат, 1949. – 523 с.

М.А. Кисляков, студ.; рук. К.К. Крутиков, к.т.н., доц.

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

АНАЛИЗ РАБОТЫ МОДЕЛИ МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ, РАБОТАЮЩЕГО ГА СКОЛЬЗЯЩИХ РЕЖИМАХ

В настоящее время широкое распространение имеют преобразователи частоты (ПЧ) с промежуточным звеном постоянного тока, получившие название автономных инверторов напряжения (АИН). С появлением на рынке IGBT

транзисторов в последние десятилетия за рубежом и в России, судя по публикациям [1], возрождается интерес к ПЧ с непосредственной связью, получившим название матричных преобразователей частоты (МПЧ).

Однако практическая реализация МПЧ имеет ряд проблем, таких как безопасная коммутация силовых ключей, появление в спектре формируемого выходного напряжения спектра высоких частот и др. Надежность работы преобразователя в целом определяется принятыми алгоритмами коммутации ключей. Существующие МПЧ обладают схожестью в работе с АИН, так как применяют в своем алгоритме управления эффект «квазивыпрямителя» [2], заключающийся в выделении и использовании на каждом шаге работы МПЧ того фазного напряжения источника, которое достигает на данном временном интервале наибольшего значения.

В настоящей статье проводится анализ работы МПЧ, реализующего алгоритм управления, отличный от общепринятых. Особенностью такого алгоритма служит, в первую очередь, отсутствие эффекта «квазивыпрямления» и использование скользящих режимов [3]. На каждом шаге формирование выходного напряжения выполняется последовательно двумя входными напряжениями источника, одно из которых превышает (u_+), а другое (u_-) уступает по уровню значению выходному напряжению ($u_з$). Длительность (τ_+), в течение которой действует на выходе МПЧ входное напряжение u_+, а также время (τ_-), в течение которого действует напряжение u_-, подбираются таким образом, чтобы среднее значение формируемого напряжения на данном шаге было равно $u_з$ (рис. 1).

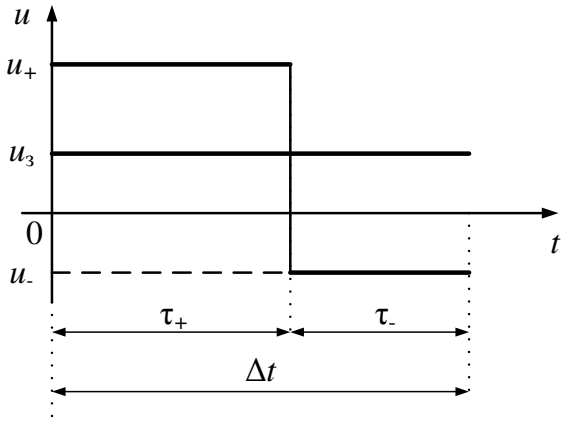


Рис. 1. Реализация «скользящего режима»

На рис. 2 представлена модель анализируемого трехфазного МПЧ, реализующего алгоритм «скользящего режима». МПЧ питается от симметричного трехфазного источника с общей нейтралью.

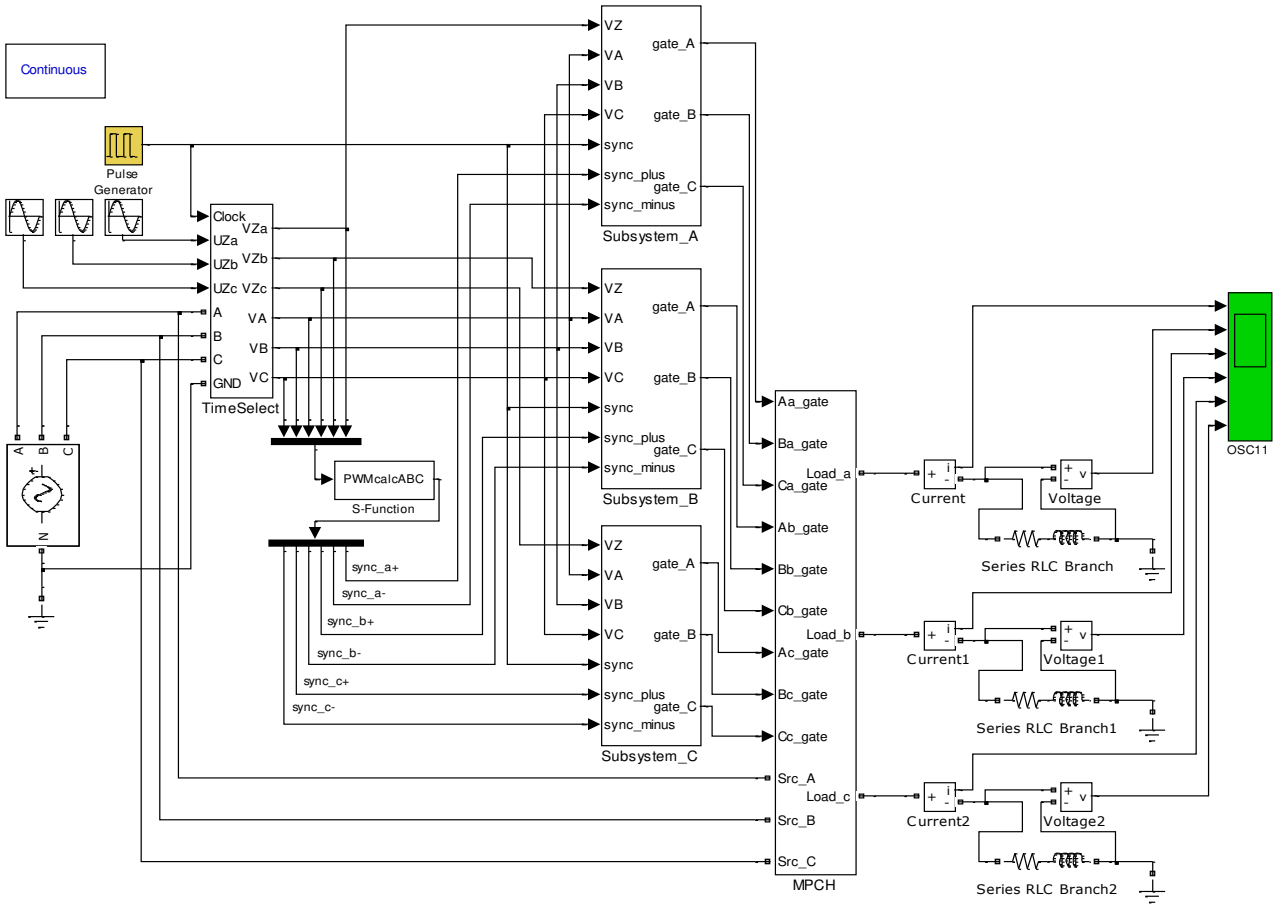


Рис. 2. Модель 3-фазного МПЧ с общей нейтралью, реализующего алгоритм «скользящего режима»

Сигналы управления (*gate_Aa*, *gate_Ba*, *gate_Ca*) IGBT ключами (собранными по мостовой схеме) для формирования выходного напряжения фазы «*a*» в пределах периода представлены на рис. 3.

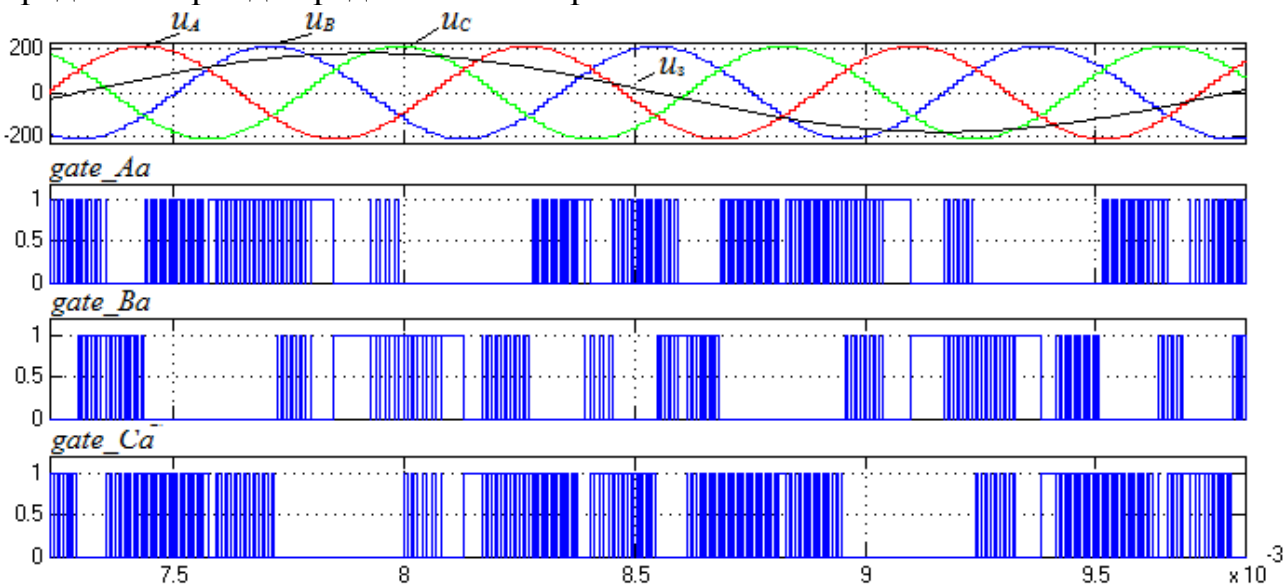


Рис. 3. Сигналы управления IGBT транзисторами при формировании выходного фазного напряжения: u_A, u_B, u_C, $u_з$ – три фазных напряжения источника и напряжение.

Анализ временных диаграмм показывает, что в каждый момент времени открыт только один транзистор, т.е. межфазные замыкания в силовой части МПЧ исключены.

Рассмотрим работу предлагаемого преобразователя на трехфазной симметричной активно-индуктивной нагрузке R = 60 мОм, L = 18 мкГн. В качестве источника выберем идеальный трехфазный генератор с линейным напряжением 260 В (действующее значение) и частотой 1200 Гц. Параметры формируемых выходных фазных напряжений (задания) выбираем следующим образом – фазное напряжение с амплитудным значением 180 В (с учетом отсутствия явления перемодуляции (амплитуда выходного фазного напряжения не должна превышать 0,866 от уровня амплитуды входного напряжения источника)) и частотой 400 Гц.

На рис. 4 представлены осциллограммы выходного фазного напряжения и тока. Из данных осциллограмм видно, что формируемое напряжение имеет пульсирующий характер, огибающая напряжения приближена к синусоидальной форме. Расчет коэффициента гармонических искажений (THD = 0,76) подтверждает наличие в выходном частотном спектре помимо основной гармоники (400 Гц) большое число побочных частот. Форма тока является синусоидальной благодаря активно-индуктивному характеру нагрузки. Входные токи источника также носят пульсирующий характер (рис. 5).

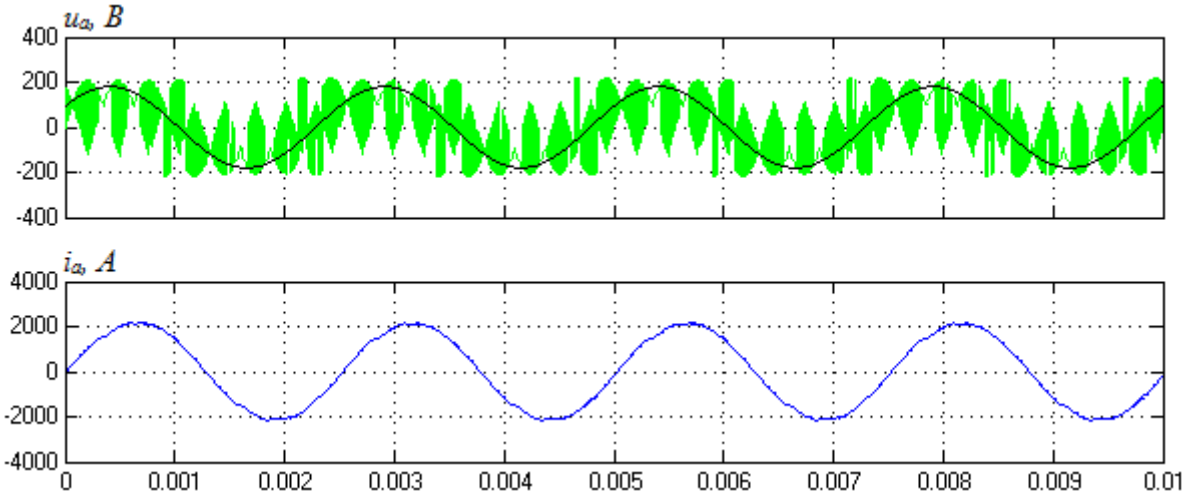


Рис. 4. Выходные фазные напряжения и токи МПЧ (частота первичной сети 1200 Гц)

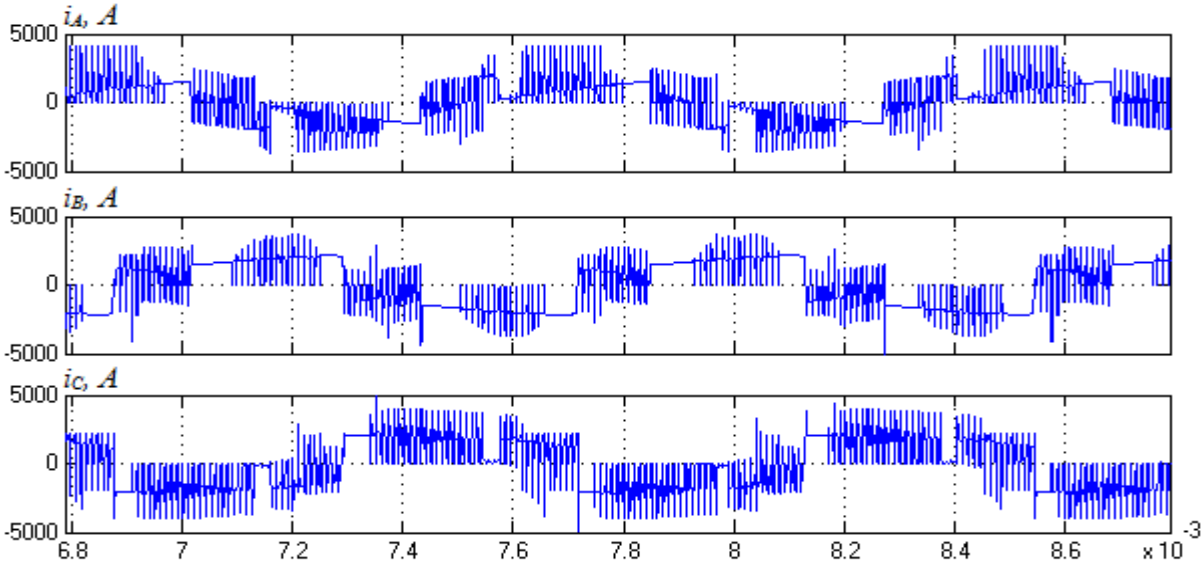


Рис. 5. Фазные токи источника питания МПЧ

В настоящее время большой интерес представляет МПЧ в реализации построения бортовых сетей авиации и автономных объектов, у которых напряжение, генерируемое первичным источником (генератором), может меняться в широких пределах. Таким образом, на МПЧ возлагается еще одна важнейшая задача – стабилизация и поддержание заданной выходной частоты сети (400 Гц). С данной задачей рассматриваемый МПЧ прекрасно справляется. На рис. 6 представлены осциллограммы фазного выходного напряжения и тока МПЧ частотой 400 Гц, при условии увеличения частоты первичного источника в 2 раза (2400 Гц). Значение коэффициента гармонических искажений остается практически неизменным THD = 0,74.

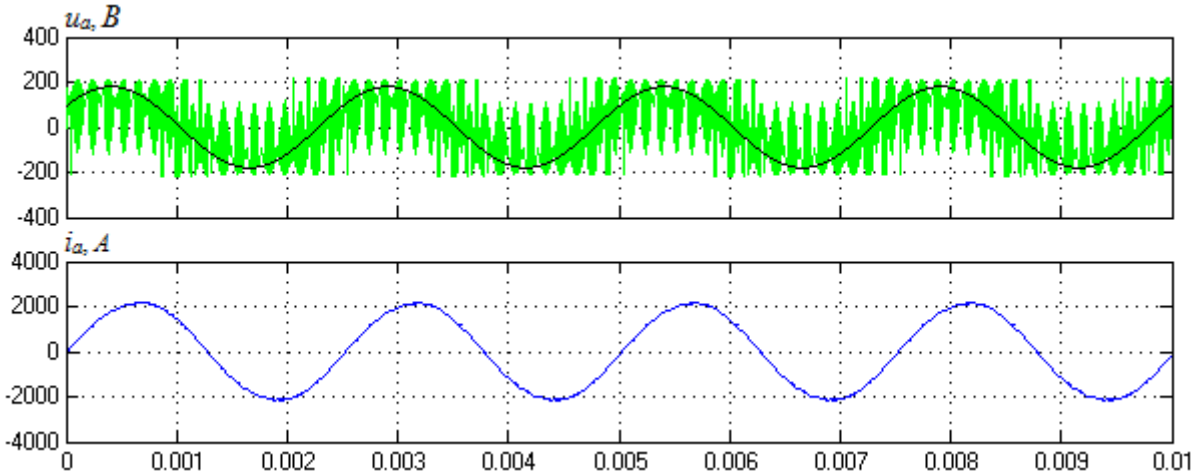


Рис. 6. Выходные фазные напряжения и токи МПЧ (частота первичной сети 2400 Гц)

Для уменьшения пульсаций выходного напряжения, а также снижения значения коэффициента гармонических искажений, можно применить идеологию питания МПЧ от многофазного источника, тем более, что генераторы современных самолётов выполняются шестифазными. На рис. 7 представлены выходные фазные напряжение и ток МПЧ, питаемой от шестифазного генератора. Как видно из осциллограмм, пульсации формируемого напряжения суще-

ственно уменьшились, при этом значение рассчитанного коэффициента гармонических искажений составляет THD = 0,40.

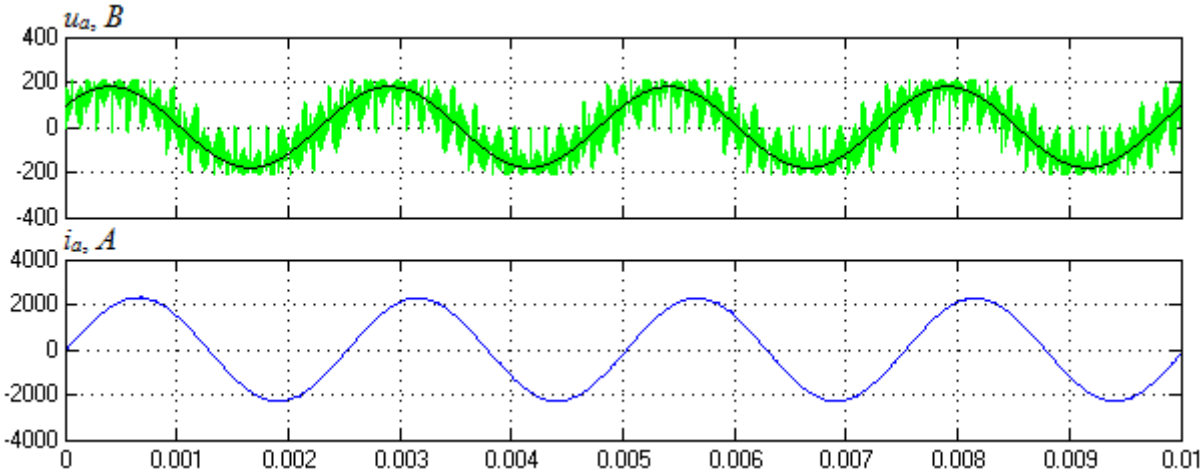


Рис. 7. Выходные фазные напряжения и токи МПЧ, питаемого от 6-фазного генератора

При анализе работы МПЧ было выявлено, что без изменения алгоритма управления к данному преобразователю можно подключать симметричную нагрузку без нейтрального провода (электрические приводы), несмотря на то, что первоначально алгоритм управления МПЧ разрабатывался для формирования трёхфазных напряжений с общей нейтралью. Поэтому работа предлагаемого МПЧ на нагрузку без общей нейтрали требует еще дополнительных исследований. На рис. 8 представлены осциллограммы, формируемые МПЧ, питаемого от трехфазного генератора, для выходного фазного напряжения и тока в симметричной нагрузке без нейтрального провода. Следует обратить внимание, что пульсации формируемого напряжения при этом уменьшаются, а коэффициент гармонических искажений составляет THD = 0,54.

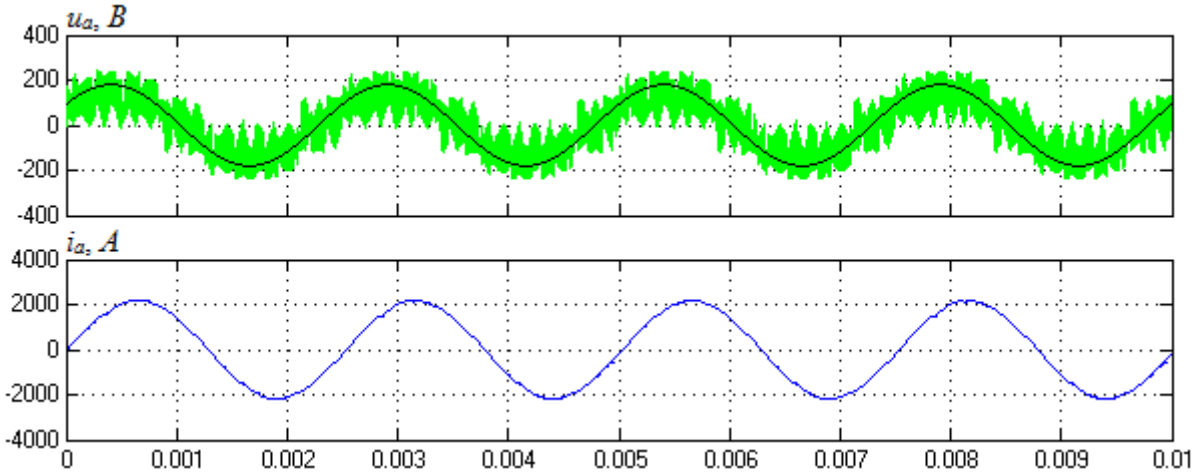


Рис. 8. Выходные фазные напряжения и токи МПЧ при подключении нагрузки без нейтрального провода

Таким образом, модель МПЧ, работающая по алгоритму «скользящего режима», не уступает по показателям надежности работы традиционным алгоритмам управления, а в некоторых случаях даже и превосходит их. Также достоинством предлагаемого МПЧ может служить возможность непосредственного подключения к преобразователю как симметричной трехфазной нагрузки

без нейтрального провода, так и несимметричной трехфазной нагрузки с общей нейтралью. При этом алгоритм управления МПЧ не изменяется. Питание анализируемого МПЧ от шестифазного источника, применяемого в авиационной технике, существенным образом снижает пульсации и коэффициент гармонических искажений формируемого напряжения.

Литература

1. Мещеряков В. Н. Энергосберегающий электропривод на базе матричного преобразователя частоты / В. Н. Мещеряков, Д. В. Байков // Электротехника : сетевой электрон. науч. журн. – 2015. – Т. 2. – № 2. – С. 35–39.
2. Савельев В.А., Шелкунов Р.Г. Имитационная модель матричного преобразователя частоты // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2018 – С. 54-61.
3. Уткин В.И. Скользящие режимы в задачах оптимизации и управления. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 368 с.

А.С. Ковалёва, Т.А. Колденкова студ.; рук. И.А. Кабанова, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ С ЦЕЛЬЮ ОБЕЗАРАЖИВАНИЯ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА

Системы кондиционирования и вентиляции воздуха являются одними из основных инженерных систем обеспечения требуемого микроклимата в зданиях различного назначения, в том числе с учетом особенностей технологических требований соответствующих производственных процессов. Ввиду возникшей эпидемиологической ситуации по препятствию передачи вируса COVID-19 возник вопрос обеззараживания воздуха в медицинских учреждениях, детских садах, школа, в местах массового пребывания людей. Следует отметить, что с помощью систем вентиляции можно производить обеззараживание воздуха, что является актуальным вопросом во времена пандемии. Стоит отметить, что для установки данных систем в вентиляционных камерах требуются значительные капиталовложения, поэтому оценка затрат является важнейшей задачей.

Данные приборы имеют высокое энергопотребление, сложности обеспечения воздухообмена в сложных условиях, крупные капиталовложения. Целью данного исследования является оценить капитальные затраты на установку приборов типа УФБО и УФМО, а так же определить рентабельность их использования.

Наибольшее значение данные системы имею для лечебно-оздоровительный учреждений, так как регулярная дезинфекция воздуха способствует предупреждению передачи заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем и уменьшению риска для врачей и медицинского персонала.

В основе данных систем заложены бактерицидные лампы, принцип их работы основывается на преобразовании электрического разряда в излучение с различной длиной волны 205–315 нм, для обеззараживания существует установленная таблица доз облучения, например, ротавирус погибает при дозе облучения 1400 Дж/м³, COVID-19 при 385 Дж/м³. Таким образом, при подборе правильного количества ламп и установки их в системах вентиляции и конди-

ционирования воздуха есть возможность значительно снизить уровень заболеваемости и распространения вируса.

Работа данных систем сопряжена со значительными затратами энергии, поэтому решение вопросов по повышению эффективности работы систем СКВ, применению наиболее рациональных схем и оборудования на фоне тенденции роста тарифов на энергоносители имеет актуальный характер на современном этапе данные исследования представлены в ранее опубликованных работах[1].

Так же отметим, что данные системы требуют серьезных капиталовложений для установки данных систем, дальнейшего обслуживания и устранения неполадок в случае поломки бактерицидного модуля или самой системы вентиляции. Необходимо учитывать, что требуется правильный подбор толщины изоляционного слоя, так как образующийся конденсат может вывести из строя систему обеззараживания.

Виды обеззараживателей подразделяются на: ультрофиолетовый блочно-секционнный обеззараживатель, данное устройство относится к рециркуляционному типу, имеет встроенную автоматическую систему регулирования, предназначены для помещений от ста квадратных метров и помещениях общего назначения; модуль обеззараживания, который встраивается в приточно-вытяжную систему вентиляции или СКВ, встраиваемая секция бактерицидных ламп имеет собственную автоматику.

Таким образом, рассмотрим примеры установки обеззараживания воздуха в приточно-вытяжных системах и системах кондиционирования воздуха в зданиях общественного назначения.

Система представленная на рисунке 1 показана для помещений с центральной вентиляцией или СКВ. Техническое решение предполагает приток чистого воздуха с его полной бактерицидной обработкой. Забираемый из помещения воздух частично смешивается в приточной системе, понижая затраты на подогрев воздуха.

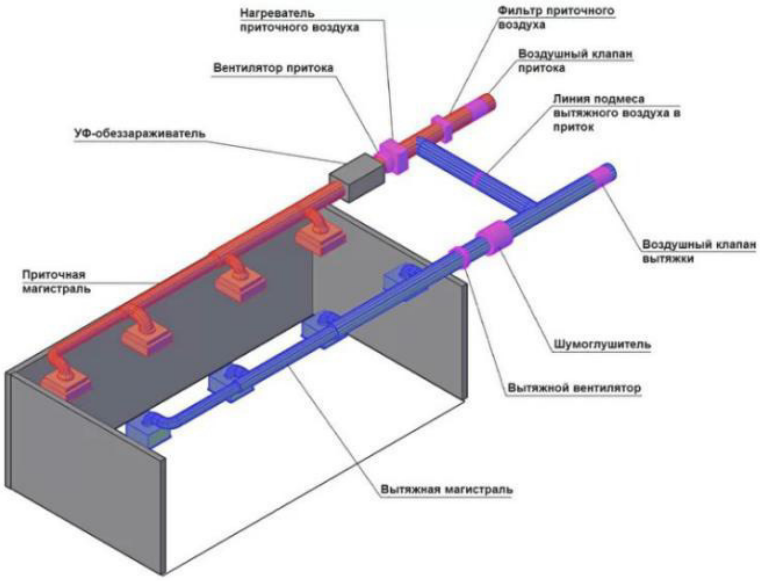


Рисунок 1– Ультрафиолетовый обеззараживатель устанавливаемый в приточную систему с смешением и вытяжки в притока

Данное техническое решение комбинирует в себе все достоинства и обеспечивает приток свежего воздуха. Все болезнетворные бактерии и вирусы устраняются из помещения, что способствуют понижению уровня заболеваемости. Удаляемый воздух проходит этап смешения с приточным, проходит через ультра-фиолетовый обеззараживатель. Таким образом, в помещении сохраняется только чистый стерильный воздух.

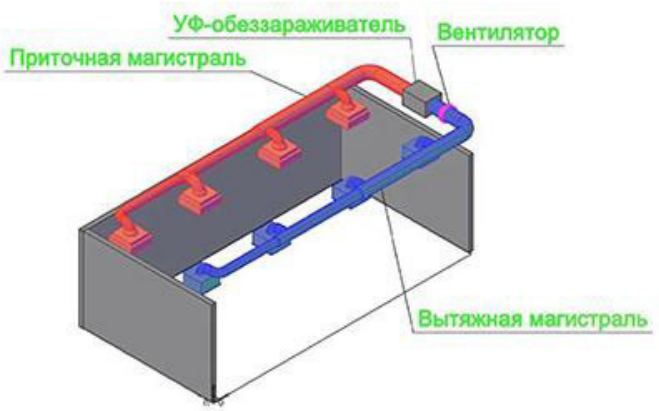


Рисунок 2– Рециркулятор с системой ультрафиолетовой обработки воздуха

Система, представленная на рисунке 2 предназначена для помещений без системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Вентилятор на вводе притока будет устранять воздух из помещения, подавая его в обеззараживатель и, следом в помещение. Данная техническая схема актуальна в операционных хирургических отделениях больниц и стационаров, а также инфекционных отделениях для предупреждения распространения заболеваний передающихся воздушно-капельным путем. Ультрафиолетовые лампы с частотой облучения 253,7 Нм убивают все болезнетворные бактерии и обеспечивают стерильный воздух.

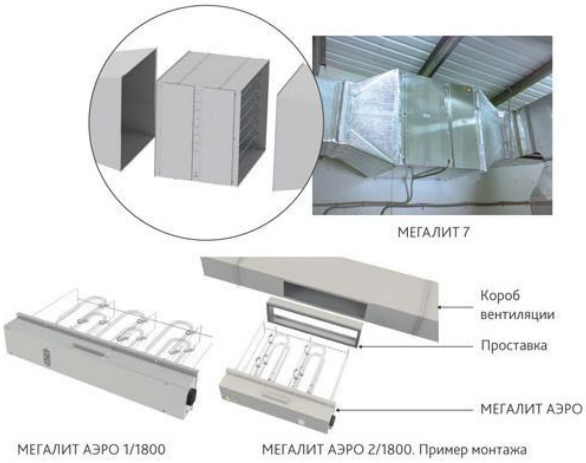


Рисунок 3– Конструкция бактерицидных модулей

Устанавливаемые бактерицидные системы актуальны при установке внутри воздуховодной шахты или в приточном модуле для обеззараживания

внутренней поверхности шахты и воздуха, поступаемого в помещение. При этом происходит или мгновенная инактивация вредных бактерий и вирусов, или замедление роста их количества. Особая активность выражена в зонах образования и скопления влаги, например, поддоны, предназначенные для слива конденсата. Рекомендовано применения фильтров, которые относятся к типу сверхтонкой очистки (ГОСТ Р 51252-99) не стоит при этом акцентировать внимание на высокое гидравлическое сопротивление, дорогостоимсть и короткий срок службы.

Производители ультрафиолетовых ламп низкого давления на основании процесса в инертных газах и парах ртути, благодаря высокоэффективному преобразованию электрической энергии в бактерицидное излучение (30 % и более) и большому ресурсу (1 год и более), обеспечивают значительное, по сравнению с фильтрованием, снижение цены обеззараживания воздуха. Отметим отрицательные последствия: повреждение ртутных лам приводит к полному демонтажу всей системы вентиляции, что несет за собой опасность для здоровья потребителей и большим затратам для устранения инцидента; лампы низкого разряжения в инертных газах и парах ртути имеют низкую мощность примерно 30 Вт причем потребления составляет около 100 Вт, таким образом для обеззараживания большого потока требуется большое количество ламп.

За объект исследования принимаем помещение административного назначения площадью 100 м^{2}с производительностью воздуха 25000 м^3/ч, принятой на основании [1]. Бактерицидный поток лампы в соответствии с рекомендациями принимаем $Ф_{бк}$=225 Вт, коэффициент запаса $К_з$=1,5 и коэффициент использования бактерицидного потока $К_ф$=0,9.

Для ультрафиолетового модуля в системе вентиляции выбор источника ультрафиолетового излучения на основании требований Руководства Р 3.5.1904–04 «Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях» устанавливается на основании формулы:

$$N_л = \frac{П_{ρв} \cdot H_v \cdot К_з}{Ф_{бк} \cdot К_ф \cdot 3600} \quad (1)$$

где $N_л$ – число ламп в облучателе;

$Пρ_в$ – производительность системы вентиляции или кондиционирования, м^3/ч;

Hv – необходимая объемная бактерицидная дозировка (для помещений различного назначения с длительным нахождением большего количества людей Hv=130Дж/м3); $Ф_{бк}$ – бактерицидный поток лампы, Вт; Кз – коэффициент запаса, учитывающий вероятность снижения эффективности бактерицидных облучателей в реальных условиях использования, зависящих от перепадов сетевого напряжения, температуры, влажности и запыленности окружающего воздуха; Кф – коэффициент использования бактерицидного потока ламп, значение которого зависит от их размеров и конструктивных особенностей и определяет долю бактерицидного потока источников излучения, установленных в облучателях, используемую для обеззараживания воздушной среды.

По результатам расчёта для использования УФО и УФМО установки для обеззараживания приточного воздуха в исследуемом помещении потребуется 7 ламп. Для оценки эффективности использования и капиталовложений УФО и УФМО установки проведем расчёт стоимости на примере одного производителя результаты расчёта приведены в таблице 1.

Таблица 1– Результаты расчёта капиталовложений

	УФБО	**УФМО**
Наименование установки	УФБО 400х200-04+воздуховод до 5 метров	УФМО 400х200-02
Цена оборудования,р.	160300	103200
Цена монтажа,р.	41200	37000
Итого	201500	140200

Таким образом, на основании выполненных расчётов, подбора оборудования и оценки затрат можно сделать вывод, что использование обеззараживающей установки типа УФМО по эффективности будет соответствовать более дорогому аналогу, но обеспечивает экономию около 30% капиталовложений, которые складываются из стоимости самого оборудования и комплектующих, а так же значительной суммы на монтаж. Обе исследуемые установки имеют 7 бактерицидных ламп одинаковой мощности, следовательно затраты на расходные материалы будут равны. Так же стоит отметить, что демонтаж в случае поломки УФ-модуля УФМО более экономичен, чем ультрафиолетовый блочно-секционный обеззараживатель, следовательно и эксплуатационные затраты по замене ламп более бюджетны.

Литература

1. Ковалёва А.С., Кабанова И.А. Решение вопросов надежности и экономичности работы СКВ//Актуальные вопросы энергетики-2020: научный журнал №2, индексируется в РИНЦ (20 мая 2020г.). ОмГТУ, кафедра ЭНИ 2020. —32 с.

2. Обеззараживание воздуха в системах вентиляции и кондиционирования // ЕвроХолод URL: https://www.airfresh.ru/Obezzarazhivanie-vozduha-v-sistemah-ventilyatsii-i-konditsionirovaniya.htm (дата обращения: 14.02.2021).

М.П. Ковальков. студ.; рук. А.С. Третьяков
(Белорусско-Российский университет в г. Могилеве)

ВЫБОР ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

В настоящее время большую нишу рынка электрических машин заняли линейные электродвигатели. Основное отличие таких машин от традиционных заключается в поступательном движении ротора. Такой двигатель можно представить, как классический, разрезанный по диаметральной плоскости.

Область применения таких машин очень широка:

1. Приводы различных исполнительных механизмов и устройств (например, конвейеры и прочие механизмы для передачи грузов);

2. Тяговые приводы в пассажирском и промышленном транспорте (например, электропоезда);

3. Машины ударного и импульсного действия (например, сваезабивные установки);

4. Приводы высотных лифтов;

5. Металлообрабатывающее оборудование;

6. Высокоточное оборудование для производства радиоэлектронных изделий, и т.д.

Как видно, данный класс электроприводов проник практически во все сферы деятельности человека сегодня.

В настоящее время продолжается работа над дипломным проектом [1], в рамках которого разрабатывается лабораторный комплекс, который позволит:

1. Изучить основные разновидности линейных электроприводов;

2. Изучить принципы работы линейных электроприводов;

3. Изучить основные характеристики линейных электроприводов;

4. Поучить навыки работы с линейными электроприводами.

Для планирования конструкции разрабатываемого лабораторного комплекса были проанализированы уже существующие разработки таких производителей, как:

1. Комплект учебного оборудования «Линейный двигатель» (ООО НПП «Учтех-Профи»);

2. Учебный лабораторный стенд «Изучение исполнительных устройств мехатронных модулей и робототехнических систем» (ООО «ЭнергияЛаб»);

3. Учебный лабораторный комплекс «Мехатроника и мобильная робототехника» (ООО «ПрофСтенд»);

4. Лабораторный стенд НТЦ-05.05 " Технологические датчики" и тд.

За истекший период была проведена работа по исследованию разновидностей линейных электродвигателей, особенностей их конструкций, и принципов работы. Учитывая большое их разнообразие, к рассмотрению были выбраны следующие виды линейных электродвигателей:

1. Линейный синхронный электродвигатель;

2. Линейный шаговый электродвигатель;

3. Линейный цилиндрический электродвигатель;

4. Линейный планарный электродвигатель.

Линейный синхронный электродвигатель (рис.1) представляет собой машину, у которой подвижная часть состоит из пакета пластин из электротехнической стали и обмотки, а неподвижная из стальной рейки с наклеенными высокоэнергетическими магнитами из сплава (например, железо-неодим-бор).

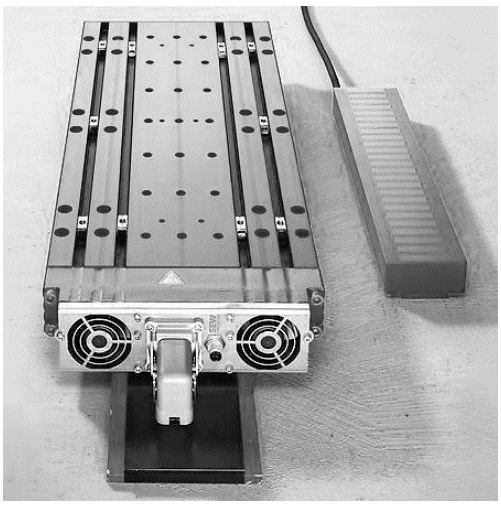


Рис. 1 – Линейный синхронный двигатель

Планарный линейный двигатель (рис.2) состоит из якоря и индуктора. Индуктор выполнен в виде плоской плиты, несущей на своей рабочей поверхности периодическую зубцовую поверхность. Якорь включает две группы ортогонально расположенных электромагнитных модулей. Рабочая поверхность электромагнитных модулей (полюсов) имеет периодическую зубцовую структуру с определенным фазовым сдвигом от полюса к полюсу.

Рис. 2 – Линейный планарный двигатель

Линейный цилиндрический электродвигатель (рис.3) состоит из статора (магнитопровод с N числом катушек) и штока (металлического стержня любой требуемой длины с резьбовым крепежным отверстием). От количества катушек в магнитопроводе зависит тяговое усилие двигателя.

Рис. 3 – Линейный цилиндрический электродвигатель

Линейный шаговый двигатель (рис.4) представляет собой шаговый двигатель, у которого и статор, и ротор неподвижны. Движущимся элементом является шток – металлический пруток или шпилька.

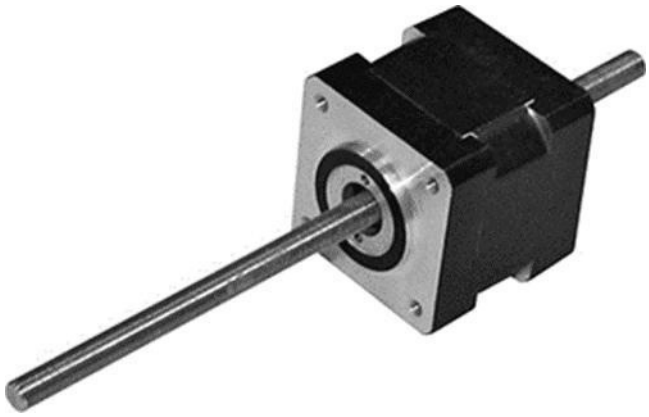


Рис. 4 – Линейный шаговый электродвигатель

В качестве электродвигателей были выбраны:

1. Линейный синхронный электродвигатель SL2 (производитель SEW-Eurodrive);
2. Линейный шаговый электродвигатель 23HS8404-350TR9.53x2.54 (производитель PureLogic);
3. Линейный цилиндрический электродвигатель LTME2 (производитель HIWIN);
4. Линейный планарный электродвигатель LMSP (производитель HIWIN).

Данные модели электродвигателей были выбраны по той причине, что большая их часть объединяет в своей конструкции несколько типов линейных электродвигателей.

Литература

1. Ковальков, М. П. Выбор линейных электроприводов как объекта управления // 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. Т 1. – 2020. – С.190-193.

Т.А. Колденкова, А.С. Ковалева, маг.; рук. И.А. Кабанова, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРОЦЕССЫ УВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ

В холодное время года при работе центрального отопления и прочих отопительных приборов образуется сухой комнатный воздух, относительная влажность которого может быть ниже 20%. В центральной части РФ отопительный сезон длится 7 месяцев (с октября по апрель), поэтому вопрос влияния относительной влажности на здоровье человека является актуальным.

На сегодняшний день проведено множество научных исследований, показывающих прямые и косвенные отрицательные эффекты низкой относительной влажности в помещении на здоровое состояние человека. Прямое влияние влажности на состояние человека связаны с ощущением комфорта и обозначены влиянием влажности на дыхательные пути, состояние кожи, волос и глаз. Косвенное влияние включает в себя состояние уровня влажности на грибки, бактерии, аллергены и вирусы, на качество воздуха и на степень инактивации вирусов (частичная или полная потеря вирусом своей активности) расположенных в воздухе патогенов.

Большинство исследований подтверждает, что относительная влажность в повешении может непосредственно влиять на частоту аллергий и ОРВИ. Исследования и эксперименты на переносимых по воздуху инфекционных вирусов и бактерий показывают, что выживаемость подобных организмов приходит к минимальному значению при относительной влажности воздуха в процентном диапазоне от 60 до 40%. Актуальность данных исследований обострилась в связи с распространением вируса COVID-19.

Большое количество видов грибков не способны распространяться при относительной влажности воздуха ниже 60%.

Действие относительной влажности на вредные химические вещества, большинство аллергенов и патогенные микроорганизмы позволяет рассматривать относительную влажность как один из основных и важных критериев качества воздуха внутри объекта.

Влажность обеспечивается специальными устройствами — увлажнителями. Такие устройства подразделяются на два принципиально отличных вида, различающихся методами увлажнения, — на адиабатное (изоэнтальпийное) или на изотермическое.

Увлажнение воздуха при постоянной температуре базируется на поступлении в обслуживаемое помещение насыщенного пара. Под воздействием внешнего теплового воздействия происходит переход жидкости в газообразную фазу.

За счёт несложной конструкции, паровые увлажнители получили достаточную популярность в быту. При функционировании данных видов увлажнителей не требуется применение озонирования, ультрафиолетовой обработки и других технологий, нацеленных на уменьшение жизнеспособности патогенных микроорганизмов. Обработка воздуха теплом подразумевает под собой кипение,

тем самым обеспечивая стерильность пара. Действующие нормы говорят, что изотермические системы увлажнения более оптимальны для медицинских учреждений.

Цикл адиабатического увлажнения воздуха протекает при контакте воздуха с водой, постоянно циркулирующей в обратном цикле. При процессе адиабатического увлажнения, энтальпия воздуха в цикле h кДж/кг остаётся практически постоянной и в h-d диаграмме и отслеживается по линиям h=const. Системы увлажнения, представлены следующими видами:

- водяные;
- воздушно-водяные;
- испарительные.

Функционирование испарительных установок данного типа заключается в перекачивании воздуха через панели, внутри которых находится сопло, которое постоянно смачивается водой. Пленочное испарение способствует увеличению процента влажности в помещении. Конструктивные решения данных установок следующие:

- С рециркуляцией жидкости. Главный недостаток – активное распространение бактерий, из-за чего повышается риск роста инфекций;
- Без рециркуляции. Расход воды в установке больше, но повышается показатель безопасности.

Комплекс адиабатного испарения плох тем, что объём испаряемой жидкости невозможно точно отрегулировать.

Системы распыления воздух/вода распыляют воду в виде аэрозоля через форсунки, через которые подается воздух и вода под высоким давлением. Увлажнители создают капли воды, размером не более 8 микрон, за счет чего они быстро и повышают тем самым влажность в помещении. У таких установок есть возможность регулировки давления, что определяет производительность системы и даёт возможность к адаптированию её под потребности обслуживаемого объекта.

Такую систему достаточно сложно установить, так как она требует прокладки магистралей для протекания воды и воздуха и другого оборудования. Трудность монтажа компенсируется минимальными затратами на эксплуатацию, комплекс быстро окупается.

В качестве объекта исследования рассмотрим помещение детского сада с расчётной температурой внутреннего воздуха $t_{вн} = 24°C$. Обеспечение эффективной рециркуляции воздуха и поддержание требуемой относительной влажности особенно актуально для данной категории зданий.

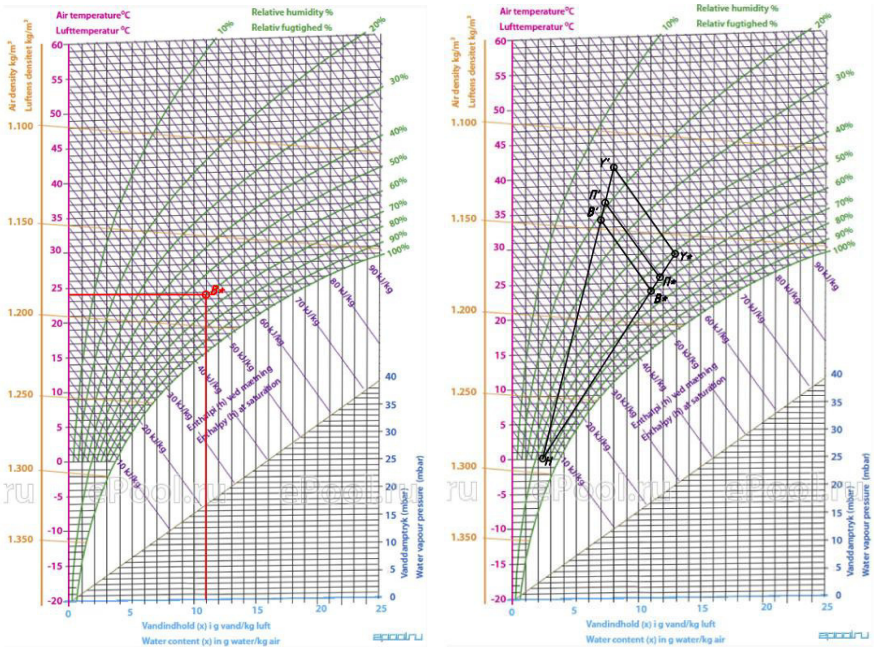


Рисунок 1 - Процессы адиабатического и изотермического увлажнения воздуха

При процессе изотермического увлажнения при повышении относительной влажности до 60%, влагосодержание воды в воздухе возрастает до 9 г воды/кг воздуха, при этом температура внутри помещения остаётся постоянной (рисунок 1).

При процессе адиабатического увлажнения воздуха температура внутри помещения понижается, поэтому для обеспечения требуемых параметров воздух необходимо догревать.

В ходе исследования была определена интенсивность доувлажнения воздуха в детском саду в холодный период года для обеспечения относительной влажности в рабочей зоне $\varphi_в$ = 60%.

Доувлажнение происходит при помощи модульных установок распылительного типа. Они разбивают воду на маленькие капли размером 20-10 мкм, которые сразу же испаряются. Так как на процесс испарения капель воды затрачивается явное тепло воздуха помещения, то приточный воздух необходимо догревать. Дополнительные влагопоступления ΔW и увеличение температуры притока было определено по формуле 1.1.

$$\Delta W = 10^{-3} \cdot G_н \cdot \left(d_y^* - d_y\right), \frac{кг}{ч} \qquad (1.1)$$

где $G_н$ – расход наружного воздуха, кг/ч; d_y^* – влагосодержание удаляемого воздуха при работе системы доувлажнения, г/кг; d_y – влагосодержание удаляемого воздуха без использования доулажнения.

В таблице 1 приведены значения расчётных параметров расчётных точек системы.

Таблица 1 – Расчётные параметры обработки воздуха с доувлажнением

Параметры	В	В/	В*	П/	П*	У/	У*	Н/
t,°C	16	34,0	24,0	36,0	25,5	41,0	28,5	0,5
d, г/кг	3,8	7,0	11,1	7,5	12,0	8,2	13,0	2,4
h, кДж/кг	25,9	53,0	53	56,0	56,0	64,0	64,0	6,5
φ, %	34	20,0	60,0	18,0	58,0	16,0	52,0	60

В ходе расчетов и полученных данных из процесса на h-d диаграмме, было определено дополнительное влагопоступление ΔW , которое составило 13,86 $\frac{м^3}{ч}$.

Вредные воздействие на здоровье можно свести к минимуму, поддерживая в помещении относительную влажность от 40% до 60%. Для этого зимой необходимо использовать увлажнители воздуха, особенно в районах с холодным климатом.

При увлажнении изотермическим способом температура воздуха остаётся неизменной, но выработка 1 килограмма пара требует около 750 ватт энергии, что приводит к высоким затратам на электроэнергию. Учитывая постоянно растущие цены на энергоресурсы, эксплуатация подобных установок оказывается дорогостоящей.

Опыт полученный на практике показывает, что изотермические системы экономически невыгодны в том случае, если фактическое потребности объекта в насыщенном паре выше 100 килограммов за час, в таком случае использование адиабатных комплексов оказывается более рационально.

Литература

1. П.Н. Каменев, Е.И. Тертичник Вентиляция М.:АСВ, 2008. – 624 с.

И.С. Коломыцев, студ., К.С. Иванов студ., М.А. Пунтекин студ.;
рук. В.А. Галковский, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ВОДЯНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Из-за достаточно большого объёма строительства тепловых сетей важное значение приобретает правильный выбор их расчётных параметров, которые определяют издержки при транспорте тепловой энергии. Одним из таких параметров является скорость сетевой воды.

Скорость теплоносителя не является столь однозначной величиной, как кажется на первый взгляд. Согласно рекомендациям [1] скорость сетевой воды для проведения, например, гидравлического расчёта тепловой сети, выбирается из следующего диапазона: w = 0,5 – 3,0 м/с. Нижняя граница данного диапазона обусловлена предотвращением осаждения нерастворённых примесей в сетевой

воде. Кроме того, уменьшение скорости движения теплоносителя приводит к увеличению внутреннего диаметра трубопровода, что ведёт к возрастанию капитальных затрат на тепловую сеть. Величина верхней границы диапазона скоростей движения теплоносителя обусловлена тем, что при больших скоростях сетевой воды существенно возрастает вероятность гидравлического удара в тепловой сети. Также при высоких скоростях сетевой воды увеличиваются потери напора на участках тепловой сети, вследствие чего возрастает потребление электроэнергии сетевыми насосами и, соответственно, затраты на прокачку теплоносителя. Исходя из выше сказанного можно сделать вывод, что произвольный выбор скорости воды может привести или к неоправданным капитало- и материалозатратам в тепловых сетях, или к перерасходу средств на перекачку теплоносителя. Поэтому на стадии проектирования тепловой сети определение оптимальной скорости теплоносителя является основополагающей задачей.

В рамках данной работы для анализа была выбрана закрытая водяная тепловая сеть, представленная на рисунке 1.

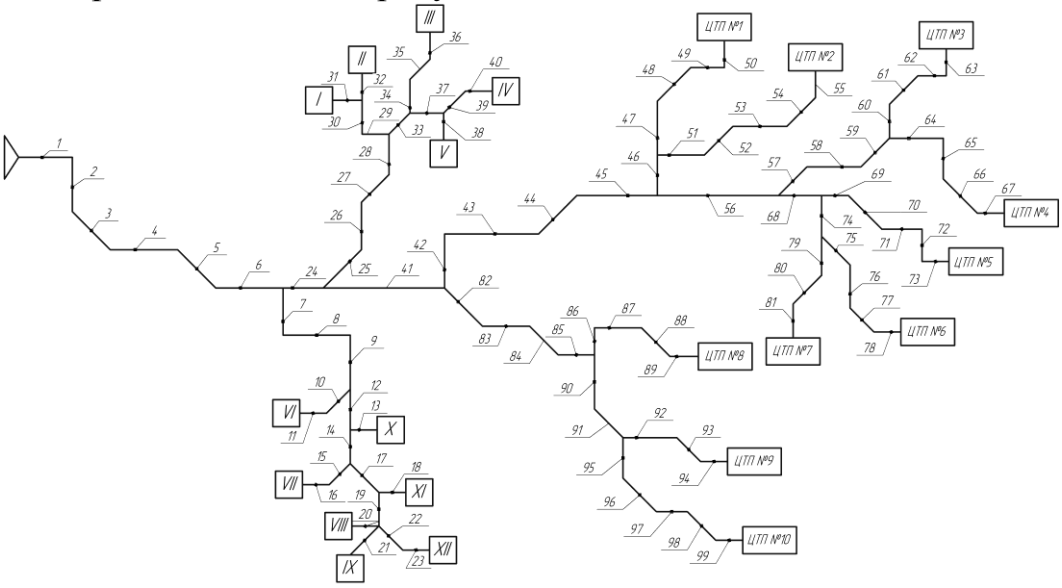


Рисунок 1 – Схема закрытой водяной тепловой сети

На рисунке 1 римскими цифрами обозначены производственные потребители, ЦТП – центральные тепловые пункты под соответствующими номерами.

Для расчётов приняты следующие параметры: район расположения тепловой сети – г. Смоленск. Температурный график – 130/70 °С.

Для упрощения проведения расчётов рассматриваемая тепловая сеть была разбита на характерные районы:

- уч. 1-6, 24, 41 – магистральная линия тепловой сети;
- уч. 7-23 – распределительная тепловая сеть, снабжающая производственных потребителей VI – XII;
- уч. 25-40 – распределительная тепловая сеть, снабжающая производственных потребителей I – V;
- уч. 42-81 – распределительная тепловая сеть, снабжающая центральные тепловые пункты №1 – №7;

- уч. 82-99 – распределительная тепловая сеть, снабжающая центральные тепловые пункты №8 – №10.

Для возможности обобщения полученных в результате расчётов данных рассматривалась бесканальная прокладка трубопроводов в ППУ-изоляции для всех участков тепловой сети с применением сильфонных компенсаторов. Кроме того, эксплуатационные затраты определялись за срок службы трубопроводов, принятый равным 20 лет. Все расчёты проводились в интервале скоростей w = 0,2 – 3,0 м/с с шагом 0,2 м/с.

Для определения эксплуатационных затрат, используя вышеуказанные данные, были проведены последовательно следующие расчёты:

- гидравлический расчёт закрытой водяной тепловой сети, по результатам которого определены расход сетевой воды, диаметры трубопроводов и потери напора на участках тепловой сети;

- расчёт напоров сетевых насосов при различных скоростях теплоносителя.

Полученные результаты позволили определить затраты на прокачку теплоносителя, которые определяются по следующей формуле:

$$S_{\text{п}} = \frac{G \cdot g \cdot H \cdot n}{\eta_{н.у.} \cdot 1000} \cdot \tau_{э}, \text{ руб}, \qquad (1)$$

где G – расход сетевой воды, кг/с;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

H – напор сетевого насоса, необходимый для перекачки теплоносителя, м.в.ст.;

n – число часов работы насосов за определённый период, определяется из справочной литературы и зависит от географического месторасположения;

$\eta_{н.у.}$ – к.п.д. насосной установки, принимался равным $\eta_{н.у.}$ = 0,75;

$\tau_{э}$ – тариф на электроэнергию, отпускаемую предприятиям «Тепловые сети», руб/кВт·ч, при расчёте принималась равной $\tau_{э}$ = 6,5 руб/кВт·ч (без учёта НДС); среднегодовая инфляция – на уровне 4,5 %.

В капитальные затраты на сооружение тепловой сети входят: стоимость теплопроводов, фасонных деталей (отводов, тройников, переходов, опор, компенсаторов), а также стоимость проведения земельных и монтажных работ (затраты на технику и рабочих для укладки трубопроводов, рытья и закапывания траншей). С целью определения стоимости трубопроводов и фасонных элементов был проведён тепловой расчёт, по результатам которого были получены величины толщины тепловой изоляции. Стоимости трубопроводов и фасонных деталей в ППУ-изоляции брались по ценам производителей по состоянию на ноябрь 2020 года с учётом НДС. Затраты на проведение земельных и монтажных работ определялись по территориальным сметным нормативам для Смоленской области [2] с учётом индекса изменения сметной стоимости на IV квартал 2020 года и НДС.

По результатам расчёта были построены графики зависимости капитальных и эксплуатационных затрат от скорости теплоносителя для каждого характерного района тепловой сети, представленные на рисунках 1 – 5.

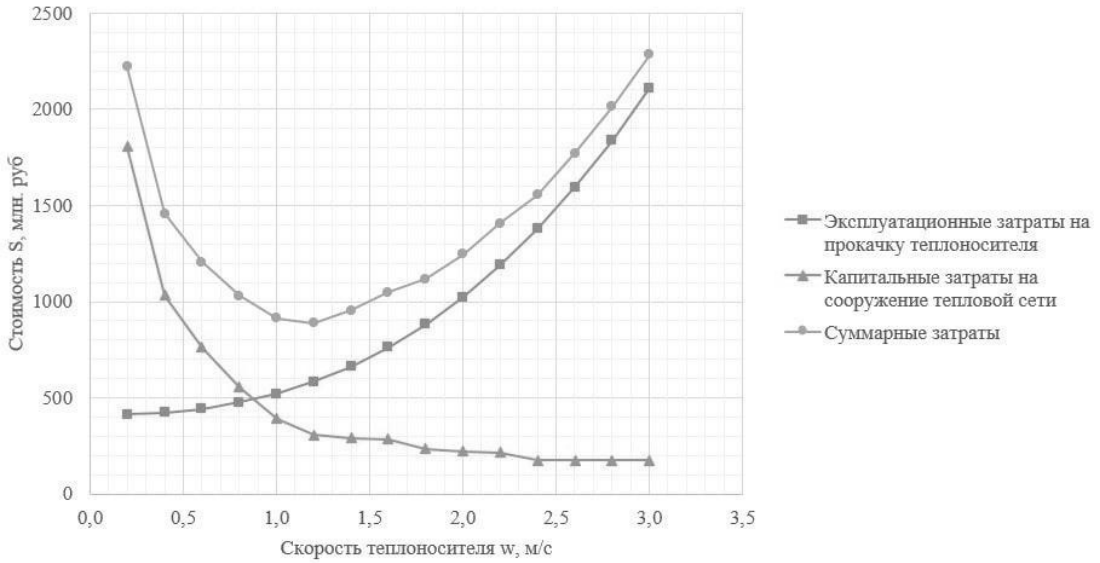


Рисунок 1 – Графики зависимостей эксплуатационных, капитальных и суммарных затрат от скорости теплоносителя для уч. 1-6, 24, 41

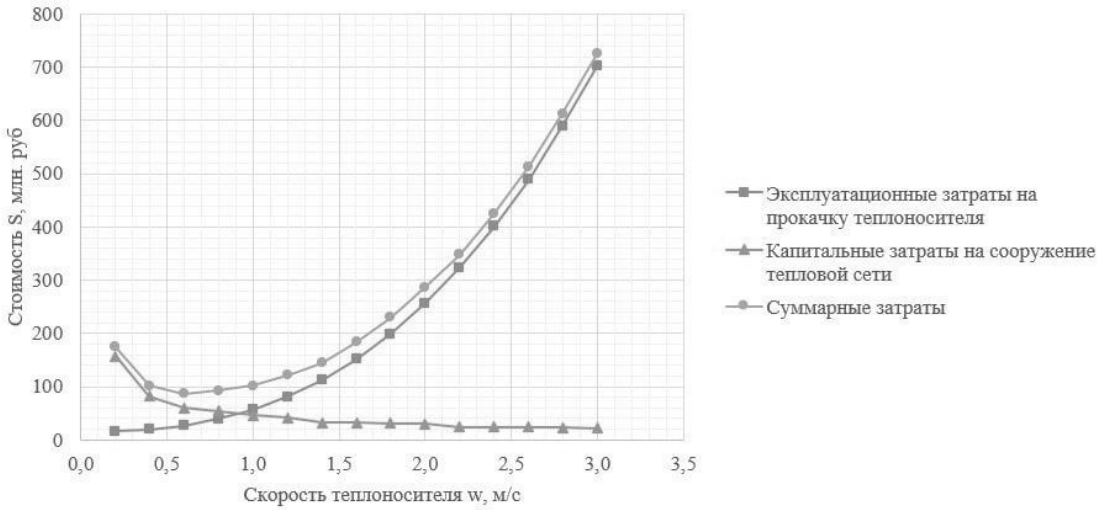


Рисунок 2 – Графики зависимостей эксплуатационных, капитальных и суммарных затрат от скорости теплоносителя для уч. 7-23

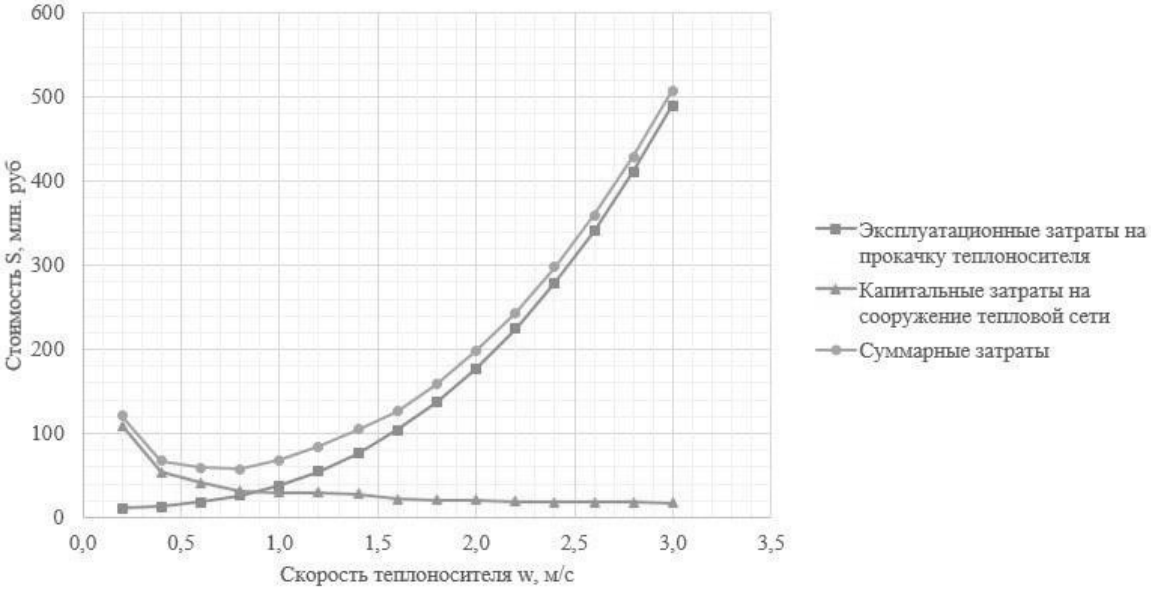


Рисунок 3 – Графики зависимостей эксплуатационных, капитальных и суммарных затрат от скорости теплоносителя для уч. 25-40

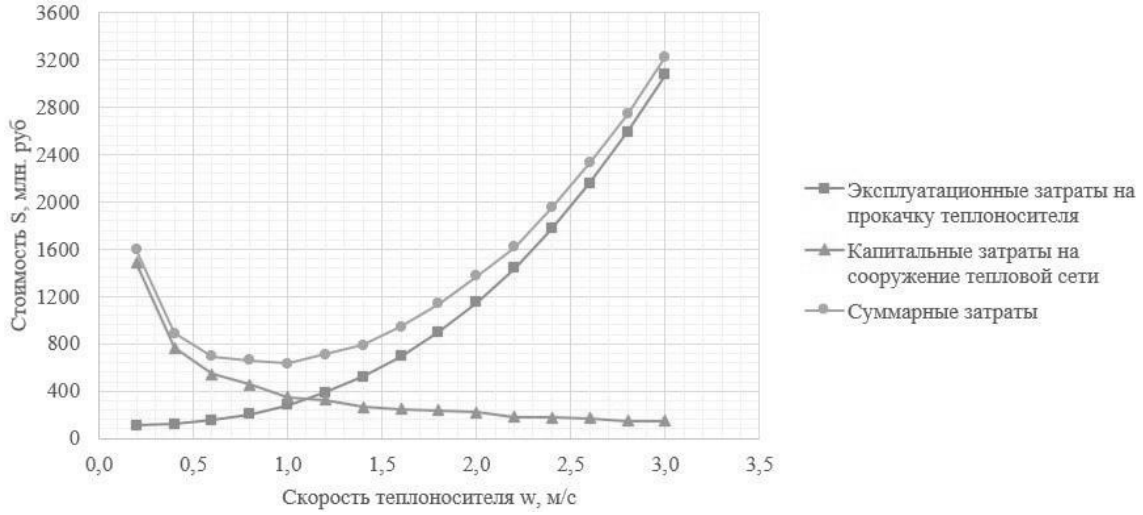


Рисунок 4 – Графики зависимостей эксплуатационных, капитальных и суммарных затрат от скорости теплоносителя для уч. 42-81

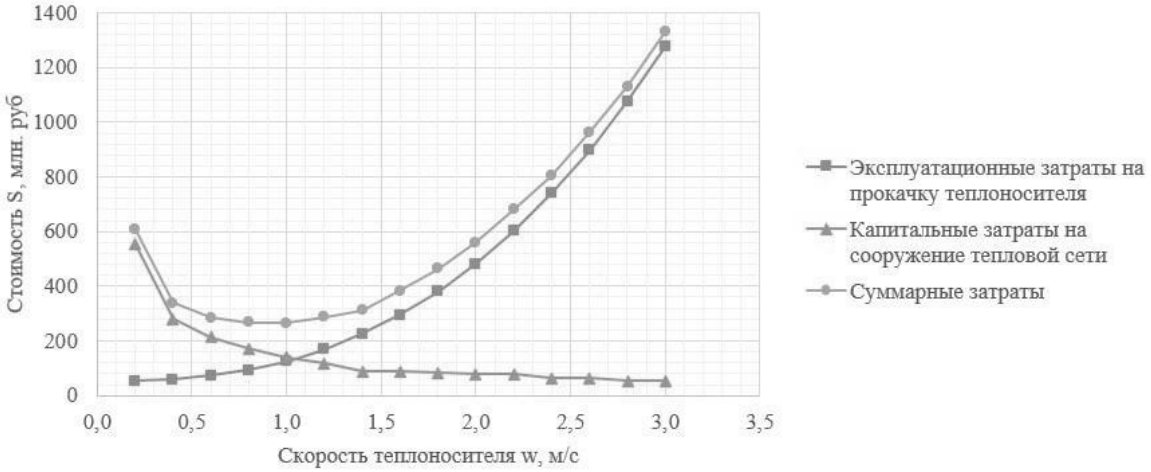


Рисунок 5 – Графики зависимостей эксплуатационных, капитальных и суммарных затрат от скорости теплоносителя для уч. 82-99

Результаты анализа полученных графиков представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты анализа графиков зависимостей эксплуатационных, капитальных и суммарных затрат от скорости теплоносителя

Район расположения тепловой сети	Оптимальный интервал скоростей $w_{опт.инт.}$, м/с	Минимальные суммарные затраты $S_{сум}$, млн. руб.	Оптимальная скорость теплоносителя $w_{опт}$, м/с
уч. 1-6, 24, 41	1,0-1,4	889,74	1,2
уч. 7-23	0,6-1,0	86,85	0,6
уч. 25-40	0,6-1,0	58,08	0,8
уч. 42-81	0,6-1,2	631,09	1,0
уч. 82-99	0,6-1,2	265,78	1,0

Полученные в результате расчётов скорости позволят обеспечить минимальные капитальные вложения на сооружение тепловой сети и минимальные эксплуатационные затраты на прокачку теплоносителя в течение срока службы трубопроводов. Кроме того, оптимальная скорость позволит получить низкие тепловые потери и выбрать необходимое насосное оборудования для обеспечения бесперебойной работы тепловой сети.

Литература

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. – 9-е изд., стереот. / Е.Я. Соколов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 472 с.
2. Территориальные сметные нормативы. Минстрой России. URL: https://minstroyrf.gov.ru/trades/view.territorial.php (дата обращения: 04.02.2021)

У.С. Лаксаева, студ.; рук. И.А. Кабанова, к.т.н. доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОЗДУШНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

Воздух является холодильным агентом, который использовался в самых первых холодильных машинах промышленного типа. Воздушные холодильные машины (ВХМ) наиболее полно соответствуют требованию экологической безопасности и имеют ограниченную область применения. Главное достоинство ВХМ – это использование экологически чистого и неограниченного рабочего агента – воздуха. Но при этом в качестве недостатка ВХМ следует отметить большие габаритные характеристики установки, что объясняется малой плотностью воздуха, а, следовательно, и большими объемами рабочего агента. Использование ВХМ на современном этапе целесообразно в том случае, если нет возможности получить холод другими способами или когда это нецелесообразно. В связи с этим, применение данных машин на практике и исследование эффективности работы данных установок остается актуальным и на современном этапе.

Низкие температуры в ВХМ получаются путем расширения рабочего агента с получением полезной работы. Производство холода осуществляется в холодильной камере. Цикл простейшей ВХМ представлен двумя изобарами и двумя адиабатами. Исследования в области ВХМ позволяют отметить более эффективную работу ВХМ с двухступенчатым сжатием. Двухступенчатое сжатие позволяет улучшить термодинамическую степень совершенства цикла путем уменьшения температуры перегрева и переохлаждения рабочего тела. В результате двухступенчатого сжатия сокращаются необратимые потери за счет наличия в цикле промежуточного давления. Таким образом, задача данной работы – убедиться на расчетных данных о целесообразности применения двухступенчатой ВХМ по сравнению с одноступенчатой, а также определить насколько термодинамические параметры оказывают влияние на эффективность работы ВХМ и выявить оптимальные параметры цикла.

На рисунке 1 представлена схема и термодинамический цикл двухступенчатой ВХМ. Сжатие газа в двух ступенях компрессора происходит последова-

тельно. После каждой ступени сжатия происходит изобарное охлаждение с отводом тепла. В процессе 2’–3’ рабочее тело охлаждается до температуры горячего источника, поэтому $T_3 = T_3' = T_г$. Будем считать цикл 1–2–3–4 исходным циклом, а цикл 2’–2–4’-3’ – дополнительным. На данном рисунке 1-2-3-4-1 – цикл ВХМ без регенерации, 1-2'-3'-4'-3-4-1 – цикл с двухступенчатым сжатием; 1-2 – процесс сжатия в первой ступени ТД, 3'-4' – процесс сжатия в ПТК, 2'-3' – охлаждение после первой ступени в АО, 4'-3 – охлаждение после второй ступени в ПАО.

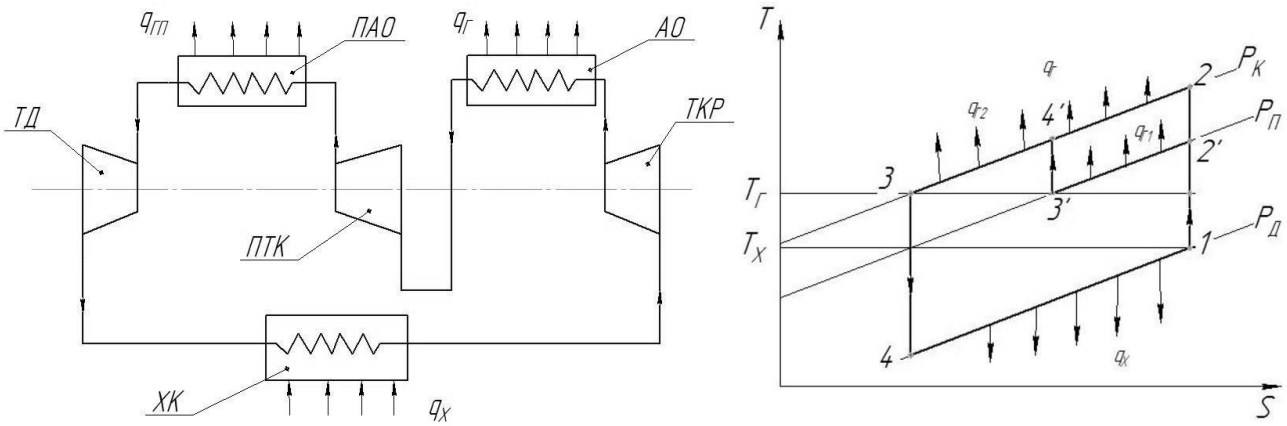


Рисунок 1 – Схема и цикл ВХМ с двухступенчатым сжатием:
ТД – турбодетандер, ПТК – промежуточный турбокомпрессор, ТКР – основной турбокомпрессор, ПАО – промежуточный атмосферный охладитель, АО – атмосферный охладитель, ХК – холодильная камера

Результаты расчета цикла ВХМ с одноступенчатым и двухступенчатым сжатием представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные данные ВХМ с одноступенчатым и двухступенчатым сжатием

Искомая величина	Обозначение, единица измерения	Цикл ВХМ с одноступенчатым сжатием	Цикл ВХМ с двухступенчатым сжатием
Удельная работа, затраченная на проведение процесса	l, кДж/кг	22,1	17,05
Холодильный коэффициент	ε	2,8	3,5
Эксергетический КПД установки (по средней температуре)	n_e, %	36,8	45,9

В результате исследования значений холодильного коэффициента и эксергетического КПД цикла ВХМ с двухступенчатым сжатием, было определено,

что значения данных характеристик примерно на 20 % больше по сравнению со значениями для цикла ВХМ с одноступенчатым сжатием.

При этом следует отметить, что эффективность цикла с двухступенчатым сжатием зависит от значения промежуточного давления в цикле. В связи с чем, для повышения эффективности работы ВХМ с двухступенчатым сжатием актуальным вопросом является нахождение значения оптимального промежуточного давления.

Считая, что процесс сжатия в промежуточном турбокомпрессоре (ПТК) происходит без потерь, т.е. изоэнтропно и адиабатно, а процесс теплообмена в промежуточном атмосферном охладителе (ПАО) и холодильной камере (ХК) изобарный, можно рассматривать термодинамический цикл обратимым, схема которого представлена на рисунке 1 в T - S диаграмме [1].

Абсолютный уровень давлений и их соотношение зависят не только от внешних температурных условий, но и от КПД турбомашин, гидравлических сопротивлений и разности температур при теплообмене.

При полной оценке эффективности работы цикла и оптимального уровня промежуточного давления целесообразно использовать эксергетический анализ [2]. Для определения эксергии холода, отводимой в холодильной камере к потребителю путем анализа потерь в каждом процессе воздушного холодильного цикла (ВХЦ) части эксергии, подводимой к компрессору необходим анализ всех процессов ВХЦ. Понижение давления в детандере представляет уменьшение барической составляющей эксергии газа. Понижение температуры оценивается ростом температурной составляющей эксергии. В дальнейшем полученный холод передается потребителю, а также тратится на компенсацию потерь эксергии холода от разности температур в регенеративном теплообменнике.

Таким образом, может быть получена аналитическая зависимость термодинамической эффективности ВХЦ от основных параметров: изоэнтропных КПД машин, отношения давлений в цикле, температуры в холодильной камере, температуры окружающей среды.

В общем виде эта зависимость может быть представлена формулой [1]:

$$\eta_в = \frac{\left[1-\theta\left(P_к/P_д\right)^{\frac{1-k}{k}}\right](1-\theta)}{\left[\left(P_п/P_д\right)^{\frac{k-1}{k}}-1\right]+\theta\left[\left(P_к/P_п\right)^{\frac{k-1}{k}}-1\right]-\xi\theta\left[1-\left(P_к/P_д\right)^{\frac{1-k}{k}}\right]}, \quad (1)$$

где $\theta = \frac{T_г}{T_х}$ – отношение температур источников;

$P_к/P_д$ – степень сжатия цикла;

ξ – коэффициент возврата теплоты;

$P_п$ – промежуточное давление.

Таким образом, коэффициент возврата теплоты позволяет учесть то, что полезная работа детандера возвращается в цикл в неполном объеме.

При повышении уровня давлений эксергетический КПД установки растет, приближаясь к асимптоте, причем при получении холода в условиях, близких к

изотермическим, влияние уровня начального давления больше, чем при существенно неизотермичных условий (рисунок 2). При понижении температуры охлаждения возрастают удельные эксергетические потери в элементах, связанных с формированием цикла ВХМ (во всех процессах, кроме отвода теплоты от объекта). Анализируя зависимость эксергетического КПД воздушной холодильной машины от температуры охлаждения, следует отметить, что существуют максимальные значения КПД в соответствующем интервале изменения температур (рисунок 3).

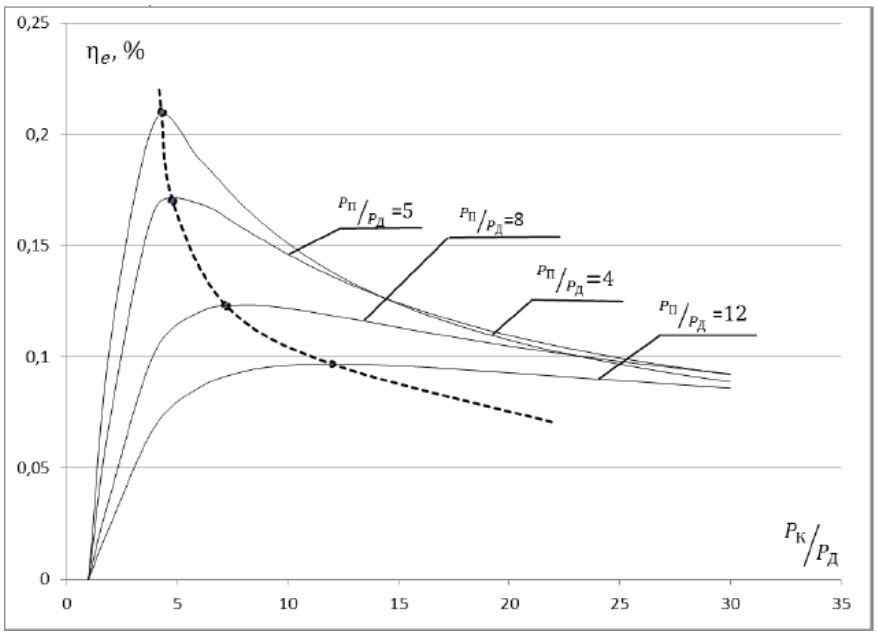


Рисунок 2 – Зависимость эксергетического КПД ВХМ от степени сжатия цикла с учетом различного промежуточного давления в компрессоре

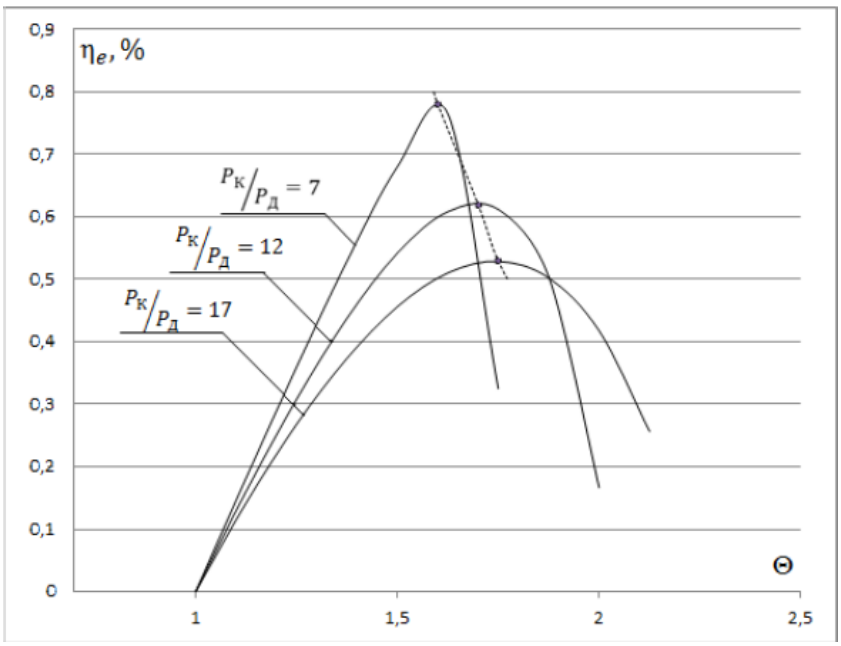


Рисунок 3 – Оценка влияния температур источников на эксергетический КПД ВХМ при различных степенях сжатия цикла

Результаты графической обработки позволили получить параметры точек экстремума, соответствующих максимальным эксергетическим КПД при различном сочетании термодинамических параметров. На основе аппроксимации составленных количественных характеристик данных точек с применением офисного пакета приложений Microsoft Office Excel определены аналитические зависимости эксергетического КПД от степени сжатия цикла и отношения температур источников для идеального цикла:

$$\eta_в = 0.0008\left(\frac{P_к}{P_д}\right)^2 - 0{,}028\frac{P_к}{P_д} + 0{,}3 \quad (2)$$

$$\eta_в = 1{,}48\Theta^2 - 6{,}58\Theta + 7{,}52 \quad (3)$$

Представленные формулы были получены по результатам исследования идеального цикла ВХМ, с коэффициентом возврата теплоты ζ=1. При этом формула 2 может быть рекомендована для оценки эффективности цикла ВХМ при значении отношения температур источников Θ=1,1 и изменении отношения промежуточного давления к давлению в детандере $P_п/P_д$ в пределах то 4 до 12.

Результат, представленный в формуле 3, позволяет оценить эффективность цикла при отношении $P_п/P_д$ равном 6, с изменением степени сжатия цикла $P_к/P_д$ от 7 до 17.

Из вышеперечисленного можно сделать вывод о том, что эффективность цикла с двухступенчатым сжатием зависит от значения промежуточного давления в цикле. В связи с чем, для повышения эффективности работы ВХМ с двухступенчатым сжатием актуальным вопросом является определение оптимальной величины промежуточного давления.

Результаты исследования показывают, что наличие необратимости в процессах цикла ВХМ приводит к преобразованию функциональной зависимости эксергетического КПД, а именно, к формированию оптимальных значений термодинамической эффективности цикла.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что целесообразно на практике использовать цикл ВХМ с двухступенчатым сжатием, так как работы на совершение цикла затрачивается меньше, а эксергетический КПД при этом увеличивается. Выполненные исследования позволяют оценить степень совершенства и эффективность реальных циклов по отношению к максимально возможным параметрам идеального цикла ВХМ.

Литература

1. Дьяченко Ю.В. Исследование термодинамических циклов воздушно–холодильных машин: монография. Новосибирск: НГТУ, 2006. – 404 с.

2. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.

К.И. Лыков, студ.; рук. В.А. Барышников, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Использование вентильно-индукторного двигателя (ВИД) нельзя представить без системы управления. В зависимости от настройки и вида этих систем, можно добиться существенных результатов при использовании одного и того же двигателя.

Целью доклада является решение ряда задач по изучению возможностей системы управления ВИД, среди которых актуальны следующие: анализ, модернизация и моделирование системы управления ВИД.

ВИД является достаточно сложной электромехатронной системой, функциональная схема которой приведена на рис. 1 [1]. В состав такой схемы входят: преобразователь частоты, индукторная машина (ИМ), система управления и датчик положения ротора (ДПР). Преобразователь частоты контролирует питание фаз ИМ путем подачи однополярных импульсов напряжения прямоугольной формы; ИМ преобразует электромеханическую энергию; система управления в зависимости от заложенного в нее алгоритма и сигналов обратной связи, поступающих от датчика положения ротора, управляет данным процессом.

Рис. 1 – Функциональная схема ВИД

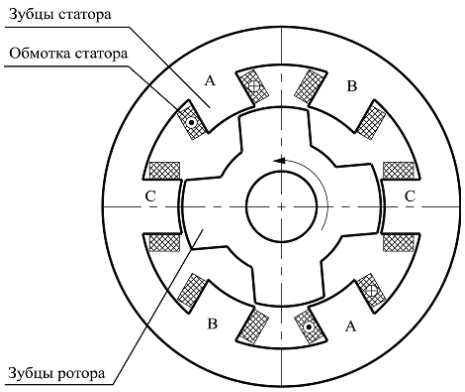


Рис. 2 – Поперечное сечение ИМ конфигурации 6/4

По структуре ВИД слабо отличается от классической системы регулируемого электропривода. Но в сравнении с другими регулируемыми электроприводами индукторная машина в ВИД не является самодостаточной. Это связано с тем, что такая система не способна работать без преобразователя частоты и системы управления, которые являются неотъемлемыми частями ИМ, необходимыми для осуществления электромеханического преобразования энергии.

ИМ имеет следующие конструктивные особенности (рис. 2):

– сердечники статора и ротора имеют явнополюсную структуру;

– число полюсов относительно невелико, при этом число полюсов статора больше числа полюсов ротора (в базовой модели это соотношение 6/4);

– фаза ИМ, как правило, состоит из двух катушек, расположенных на диаметрально противоположных полюсах статора рис. 2 [2].

Для достижения требуемых показателей данного трёхфазного двигателя следует настроить пофазные углы включения и отключения. Угол рассогласования γ, при котором включается (отключается) обмотка фазы «а», называют углом включения $\gamma_{ВКЛ}$ (отключения $\gamma_{ОТКЛ}$). График зависимости электромагнитного момента $M_а$ фазы «а» от γ представлен на рис. 3 [3].

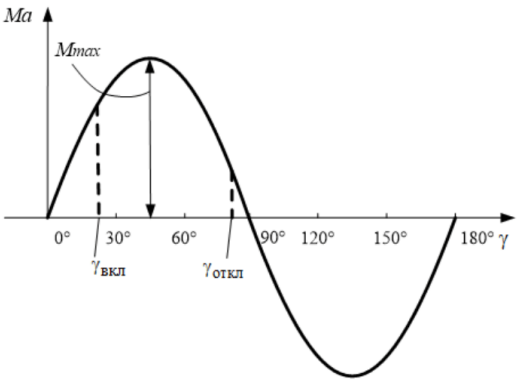


Рис. 3 – График зависимости электромагнитного момента $M_а$ от угла рассогласования γ

Из графика видно, что максимальный момент достигается при угле в 45º. Изменение углов включения и отключения приводит к изменению среднего момента, что приводит к изменению максимального пускового момента и скорости.

В качестве базовой модели представлена схема управления ВИД, взятая из библиотеки пакета MatLab (рис. 4).

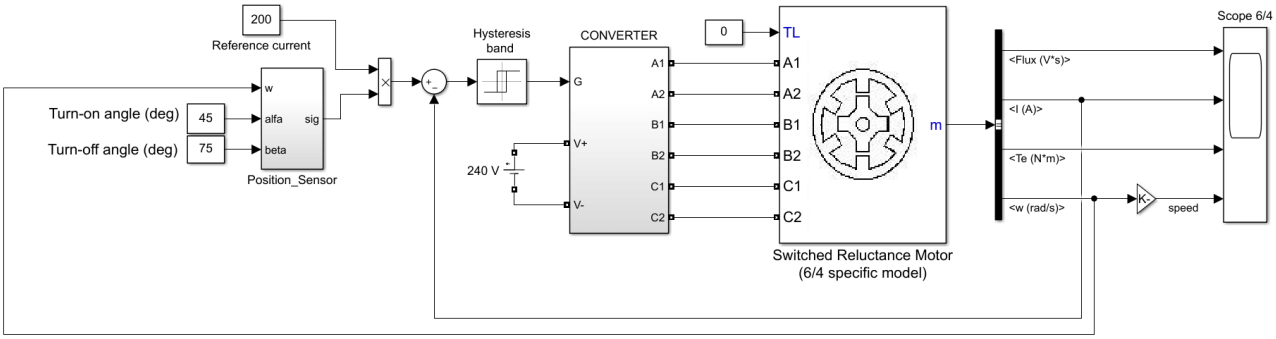


Рис. 4 – Базовая система управления ВИД

В составе данной модели есть несколько элементов, которые требуются именно для ВИД:

- обратная связь по скорости, используемая для определения положения ротора (Position_sensor);
- система управления ключами, основанная на углах включения и выключения обмоток фаз статора (Position_sensor);
- отрицательная обратная связь по току статора, представленная в виде трехфазного векторного сигнала;
- конвертер, управляющий питанием каждой фазы двигателя и обмоток в отдельности (CONVERTER).

Для сравнения влияния углов настройки на рис.5 даны статические механические характеристики с углами $\gamma_{ВКЛ} - \gamma_{ОТКЛ}$:

1) базовыми (45º–75º);
2) скорректированными (40º–90º и 45º–90º).

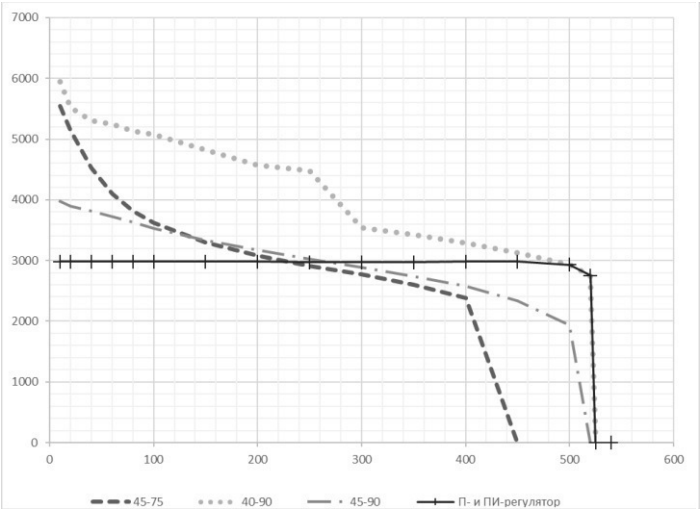


Рис. 5 – Механические статические характеристики

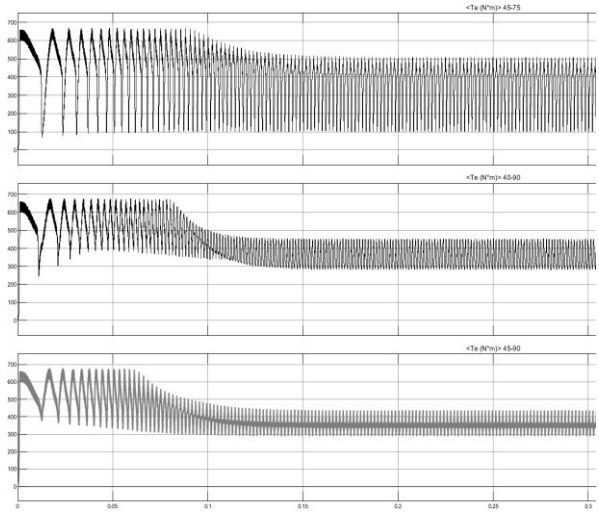


Рис. 6 – Осциллограммы моментов для углов 45–75; 40–90; 45–90.

На этих графиках хорошо заметна разница в скорости, форме, и стопорном моменте. Так, механическая характеристика для системы с углами 45–75 напоминает одноимённую для двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением, для углов 45–90 имеет явно выраженный линейный характер рабочего участка, а для углов 40–90 характерно увеличение скорости в районе половинного диапазона регулирования момента двигателя, что немаловажно, например, для увеличения производительности механизмов, работающих на подъём при малых нагрузках.

Осциллограммы на рис. 6 иллюстрируют поведение момента двигателя при пуске под одинаковой нагрузкой на валу в 350 Н·м, но с разными углами рассогласования. Наибольший размах пульсаций момента наблюдается при базовой настройке углов, а в случае других настроек он в установившемся режиме примерно в 2,3 раза меньше .

Анализ рис. 5 и рис. 6 позволяет для дальнейшего исследования отдать предпочтение углам регулирования 40º–90º, т.к. именно при таких углах система имеет бóльшие значения стопорного момента и скорости, а также приемлемые пульсации момента в установившемся режиме, зависящие от нагрузки на валу.

Для стабилизации скорости помимо имеющихся релейных контуров тока с Hysteresis band, число которых соответствует фазности ВИД, в схему на рис. 7 введёны:

– внешний контур с отрицательной обратной связью по скорости и П- или ПИ-регулятором скорости (РС);

– задающее устройство (ЗУ), обеспечивающее скачкообразный или линейно изменяющийся сигнал с помощью задатчика интенсивности (ЗИ);

– нелинейная ОС ПИ-регулятора для чёткого выхода регулятора скорости из режима ограничения (для П-регулятора на его выходе может быть использовано обычное звено с ограничением).

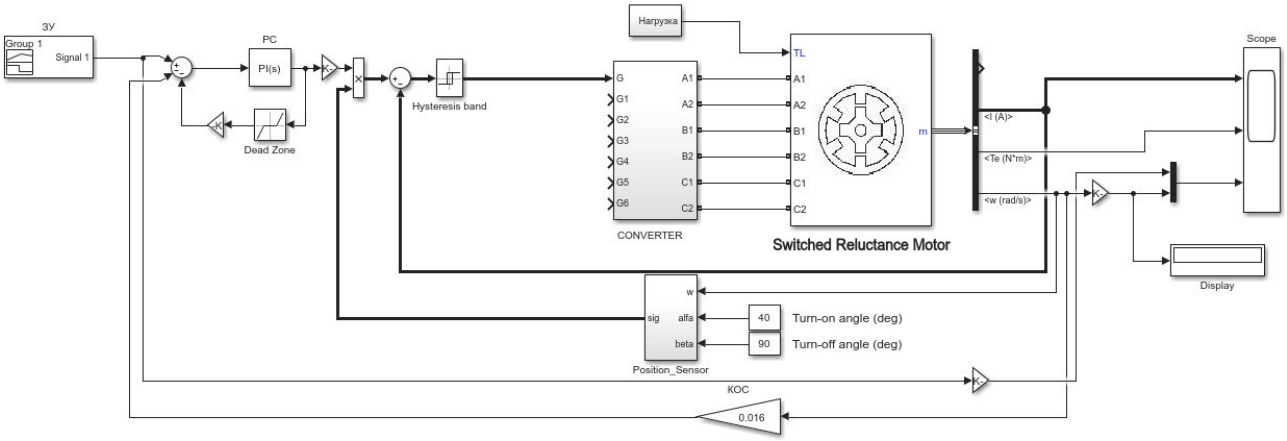
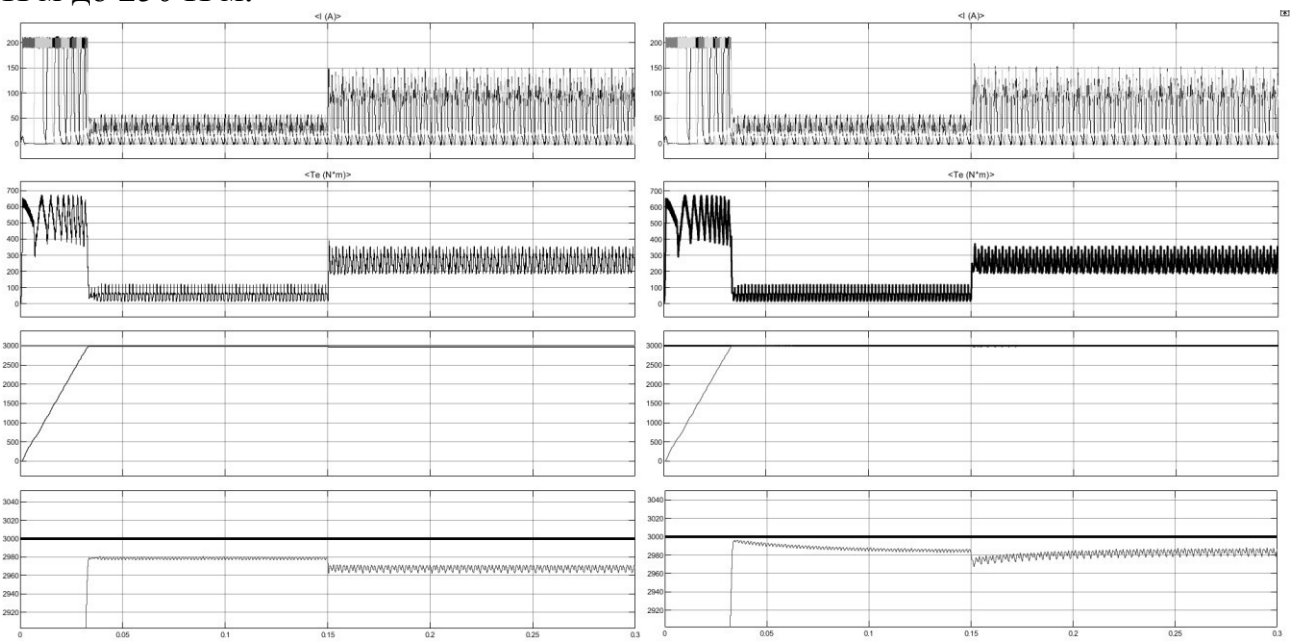


Рис. 7 – Система ВИД с контуром скорости и задающим устройством

На рис. 8 даны осциллограммы переходных процессов тока, момента, скорости и ЗИ двигателя при пуске под действием скачка задания для П- (рис. 8,а) и ПИ-регулятора (рис. 8,б). В момент времени t=0.15 с нагрузка изменяется с 50 Н·м до 250 Н·м.



а) б)

Рис. 8 – Осциллограммы переходных процессов системы управления ВИД с сигналом задания в виде скачка для а) П- и б) ПИ-регулятора

На нижних осциллограммах указаны скорости с приближением в диапазоне от 2900 до 3050 об/мин. Для П-регулятора выход на установившуюся скорость протекает без перерегулирования, а при изменении нагрузки статизм δ=0,336%; для ПИ-регулятора перерегулирование скорости σ=0,335%, δ=0, а максимум относительного динамического перепада скорости Δω*=0,013% с возвратом скорости на исходное значение через 0,1 с. Статические механические характеристики электропривода с этими регуляторами изображены на рис. 5. Поскольку характеристика в схеме с П-регулятором имеет очень высокую жёсткость, её график визуально практически совпадает с абсолютно жёсткой характеристикой при ПИ-регуляторе.

Осциллограммы на рис. 8 показывают, что в системе присутствует токоограничение на уровне 200 А, которое обеспечивается путем ограничения сигнала задания тока, поступающего на вход релейных контуров тока со стороны П- или ПИ-регулятора.

На рис. 9 изображены осциллограммы переходных процессов системы управления ВИД при пуске с ЗИ. В силу высокой точности системы одноразмерные осциллограммы скорости и ЗИ практически совпадают.

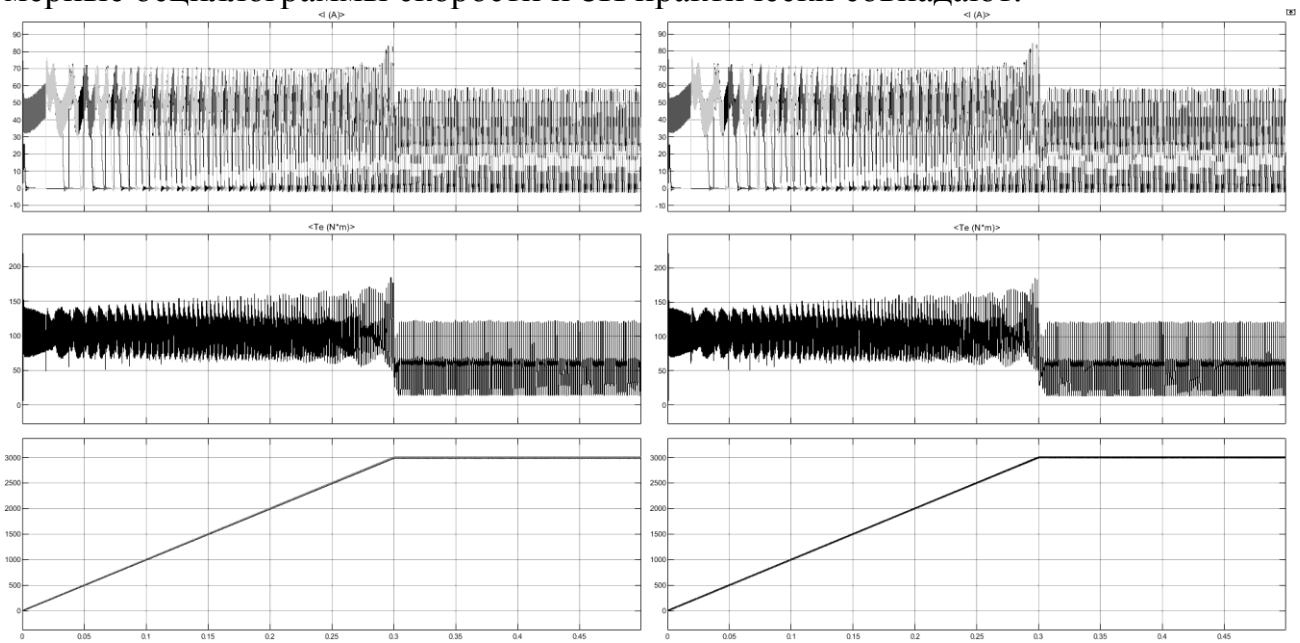


Рис. 9 – Осциллограммы переходных процессов системы управления ВИД при пуске с ЗИ

Проведенные исследования базовой модели рассматриваемой системы управления ВИД показывают:

1) регулирование углов включения и отключения приводит не только к изменению вида статических механических характеристик, но и сказывается на формировании электромагнитного момента двигателя;

2) при дополнении системы контуром скорости электропривод обладает высокой устойчивостью и качеством регулирования невзирая на широкий диапазон изменения параметров РС. Такая робастность существенно облегчает настройку этого контура.

Список литературы

1. Ильинский Н.Ф. Перспективы применения вентильно-индукторного электропривода в современных технологиях. Электротехника, №2, 1997,

2. Бычков М.Г. Элементы теории вентильно-индукторного электропривода //Электричество № 8, 1997, №8.

3. Кузнецов В.А., Кузьмичёв В.А. Вентильно-индукторные двигатели. – М.: Изд-во МЭИ, 2003.

А.Ш. Маджидов, асп.; Н.К. Каныбекова, маг.
(ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Москве)

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ ПО ПУСКОВЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Правильность выбора двигателя, учитывающая специфику приводного механизма, определяет длительность безаварийной работы и надежность системы, взаимосвязь между двигателя и нагрузки, условия работы и окружающей среды является приоритетной задаче каждого аттестованного инженера. При этом большинство используемых двигателей в системе собственных нужд электростанций и подстанций являются асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором. Столь широкое применение обусловлено простотой их конструкции, обслуживания, эксплуатации, высокой надежностью, относительно низкой стоимостью. Недостатками таких двигателей являются большой пусковой ток, относительно малый пусковой момент, чувствительность к изменениям параметров сети. Учитывая эти факторы в данной работе рассмотрена особенности выбора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором по пусковым характеристикам.

Асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором имеет важные отличия как от АД с фазным ротором, так и от двигателей постоянного тока. Эти отличия обусловлены конструктивной особенностью его ротора, исключающей возможность введения добавочных сопротивлений в цепь роторной обмотки [1].

При пуске АД с фазным ротором в цепь его ротора вводят добавочные сопротивления. Подбором соответствующей величины сопротивления пускового реостата можно уменьшить пусковой ток АД до любой требуемой величины. В то же время введение сопротивлений в цепь ротора позволяет регулировать пусковой момент АД. При определенной величине сопротивления пускового реостата можно получить наибольший пусковой момент, соответствующий перегрузочной способности АД. Постепенно выводя сопротивление по мере разгона, получают быстрый пуск АД при ограниченной величине тока [1-5].

Иначе протекает пуск АД с короткозамкнутым ротором, который осуществляется по схеме, приведенной на *рис. 1, а*. Если ротор выполнен с круглыми пазами, то начальный пусковой момент АД М невелик (характеристика 1 на *рис. 1, в*). В частности, подобной механической характеристикой обладают АД единой серии в ее основном исполнении (А, АО). Ввести добавочное сопротивление в цепь ротора и тем самым уменьшить пусковой ток и увеличить пусковой момент двигателя здесь невозможно.

Большой пусковой ток двигателя, превышающий в 4,5–7 раз номинальный, загружает сеть, вызывая при большой мощности двигателя снижения в питающей сети. Это неблагоприятно отражается на условиях работы других токоприемников [2, 4, 5].

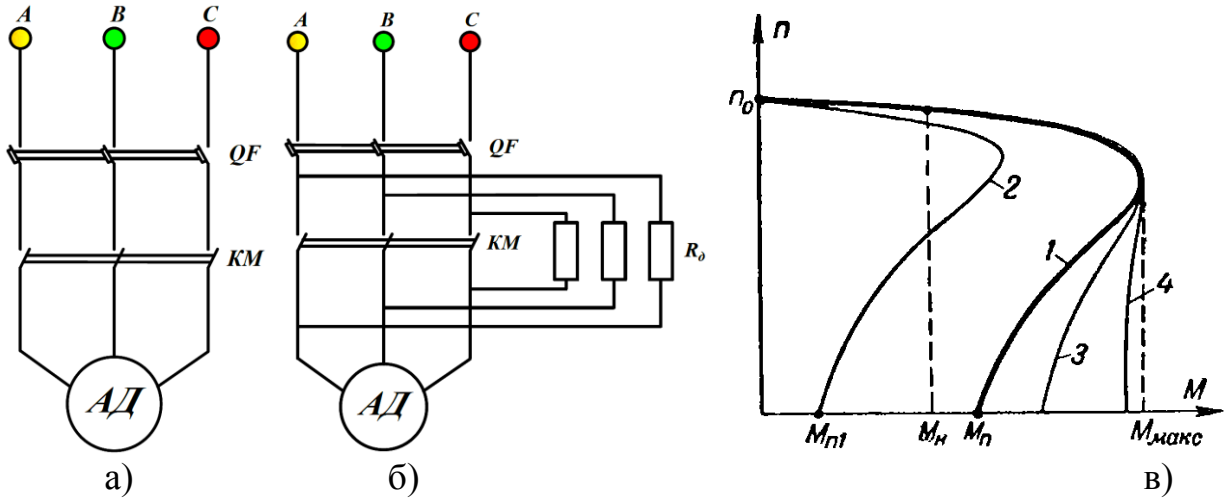


Рисунок 1 – Схема пуска и пусковые характеристики АД с короткозамкнутым ротором

Ограниченный пусковой момент, составляющий 0,8–1,3 от номинального, затрудняет пуск двигателя под нагрузкой. Если пусковой момент меньше момента нагрузки на валу, то, очевидно, двигатель будет заторможен нагрузкой и вообще не разгонится.

Поэтому пусковой ток и пусковой момент АД с короткозамкнутым ротором являются его важнейшими эксплуатационными показателями. В каталогах для этих АД указывается кратность пускового тока $I_{пуск} / I_{ном}$ и кратность пускового момента $M_{пуск} / M_{ном}$.

Уменьшить пусковой ток короткозамкнутого АД можно путем введения в цепь его статорной обмотки добавочного сопротивления. Схема включения активного добавочного сопротивления (реостата) с целью уменьшения пускового тока показана на *рис. 1, б*. Однако при этом уменьшается перегрузочная способность АД и в еще большей степени его пусковой момент (характеристика 2 на *рис. 1, в*). Поэтому такой способ ограничения тока применяется только в тех случаях, когда двигатель пускается с небольшой нагрузкой на валу, а его мощность соизмерима с мощностью трансформатора, от которого он получает питание. По окончании пуска токоограничивающие сопротивления замыкаются накоротко и АД работает по схеме *рис. 1, а* с характеристикой 1.

Улучшенными пусковыми свойствами обладают АД со специальным исполнением ротора: с глубоким пазом или с двойной беличьей клеткой. При пуске такие АД развивают повышенный пусковой момент в сравнении с двигателями нормального исполнения (характеристики 3 и 4 на *рис. 1, в*). Кроме того, специальное исполнение короткозамкнутого ротора несколько ограничивает и пусковой ток двигателя.

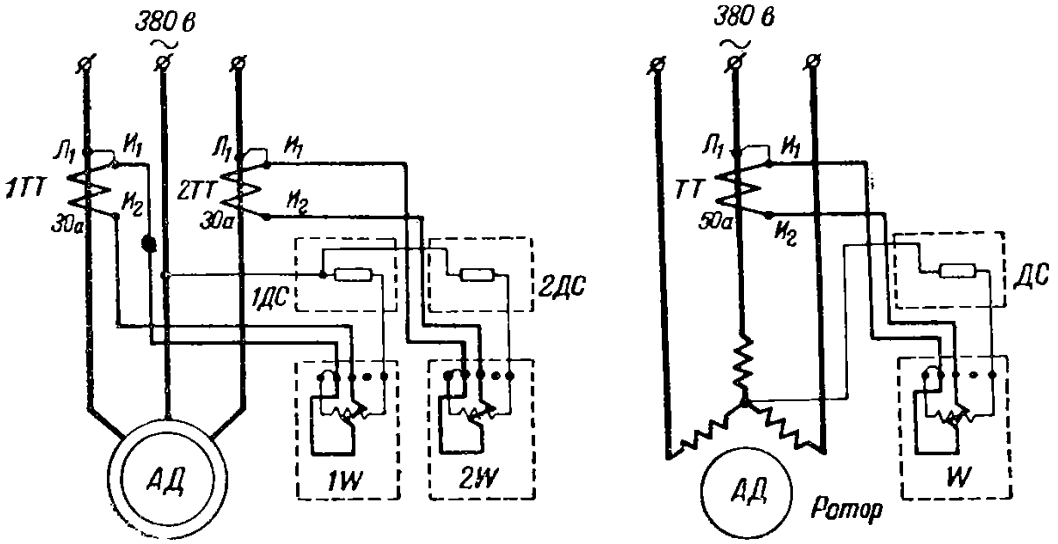
В частности, повышенным пусковым моментом обладают АД единой серии, имеющие обозначение АП или АОП, а также двигатели с повышенным скольжением (АС и АОС).

Большинство же АД с короткозамкнутым ротором имеет пусковой момент, значительно меньший критического. Поэтому при выборе двигателя

нужно проверять его не только по нагреву и перегрузочной способности, но и по пусковому моменту.

Пример 1. АД типа 4А160S2У3; $P_{ном} = 15$ кВт; $U_{ном} = 380$ В; $n_{ном} = 3000$ об/мин; $\eta = 0,88$; $I_{пуск} / I_{ном} = 7,0$ установлен на приводной станции цепного подвесного конвейера. Определить опытным путем его загрузки и рассчитать мощность на валу и статический момент.

Для определения мощности, потребляемой АД из сети при нормальных условиях работы конвейера, можно использовать одну из схем измерения, приведенных на *рис. 2*. Схему *рис. 2, а* можно использовать во всех случаях, но для ее осуществления требуется двойной комплект измерительных приборов переменного тока, например, типа КИП. Если имеется только один комплект типа КИП, а обмотка статора АД соединена в звезду, можно применить схему *рис. 2, б*. Полагая, что читатель практически знаком с измерительной техникой, останавливаться на описании схем измерения не будем.



а) б)

Рис. 2. Схемы измерения мощности, потребляемой из сети АД: 1ТТ, 2ТТ – измерительные трансформаторы тока; 1W, 2W – ваттметры; 1ДС, 2ДС – добавочные сопротивления к ваттметрам для цепи напряжения

При замере мощности в схеме *рис. 2, а* получены следующие показания ваттметров:

$$P_{1W} = 562 \text{ Вт}; \quad P_{2W} = 3938 \text{ Вт} \tag{1}$$

В этом случае, мощность, потребляемая АД, рассчитывается по выражение:

$$P_1 = P_{1W} + P_{2W} = 562 + 3938 = 4500 \text{ Вт} = 4,5 \text{ кВт} \tag{2}$$

В схеме *рис. 2* получено показание: $P_W = 1500$ Вт

При этом мощность, потребляемую АД из сети, подсчитываем по формуле:

$$P_1 = 3 \cdot P_W = 3 \cdot 1500 = 4500 \text{ Вт} = 4,5 \text{ кВт} \tag{3}$$

Приближенно подсчитаем коэффициент загрузки АД по мощности:

$$k_з = \frac{P_c}{P_{ном}} \approx \frac{P_1 \cdot \eta_{ном}}{P_{ном}} = \frac{4,5 \cdot 0,88}{15} = 0,264 \quad (4)$$

При изменении нагрузок коэффициент полезного действия (КПД) АД ($\eta_{ном}$) изменяется. Для грубых прикидок при определении $\eta_{ном}$ единой серии можно пользоваться зависимостью $\eta = f(P / P_{ном})$ приведенной на рис. 5 (кривая 1).

При уточненном расчете необходимо по каталожным данным [1] построить график зависимости $\eta = f(k_з)$ и по нему найти значение $\eta_{ном}$.

На основе такого построения для АД типа 4А160S2У3 найдено значение $\eta_{ном}$ при $k_з = 0,264$:

$$\eta_1 \approx 0,83 \quad (5)$$

Уточнение значение мощности на валу АД:

$$P_с = P_1 \cdot \eta_1 = 4,5 \cdot 0,83 = 3,73 \text{кВт} \quad (6)$$

Уточнение значение коэффициента загрузки АД по мощности:

$$k_з = \frac{P_c}{P_{ном}} = \frac{3,73}{15} = 0,249 \quad (7)$$

Статический момент на валу АД:

$$M_c \approx 975 \cdot \frac{P_c}{n_{ном}} = 975 \cdot \frac{3,73}{3000} = 1,2 \text{ кг} \cdot \text{м} \quad (8)$$

Можно видеть, что если в резерве имеется АД типа 4А112М2У3, $P_{ном} = 7,5$ кВт; $U_{ном} = 380$ В; $n_{ном} = 2900$ об/мин; $\eta = 0,875$; $I_{пуск} / I_{ном} = 7,5$ то им целесообразно заменить АД типа 4А160S2У3.

Однако предварительно нужно проверить двигатель 4А160S2У3 по пусковому моменту, так как конвейеры являются механизмами с тяжелыми условиями пуска. Такая проверка выполнена в примере 2.

Пример 2. По данным примера 1 проверить по пусковому моменту АД типа 4А160S2У3.

При проверке АД различных конвейеров по условиям пуска следует учитывать, что момент сопротивления этих механизмов обусловлен силами трения во всех трущихся деталях: в каретках, в цепи, в направляющих роликах, в звездочках и т. п. Во время стоянок смазка в этих деталях загустевает и силы трения увеличиваются. За счет этого при пуске момент статического сопротивления выше, чем статический момент при работе механизма, определенный в примере 1.

В расчетах можно принимать, что при пуске статический момент на 30% выше, чем в установившемся режиме работы. В рассматриваемом случае, если:

$$M_{с.п.} = 1,3 \cdot M_{с.} = 1,3 \cdot 1,2 = 1,56 \text{ кг} \cdot \text{м} \quad (9)$$

Требуемый пусковой момент определяется по формуле:

$$M_{п.треб.} = M_{с.п.} + M_{дин} = 1,56 + 0,312 = 1,872 \text{ кг} \cdot \text{м} \quad (10)$$

При пуске конвейеров можно принимать:

$$M_{дин} \approx 0,2 \cdot M_{с.п.} = 0,2 \cdot 1,56 = 0,312 \text{ кг} \cdot \text{м} \quad (11)$$

По данным АД 4А160S2У3 находим кратность пускового момента:

$$\frac{M_{п}}{M_{ном}} = 2 \tag{12}$$

Номинальный момент:

$$M_{ном} = 975 \cdot \frac{P_{ном}}{n_{ном}} = 975 \cdot \frac{7,5}{2900} = 2,52 \text{ кг} \cdot \text{м} \tag{13}$$

Пусковой момент:

$$M_{п} = \frac{M_{п}}{M_{ном}} \cdot M_{ном} = 2 \cdot 2,52 = 5,04 \text{ кг} \cdot \text{м} \tag{14}$$

Определим наименьший пусковой момент АД с учетом возможного снижения напряжения на 10%. Пусковой момент пропорционален квадрату напряжения:

$$M_{п.мин} = \left(\frac{U}{U_{ном}}\right)^2 \cdot M_{п} = 0,9^2 \cdot 5,04 = 4,08 \text{ кг} \cdot \text{м} \tag{15}$$

Таким образом, АД марка 4А160S2У3 удовлетворяет условиям пуска конвейера, так как:

$$M_{п.мин} = 4,08 \text{ кг} \cdot \text{м} > M_{п.треб.} = 1,872 \text{ кг} \cdot \text{м} \tag{16}$$

Установленный на конвейере АД марка 4А112М2У3, заменить меньшим АД марка 4А160S2У3 возможно.

Пусковые характеристики АД регламентирует ГОСТ 28327 (МЭК 60034 — 12), а их значения приводятся в каталогах. Стандартные АД могут иметь два исполнения по механическим характеристикам, которые определены в вышеупомянутых стандартах: N – двигатели с нормальный моментом; H –двигатели с повышенным моментом.

При построении характеристики предполагается, что момент сопротивления нагрузки остается постоянным и равен номинальному моменту. Кроме того, он не зависит от частоты вращения. Значение же внешнего момента инерции не превышает 50% величины, полученной по приведенной выше формуле. Механические характеристики АД зависят в том числе и от типа ротора, его номинальной мощности, и от числа пар полюсов. Ввиду того, что разность в значениях момента при соответствующих скольжениях у АД с различным числом пар полюсов невелика, и не превышает значения поля допуска на моменты.

Литература

6. Ключев В.И. Выбор электродвигателей для производственных механизмов / В.И. Ключев // Библиотека электромонтера. Выпуск 36. Государственное энергетическое издательство. Москва – Ленинград, 1960, 82 с.
7. Маджидов А.Ш. Сравнение методов определения энергоэффективности асинхронных двигателей / А.Ш. Маджидов, А.З. Джавахян // XI Международная Интернет-конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика» (InnoTech-2019). Пермь, 2019, С. 163-167
8. I.G. Strizhkov, E.N. Chesnyuk and S.V. Oskin, "Method for Calculating Asynchronous Motor Slip in Tasks of Electric Drive" 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Moscow, Russia, 2018, pp. 1-4, DOI: https://doi.org/10.1109/ICIEAM.2018.8728751
9. Маджидов А.Ш. Учет асинхронного электродвигателя с неизменным скольжением при внезапном трехфазном коротком замыкании / А.Ш. Маджидов, Г.М. Султаналиева, Э.М. Султаналиева // Материалы

Междунар. научно-практической конференции «Актуальные проблемы современной науки: взгляд молодых ученых», Грозный, 2020, С. 651-657
10. Маджидов А.Ш. Уравнения асинхронного электродвигателя при переходном процессе / А.Ш. Маджидов // Информационные технологии, энергетика и экономика (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве): сборник трудов XVII Международной научно-технической конференции студ. и аспирантов, Смоленск. 2020, С. 44-49

М.С. Малофеев, студ.; рук. И.А. Кабанова, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В настоящее время наиболее надежным и доступным источником тепла являются блочные и модульные котельные (МКУ), поэтому наиболее популярным является изготовление таких установок. МКУ моГУТ использоваться для вентиляции, теплоснабжения, горячего водоснабжения объектов различного типа: жилых и производственных, административно-производственных, складских и других. Кроме того, эти котельные подходят для производства технологического пара[1].

Целью работы является изучение различных схем блочно-модульных котельных с целью отпуска тепла всем типам потребителей. В качестве объектов теплоснабжения приняты несколько жилых многоэтажных зданий, несколько небольших зданий общественного назначения в одном из микрорайонов города при планируемой новой застройке. В качестве системы отопления предполагается использование водяной системы с круглогодичным потреблением тепла на систему ГВС.

Модульные котлы (МКУ) снабжают здания или производственные помещения горячей водой, паром или воздухом.

МКУ - это небольшие котельные для отопления зданий различного назначения: производственных корпусов, общественных и жилых зданий. Их устанавливают вплотную к потребителю на земле или на крыше. Котлы, теплообменники, насосы, системы автоматики и водоподготовки устанавливаются в модульных котельных. Микроконтроллеры малой мощности собраны в одном корпусе. Если вам нужно отапливать несколько зданий, чтобы получить больше электроэнергии, это может быть несколько емкостей. Такая котельная будет блочного типа [2].

В зависимости от потребности количество тепла и горячего водоснабжения регулируется автоматикой. МКУ - это слабоавтоматизированная, автоматизированная (с обслуживанием), автоматическая котельная (без обслуживания) с передачей информации в диспетчерский пункт [3].

МКУ изготавливают по индивидуальному проекту для каждого клиента. Котельные эффективно решают проблемы теплоснабжения и организации производственных процессов в различных установках.

В зависимости от требуемых характеристик МКУ может иметь разное количество модулей. Работа модульных котельных может осуществляться на различных видах топлива, а именно, газообразном, жидком и твердом топливе.

Также можно использовать несколько видов топлива. Модульная котельная полностью укомплектована всеми необходимыми приборами контроля и учета, а также автоматизацией технологических процессов. Выпускаются мощностью от 0,6 до 16 МВт (горячая вода) и от 1 до 16 т / час (пар).

Выпускаются быстросборные котельные мощностью от 16 МВт до 35 МВт. Отличие этих котельных от модульных в том, что сначала устанавливается котел, а затем строится быстросборное здание из сэндвич-панелей.

Стационарные котельные устанавливают при необходимости обогрева крупных объектов (микрорайонов, жилых комплексов, промышленных зданий). Этот вид котельной отличается от установки МКУ и отсутствием транспорта. Стационарные котельные являются самостоятельными зданиями и включают в себя жаротрубные котлы большой мощности. Конструкция такой котельной может быть построена из различных материалов. Это могут быть металлические конструкции с сэндвич-панелями, кирпичи или железобетонные конструкции. Они занимают большую площадь и устанавливаются на отдельный фундамент. К тому же их установка занимает много времени и представляет покупателям в разобранном виде. Выпускаются стационарные котельные мощностью 35 МВт.

К водопроводным сетям подключаются паровые водонагреватели (котлы) (рис. 1). Как правило, такие котлы устанавливают в котельной.

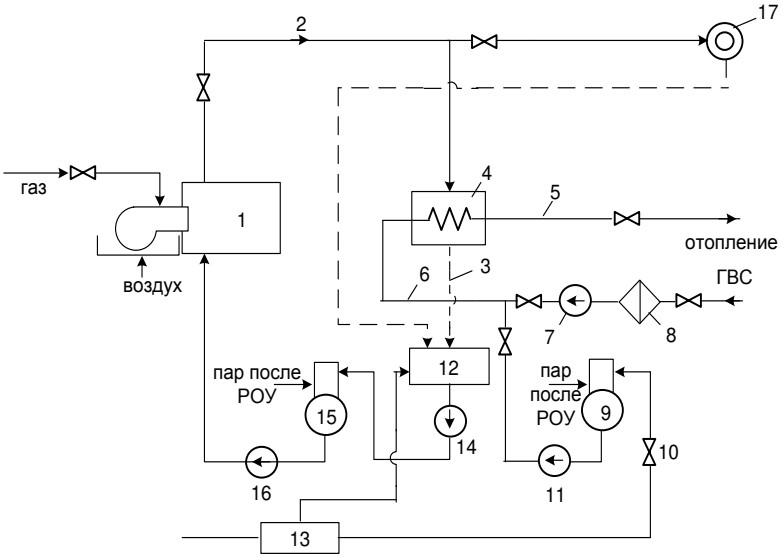


Рисунок 1 -Принципиальная схема паровой модульной котельной:

1 - паровой котел; 2 - паропровод; 3 - конденсатопровод; 4 - бойлер; 5, 6 - подающий и обратный трубопроводы; 7,11, 14, 16 – сетевой, подпиточный, конденсатный и питательный насосы; 8 - грязевик; 9, 15 - деаэраторыподпиточнойи питательной воды; 10 - регулятор давления; 12 – бак сбора конденсата; 13 -химводоподготовка; 17 – потребитель пара.

При работе водогрейных котлов в систему отопления поступает вода, нагреваемая в пучках котельных труб. В этом случае схема отопления и оборудование котельной выбираются на основании характеристик и параметров объектов теплоснабжения.

На практике для системы теплоснабжения рассматривают следующие основные схемы [1]:

- с открытым водозабором, при этом теплоноситель для горячего водоснабжения подается потребителю от тепловой сети. Эти программы действуют в районах старых зданий во многих городах и в настоящее время редко используются для нового строительства;

- с закрытым подводом воды с подготовкой теплоносителя для горячего водоснабжения потребителей в отдельных теплообменниках.

Размещение теплообменников может быть центральным отопительным пунктом (ТЭЦ) или индивидуальным тепловым пунктом (ИТП).

На рис.2 представлена схема с прямым подключением к тепловой сети системы отопления и вентиляции, а узлы горячего водоснабжения подключены по схеме с закрытым подводом воды через теплообменники.

Для данной схемы характерна в целом как работа котлов, так и обеспечение потребителей за счет сетевых насосов. При этом реализация представленной схемы значительно проще и дешевле, за счет отсутствия целого ряда оборудования, например,дополнительных насосов теплообменников и арматуры.

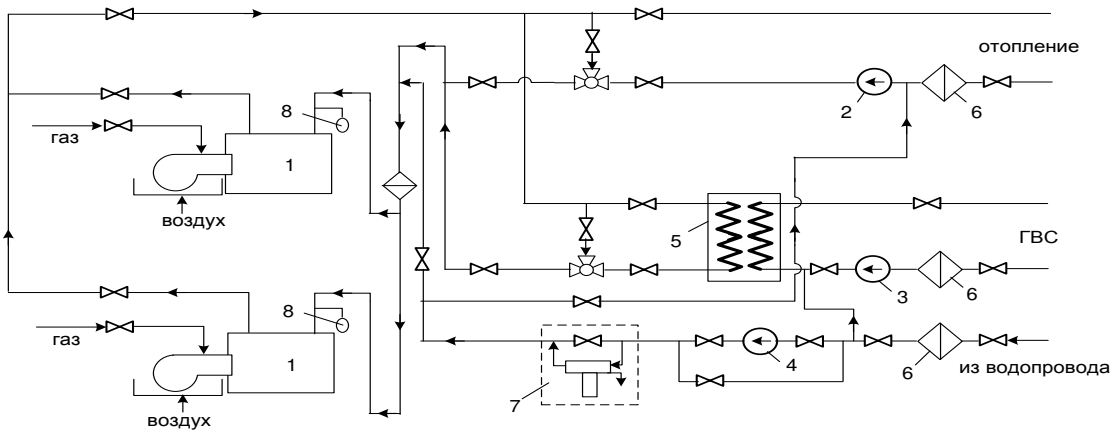


Рисунок 2 - Принципиальная тепловая схема модульной котельной с зависимым присоединением системы отопления для закрытой системы теплоснабжения:

1 - водогрейный котёл; 2,3,4 – сетевой, циркуляционный для системы ГВС, подпиточный насосы; 5 - водо-водяной подогреватель ГВС; 6 - фильтр-грязевик; 7 –система химводоподготовки; 8 - бак мембранный.

Недостатком этих схем является засорение котлов частицами, которые могут попасть в котел из трубопроводной системы отопления конечных потребителей. Также эти системы не полностью обеспечивают подачу тепла потребителям с учетом погодных условий. Поэтому такие схемы теплоснабжения распространены только при небольшом количестве потребителей и коротких тепловых сетях.

На рис. 3 представлена схема системы теплоснабжения при подключении потребителей через теплообменники, т.е. так называемая схема с независимым подключением. При этом предусматривается размещение теплообменников как в котельной, так у потребителя через теплопункты.

Применение такой схемы целесообразно при протяженной «грязной» тепловой сети с большими утечками.

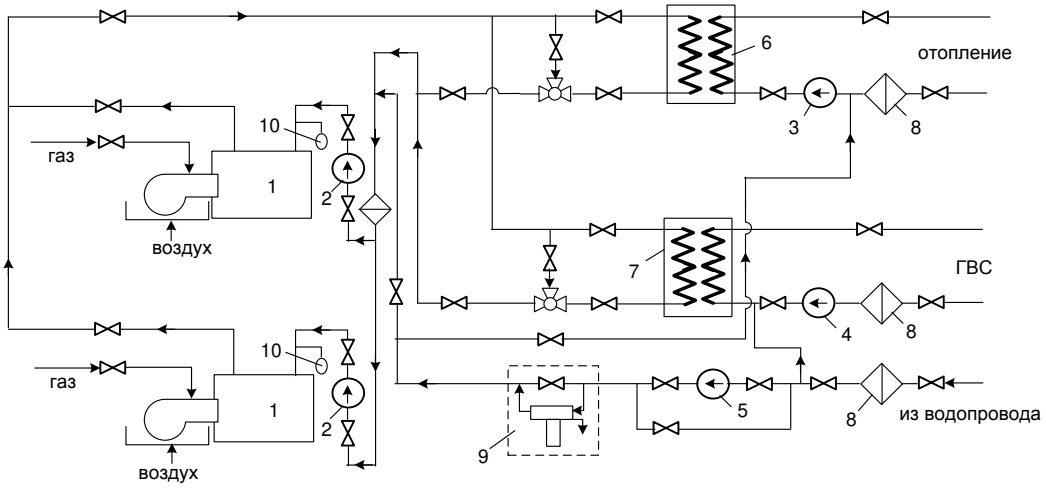


Рисунок 3 - Принципиальная тепловая схема модульной котельной с независимым присоединением тепловой нагрузки для закрытой системы теплоснабжения:

1 - водогрейный котёл; 2,3, 4, 5 – насосы котлового контура, контура отопления, циркуляционный для системы ГВС и подпиточный; 6,7 - водо-водяные подогреватели системы отопления и ГВС; 8 - фильтр-грязевик; 9 - химводоподготовка; 10 –бак мембранный.

При этом внутренний контур котельного оборудования работает на «чистой» воде, температура подаваемого теплоносителя легко регулируется, а требуемый номинальный расход воды для надежной работы котлов поддерживается независимо от подключенных сетей, как с точки зрения количества котлов, так и способов регулирования.

Недостатками схемы являются очень высокая цена нагревателей, которая быстро увеличивается с ростом мощности котельной, габариты установки, особенно если нагреватели не пластинчатые, и дополнительные затраты на перекачку (высокие).требуются напорные насосы).

Этот вариант более широко используется на практике.

В качестве топлива в МКУ чаще всего используют газ или мазут М100. Дизельное топливо можно использовать в качестве резервного топлива. В диапазоне 50 - 100% допустимо регулирование тепловой нагрузки.Система автоматического регулирования, которой оснащены модульные котельные, позволяет производить автоматический запуск котла, автоматическое включение питательного насоса в случае падения давления воды в системе отопления, регулирования уровня воды в накопительном баке и емкости для конденсата, регулирование расхода топлива и воздуха, температуры воды как в контуре МКУ, так и в системах отопления и горячего водоснабжения. Так же в обязательном порядке предусмотрены системы охраны и сигнализации.

Из рассмотрения представленных схем модульных котельных с учетом требований тепловых потребителей можно рекомендовать тепловую схему

МКУ с независимым присоединением тепловой нагрузки для закрытой системы теплоснабжения.

Решение по строительству МКУ позволит снять вопрос о реконструкции централизованного источника тепла в виде котельной с заменой основного и вспомогательного оборудования. Следует отметить, что при этом будут также снижены затраты на транспортировку теплоносителя к потребителю. Кроме того значительно будут снижены тепловые потери при транспортировке теплоносителя к потребителям, т.к. протяженность теплотрассы будет значительно сокращена и при этом появляется возможность проектирования индивидуального теплового пункта для обеспечения наиболее экономичных режимов работы оборудования и системы в целом.

Литература

1. *Полонский В.М.* Автономное теплоснабжение: Учебное пособие / *В.М. Полонский, Г.И. Титов, А.В. Полонский*. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 152 с.

2. *Бухаркин Е.Н.* Энергосберегающие технологии для теплогазоснабжающих систем. Т. 1, кн. 1 / *Е.Н. Бухаркин, М.Г. Ладыгичев*. М.: Теплотехник, 2011. – 348 с.

3. https://www.nordcompany.ru/press-centr/vse-o-kotelnyh/modulnye-kotelnye

Т.А. Мансуров, студ., В.П. Шибаев, студ., рук. С.П. Курилин, д.т.н., проф.
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

ПОЛЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

Известно, что эксплуатационный ресурс электротехнического оборудования – электродвигателей, электрогенераторов, трансформаторов, автотрансформаторов, реакторов, силовых преобразовательных устройств, в значительной мере определяется степенью напряжённости теплового режима. В качестве технических характеристик теплового режима используются температуры отдельных узлов или поверхностей устройства, наиболее чувствительных к тепловому воздействию. Таковыми обычно являются статорные обмотки электродвигателей и трансформаторов, обмотки возбуждения синхронных машин, поверхности роторов асинхронных машин и турбогенераторов, коллекторы машин постоянного тока, подшипники, поверхности полупроводниковых приборов. Следует отметить, что электротехнические устройства являются проблемными объектами теплового расчёта. Тепловыделение и теплопередача в них осуществляется в разнородных трёхмерных физических средах, разделённых границами со сложными геометрическими формами. Это обстоятельство проявилось в следующих характеристиках инженерных тепловых расчётов электрооборудования, существующих в настоящее время:

- максимально возможное снижение количества физических тел тепловой модели;
- постулирование физической однородности тел тепловой модели;
- существенные упрощения форм границ физических тел;
- максимально возможное снижение размерности теплового поля, его источников и стоков;

- жесткая привязка тепловой модели и методики теплового расчёта к конструкции устройства.

В совокупности данные характеристики обусловили весьма приблизительный (поверочный) характер теплового расчёта и необходимость реализации в устройстве значительных, а для отдельных узлов – избыточных, тепловых резервов.

С появления первых электротехнических устройств высоко детализированный расчет тепловых процессов в них был невозможен. Для расчета использовались параметрические модели (схемы замещения, системы линейных и нелинейных уравнений и т.д.), позволяющие с допустимой погрешностью, провести относительно быстро анализ тепловых процессов и состояний. Однако параметрические модели строятся на основе существенных, в рамках современных инженерных задач, допущений и не позволяют выявить особенности определенных физических процессов. Развитие ЭВМ и компьютерных технологий способствовало появлению мощных систем автоматизированного проектирования (САПР), математический аппарат которых основан на методе конечных элементов (МКЭ). Это сделало возможным проводить высоко детализированный расчет различного рода процессов (тепловых, механических и т.д.) на полевых моделях соответствующих электротехнических устройств.

Целью данной статьи является демонстрация особенностей полевого моделирования тепловых процессов в компонентах электротехнических устройств при использовании систем автоматизированного проектирования. Для достижения поставленной цели необходимо решить задачи, связанные с тепловым расчётом и анализом моделей электротехнических объектов в САПР.

Одним из неотъемлемых компонентов многих преобразовательных устройств является радиатор, обеспечивающий нормальное тепловое состояние полупроводникового прибора. Подобную форму и назначение имеют также корпуса многих электрических машин.

Тепловой расчёт алюминиевого радиатора при воздействии на его грань теплового потока был произведен в одной из сред трёхмерного полевого моделирования. Масштабная модель радиатора представлена на рисунке 1.

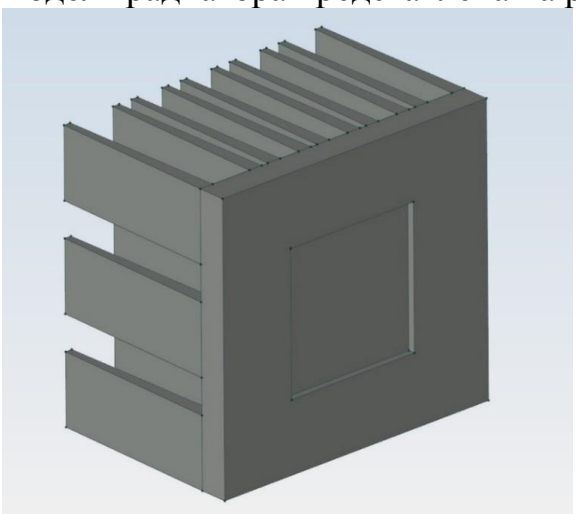


Рис.1 – Расчётная модель радиатора

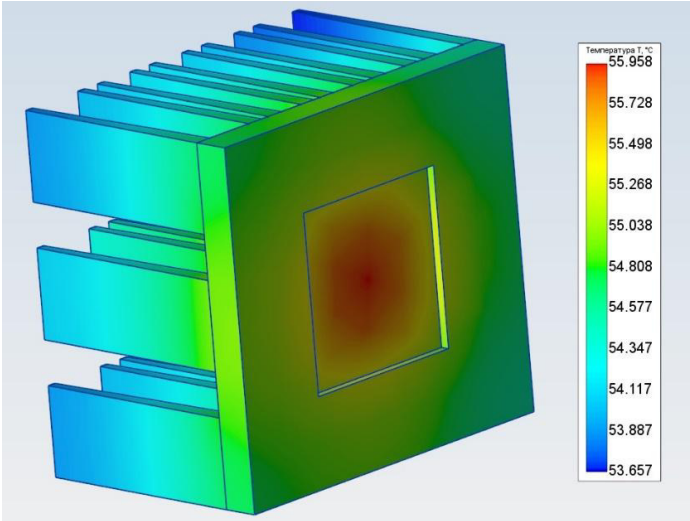


Рис. 2 — Распределение температуры на фронтальной стороне радиатора

В данном примере в качестве воздействия задан тепловой поток величиной 25 кВт/м^2. Распределение температуры фронтальной стороны радиатора представлено на рисунке 2.

В качестве охлаждения на зубцы радиатора действует воздействие, заданное в виде конвекции с температурой окружающей среды равной T_0 = 20 °С и коэффициентом конвективного обмена α = 15 Вт/ (°С · м^2). Результаты расчета представлены на рисунке 3.

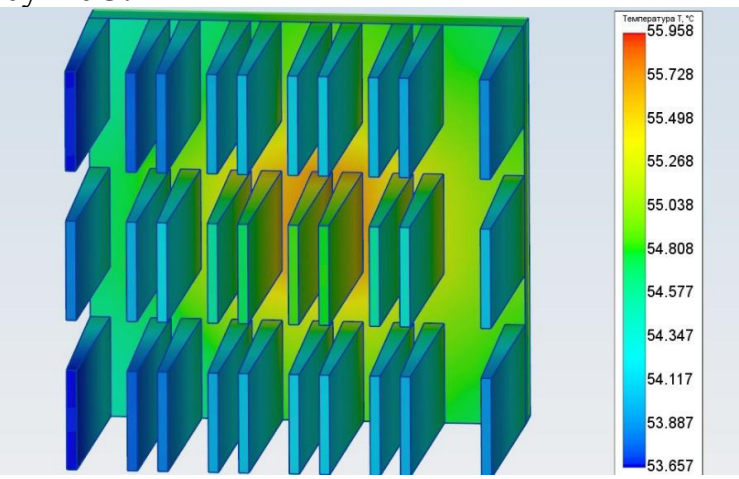


Рис. 3 — Распределение температуры на задней стороне радиатора

Достоинством данной полевой модели является то, что по ней наглядно видно, каким образом распределяется тепло по всему телу. Также несмотря на высокую точность расчета полевой математической модели, сам расчет может производится достаточно длительное время. Помимо визуального представления модели можно выделить возможность дальнейшей комплексной работы с полученными результатами, например, осуществить сечение плоскостью модели и посмотреть распределение температуры внутри, как это сделано на рисунке 4. Как правило системы проектирования также позволяют увидеть точное значение температуры в конкретной точке.

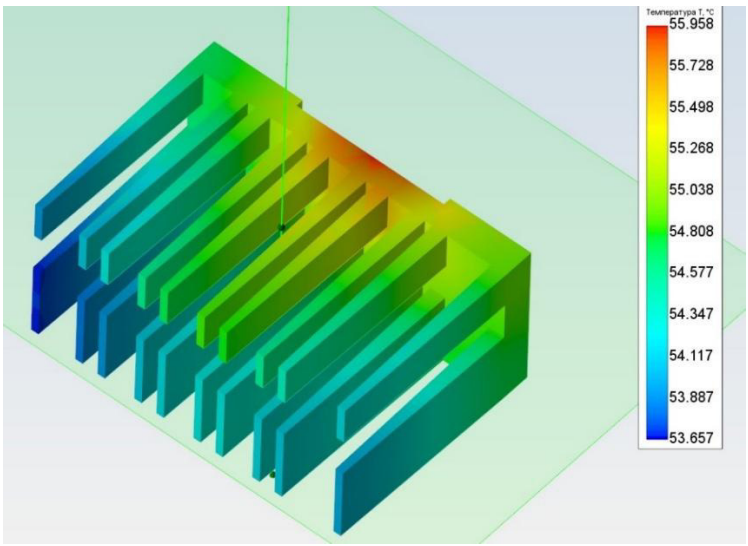


Рис. 4 – Распределение температуры в отсеченной части радиатора

Таким образом, анализ и расчёт полевых моделей в системах автоматизированного проектирования позволяет получить результаты, которых невозможно было бы достичь с помощью параметрических моделей. Это создает дополнительные проектировочные возможности повышения эксплуатационного ресурса электротехнического оборудования

Литература

- Гольдберг, О. Д. Инженерное проектирование и САПР электрических машин /О.Д. Гольдберг, И.С. Свириденко. - М.: Academia, 2008. - 560 с.
- Малюх, В.Н. Введение в современные САПР / Владимир Малюх. - Москва: Гостехиздат, 2014. - 192 с.
- Фарлоу С. Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров: Пер. с англ. - М.: Мир, 1985. - 384 с.

А.Г. Мизеркин, студ., Н.Д. Геращенков, С.П. Курилин, д.т.н., проф.
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

ТЕПЛОВЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ СОВРЕМЕННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Современные технические системы, такие как системы электро- и теплоснабжения, представляют собой высоко интегрированные системы, обеспечивающие производственную и бытовую деятельность человека. Рост сложности и мощности таких систем актуализирует задачи снижения их материалоемкости, повышения надёжности, предотвращения техногенных аварий и катастроф.

Существующие в настоящее время подходы к снижению материалоёмкости технических систем основаны на снижении массы при условии обеспечения электрической, механической и тепловой стойкости отдельных узлов и деталей системы. При этом задача повышения надёжности, как правило, решается путем создания запасов прочности или путём резервирования мощности системы, что кратно увеличивает её материалоёмкость. Очевидно, что задача снижения материалоёмкости и повышения надёжности технических систем является противоречивой и комплексной научно-технической проблемой. Решение данной проблемы видится в системном подходе к анализу материалоёмкости, а также электрической, механической и тепловой стойкости инженерной системы. Ос-

новную роль в этом призваны сыграть мощные системы автоматизированного проектирования (САПР).

Одними из наиболее распространённых инженерных расчётов является расчёт тепла и механики конструкций. Они позволяют заранее, используя полевую математическую модель, сказать о том, выдержит ли материал определённые номинальные температуры или нагрузки. На основе этих расчётов появляется возможность доработки и усовершенствования исследуемых объектов.

Целью данного исследования является демонстрация основных преимуществ использования систем автоматизированного проектирования при расчёте технических объектов. В статье анализируются возможности САПР в моделировании тепловых процессов и механических нагрузок.

Расчётной средой для апробирования был выбран SolidWorks. Основными преимуществами данной программы, в сравнении с другими САПР, является повышенное быстродействие, возможность одновременного проектирования и выполнения различных задач за счёт множества подключаемых модулей.

В качестве демонстрации возможностей данной системы автоматизированного проектирования будет рассмотрена тепловая задача. Для этого изначально спроектирована полевая модель части кронштейна.

Данная часть кронштейна используется для крепления различного рода антенн, датчиков. При приложении кругового вращающего момента к фланцу кронштейна происходит вращение вала в подшипниковом узле. Это приводит к нагреву материалов и последующему ускоренному износу материалов. Поэтому на основе анализов моделирования данной ситуации можно сделать выводы о необходимости доработки и усовершенствования либо размеров кронштейна, либо материалов.

В модели источником теплового потока являются трения, возникающие в подшипниковом узле. Вид модели кронштейна изображён на рисунке 1. Материалом фланца и станины кронштейна является простая углеродистая сталь. Материалом подшипника была выбрана сталь ШХ15.После задания всех материалов и источников тепла производим построение сетки конечных элементов. Затем выполняем сам расчёт картины тепла.

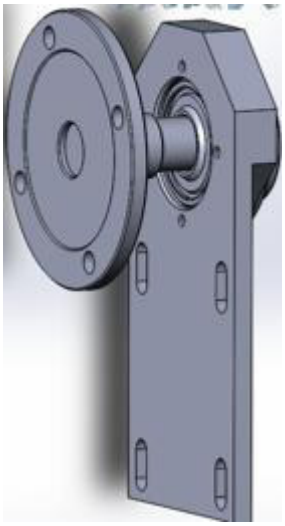


Рис. 1 — Расчётная модель кронштейна

Была задана температура подшипникового узла в размере 50 °С. Для моделирования естественного охлаждения была установлена конвекция 20 (Вт/м^2*К). Полученное распределение температуры показано на рисунке 2.

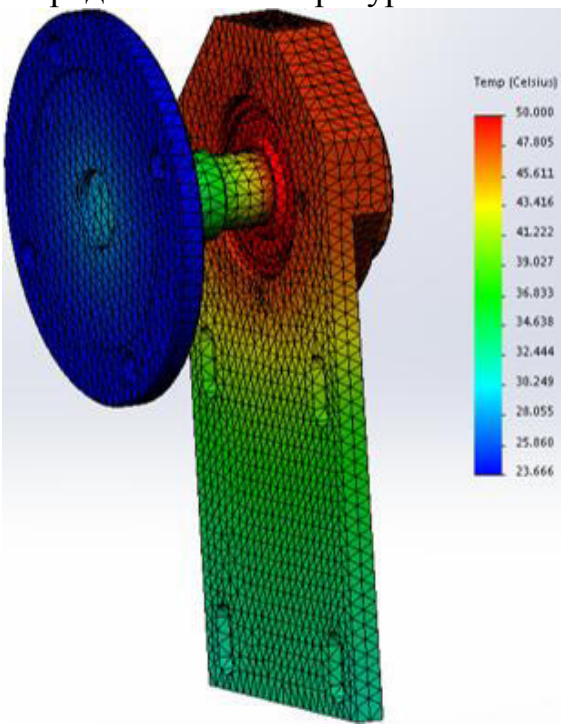


Рис. 2 — Распределение температуры от подшипникового узла

Для анализа данной модели можно отобразить лишь ту часть, где температура выше установленной, как на рисунке 3.

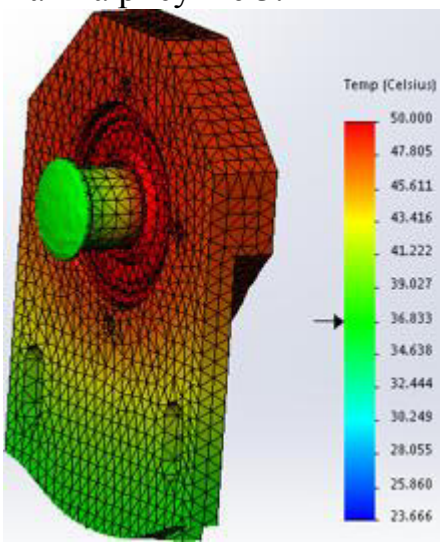


Рис. 3 — Изображение части модели с температурой выше 36 °С

Для рассмотрения механической задачи будет использован этот же смоделированный кронштейн. Данный кронштейн можно протестировать на максимально возможную нагрузку, при которой он выдержит и не сломается. Для этого на задней стороне кронштейна задаём граничные условия, означающие жёсткое закрепление кронштейна в пространстве.

$$u(0,t) = 0, u_x(0,t) = 0,$$

В местах крепления болтов также были заданы граничные условия. (рисунок 4)

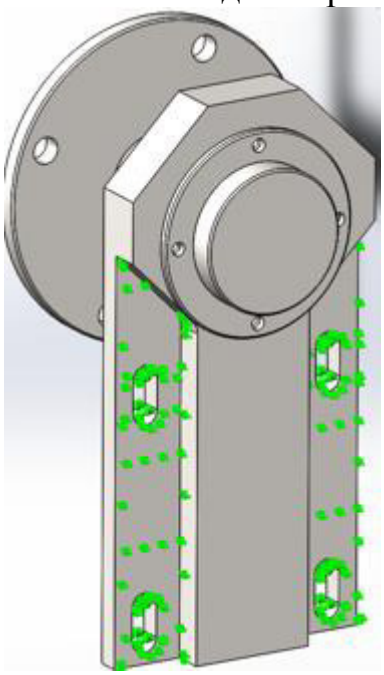


Рис. 4 — Граничные условия кронштейна для механического расчёта

На фланец прикладываем распределённую силу в размере 750 Н. Далее получаем картину распределения напряжений по Мизесу, картину деформации тела и отображение запаса прочности (если он больше 1, то тело не разрушится под данной нагрузкой). На рисунке 5 отображается распределение напряжений на кронштейне. Изгиб деталей на рисунке показывает лишь максимально возможную деформацию, при котором не происходит разрушение детали, что бывает довольно полезно в инженерной деятельности при проектировании.

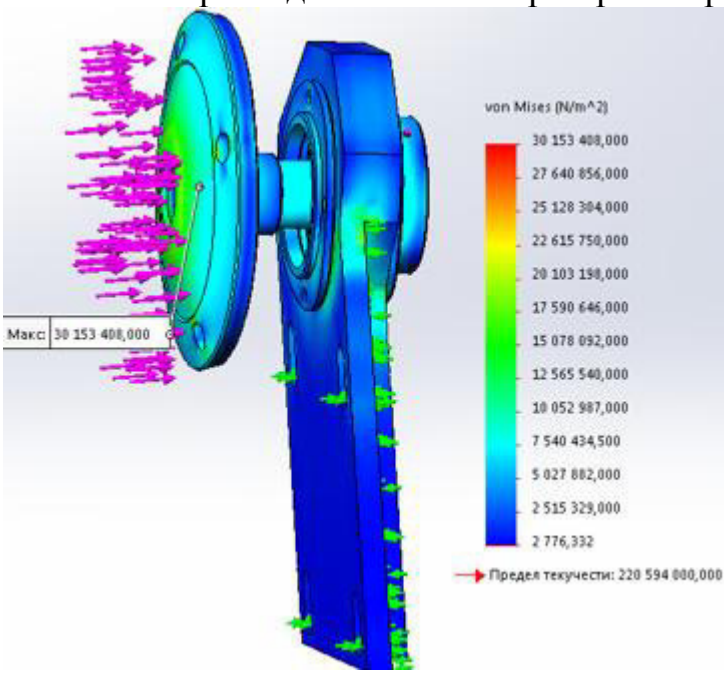


Рис. 5 — Распределение напряжений по Мизесу

На рисунке 6 заметно, что данная модель выдерживает даже 1500Н, что эквивалентно примерно ≈150кг с минимальным коэффициентом прочности 7.3.

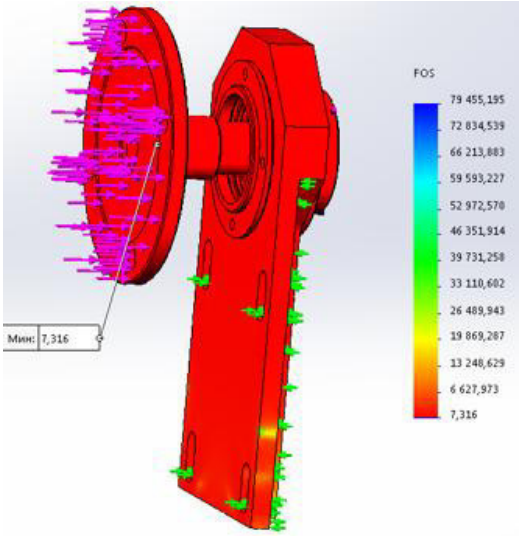


Рис. 6 — Распределение коэффициента прочности

Таким образом, видно, что применение систем автоматизированного проектирования открывает новые возможности в проектировании конструкций, а также позволяет более эффективно подходить к решению задач. В частности, благодаря лежащему в основе САПРа полевому расчету, можно решать задачи с высокой точностью. А поскольку расчет выполняется в виртуальной среде с возможностью визуального отображения результатов (распределение напряжений, деформации, коэффициент прочности, распределение температуры и др.) позволяет подробно анализировать объект и эффективно его совершенствовать.

Литература

- Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов / Алямовский А.А. – М.: ДМК Пресс, 2015, 562 с.
- 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.
- Дударева Н.Ю. SolidWorks 2011 на примерах / Дударева Н.Ю., Загайко С.А. - БХВ-Петербург, 2011, 496 с.

Т.Ж. Мовсисян, студ.; рук. И.А. Кабанова, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Комфорт и тепло в наших квартирах и домах обеспечены источниками энергии независимо от погоды и сезона. Мало кто считает, что запасы топлива в виде угля, нефти и газа ограничены. Чтобы не истощать богатые ресурсы недр земли и оставлять некоторый запас для будущих поколений, ученые создали устройства, которые позволяют использовать возобновляемые альтернативные источники энергии с течением времени, одной из подобных разработок стали тепловые насосы.

Целью данного исследования является оценка потенциала применения тепловых насосов в системах теплоснабжения и сравнение экономичности их применения по сравнению с другими источниками тепловой энергии.

Тепловые насосы - это компактные экономичные и экологически чистые системы отопления, позволяющие получать тепло для горячего водоснабжения и отопления за счет использования тепла низкопотенциального источника путем переноса его к теплоносителю с более высокой температурой.

Источником низкопотенциальной тепловой энергии может быть тепло как естественного, так и искусственного происхождения.

Естественные:

- тепло земли (тепло грунта);
- подземные воды (грунтовые, артезианские, термальные);
- наружный воздух.

Искусственные:

- удаляемый вентиляционный воздух;
- канализационные стоки (сточные воды);
- промышленные сбросы;
- тепло технологических процессов;
- бытовые тепловыделения.

Применение тепловых насосов различной тепловой мощности является принципиально новым решением проблемы теплоснабжения и позволяет в зависимости от сезона и условий работы достигать максимальной эффективности.

Тепловой насос состоит из испарителя (6), конденсатора (9), расширителя и компрессора (7), который работает по принципу Карно. Хладагент, двигающийся по трубопроводу с низкой температурой кипения, проходит два контура. В одной части контура, после сжатия компрессором и повышения давления, хладагент принимает агрегатное состояние в виде газа, в другой – отдает свое тепло и конденсируется в жидкое агрегатное состояние. Затем избыточное давление уменьшается за счет дроссельного вентиля (10) и цикл повторяется (рис.1) [1].

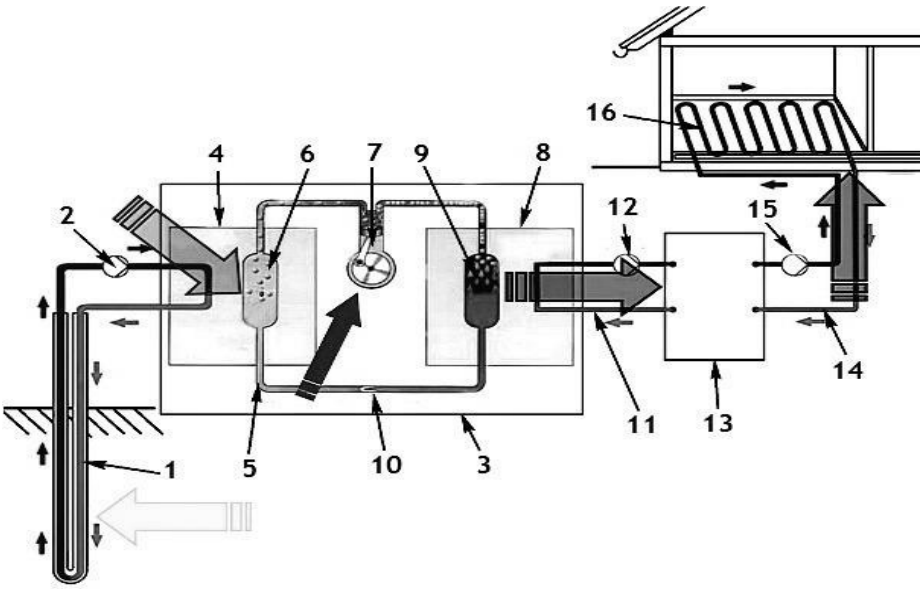


Рисунок 1 - Схема теплового насоса

1-корпус насоса, 2,12,15-циркуляционный насос, 4,8-теплообменникк, 5-контур циркуляции, 6-испаритель, 7-компрессор,9-конденсатор, 10-дроссель, 11-трубы

3-го контура насоса, 13-изоллированная емкость, 14-отопительный контур, 16-отопительная система труб.

В качестве источников тепла в небольших системах на базе тепловых насосов широко используются наружный и отводимый воздух, почва и подпочвенная вода, для систем большой мощности применяются морская, озерная и речная вода, геотермические источники и грунтовые воды.

Преимущества теплового насоса:

- Экономичность. Высокое КПД системы за 1 кВт затраченной энергии можно получить от 3-7 кВт тепловой энергии, это намного выше чем у любого котла, работающего на природных ресурсах.
- Автономность. Для работы не нужно топливо, поэтому не требуется прокладывать тепловые коммуникации.
- Долговечность. Срок службы теплового насоса от 15 до 50 лет.
- Экологичность. Нет необходимости в утилизации отработанного топлива.
- Безопасность. Тепловой насос не содержит воспламеняющегося топлива, установка работает без участия человека, установка не выделяет угарный газ.

С экономической точки зрения, плюсы и минусы систем возобновляемых источников энергии можно представить в виде двух совмещенных графиков. На рисунке в качестве примера приведены две условные отопительные системы « Система дизельного котла» и «Система теплового насоса» [2].

Затраты в обоих случаях делятся на:

1. начальные (разовые) - это постоянные начальные затраты на проектирование, покупку оборудования, вспомогательных аксессуаров и монтаж;
2. эксплуатационные - это переменные, постоянно растущие по времени затраты на топливо, электроэнергию, ремонт и оплату труда эксплуатационному штату;
3. суммарные - это переменные, постоянно растущие по времени затраты, которые являются суммой первых двух.

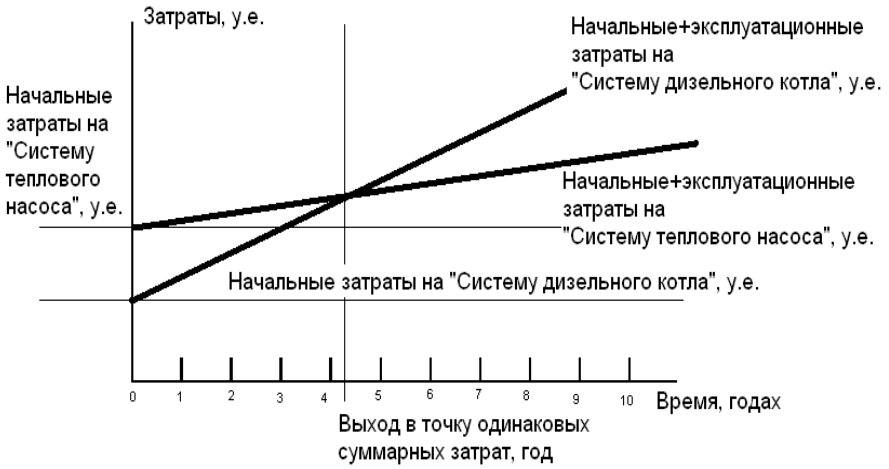


Рисунок 2 - Сравнительная экономическая оценка двух условных систем отопления

Изрисунка видно, что имеется особая точкана оси времени, когда суммарные затраты обоих систем сравниваются, и дальше владелец системы возобновляемой энергетики начинает экономить средства. От чего зависит экономия:

от разницы в начальных затратах обоих систем;

от разницы в эксплуатационных затратах обоих систем.

Расчеты показали, что:

- выход в точку окупаемости происходит за ~ 4,2 года;
- несмотря на то, что начальные затраты теплового насоса в 2,5 раза выше, чем дизельного котла, эксплуатационные расходы последнего (стоимость дизельного топлива, его доставки на объект, ремонт и т.д.) выше, чем у теплового насоса.

Необходимо оговориться, что рассмотренный график составлен с учётом нынешних тарифов на топливо и электроэнергию, а также сегодняшних цен на оборудование. Первоначальные вложения на приобретение оборудования весьма высокие, что обусловлено конъюктурой рынка. В тоже время тарифы на энергоносители постоянно растут, наблюдается повышенный интерес к более широкому применению альтернативной энергетики. Поэтому можно ожидать, что стоимость оборудования постепенно будет приближаться к реальным значениям.

Анализируя представленные в таблице данные, следует отметить, что по экономичности тепловые насосы уступают пока только газовым котлам с учетом действующих цен на энергоносители. Но при этом тепловые насос значительно проще в эксплуатации и обеспечивают достаточно большой срок служды, до 15-20 лет до капитального ремонта. Они заметно выигрывают у жидкотопливных и электрических котлов. По общим затратам для одного дома площадью 300 м^2 тепловой насос обходиться на 72% дешевле жидкотопливных и на 35% электрических.

В перспективе, в связи с ростом цен на все виды топлива лидерство тепловых насосов обеспечено.

Таблица 1 - Годовые затраты на отопление 1 м^2 площади дома разными системами.

Тип теплогенератора системы отопления	Теплота сгорания топлива	Годовая потребность	Цена энергоносителя	Стоимость энергоносителя, руб.	Затраты для дома S=300м2, руб.
Газовый котел	$10{,}1\frac{кВт \cdot ч}{м^3}$	$19{,}9 м^3$	$1{,}109\frac{руб}{м^3}$	22,1	6630
Жидкотопливный котел	$10{,}2\frac{кВт \cdot ч}{л}$	$20{,}2 л$	$13{,}3\frac{руб}{л}$	268,7	80610

Электрический котел	-	$191{,}5 кВт \cdot ч$	$1{,}13 \frac{руб}{кВт \cdot ч}$	2164	64920
Тепловой насос	-	$67 кВт \cdot ч$	$1{,}13 \frac{руб}{кВт \cdot ч}$	75,7	22713

В заключении можно сказать, что применение тепловых насосов в России будет обеспечивать решение вопросов энергосбережения за счет снижения расхода органического топлива и будет экономически целесообразным только в случае комплексного подхода к экономии энергоресурсов за счет применения современных теплоизоляционных материалов, снижающих теплопотери зданий, решения рациональной организации систем вентиляции с применением рециркуляции и рекуперации для снижения энергопотребления, применения современного оборудования систем отопления, утилизации вторичных энергоресурсов на производстве. Кроме того необходимо рассматривать наличие дополнительного резервного источника теплоснабжения для надежного теплоснабжения потребителей.

Литература

1. Ермаков, Андрей Исследование тепловых насосов / Андрей Ермаков. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2011. - 172 с.
2. Наумов А.А. Тенденция развития теплоснабжения в России// НП АВОК, 2012

Я.О. Моисеев, студ.; рук. И.С. Саватеева, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХМАССОВОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С МОДАЛЬНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ

Ряду современных электроприводов трудно придать устойчивость, а тем более высокие динамические показатели движения рабочего органа. К таким электроприводам можно отнести поворотные антенные установки, некоторые типы манипуляторов, роботов. В классической системе с подчинённым регулированием управляется только перерегулирование – степень демпфирования. Время переходного процесса и жёсткость механической характеристики являются функциями настройки на перерегулирование. Кроме того, стандартный метод синтеза применим только для одномассовой расчетной схемы. Если в системе привода учитываются упругие связи, то динамические свойства электропривода не будут соответствовать ожидаемым.

Альтернативным способом синтеза систем, позволяющим настроить систему на заданные показатели, является модальное управление. Модальное управление в настоящее время является одним из наиболее перспективных методов синтеза управляющих устройств [1]. Оно предоставляет широкие возможности для обеспечения требуемых показателей качества процессов: устранения колебательности при наличии упругости и люфтов в кинематических связях, повышения быстродействия [2].

Модальное управление осуществляется с помощью линейных обратных связей (жёстких или гибких), которые алгебраически складываются на общем

усилителе, управляющем силовым преобразователем привода. Цепи обратных связей структурно выполняют функцию параллельных корректирующих звеньев. Задача синтеза модального управления заключается в подборе коэффициентов обратных связей, которые позволяют обеспечить требуемые характеристики объекта управления. В основе синтеза лежит метод нормированных уравнений [3].

Проведем синтез модального регулятора на базе двухмассовой системы электропривода постоянного тока, структура которого показана на рис. 1. Упругость кинематической цепи оценивается коэффициентом жесткости C_{12}. Моменты сопротивления M_{c1}, M_{c2}, скорость рабочего органа ω_2 и параметры J_1, J_2, C_{12} приведены к скорости двигателя ω_1.

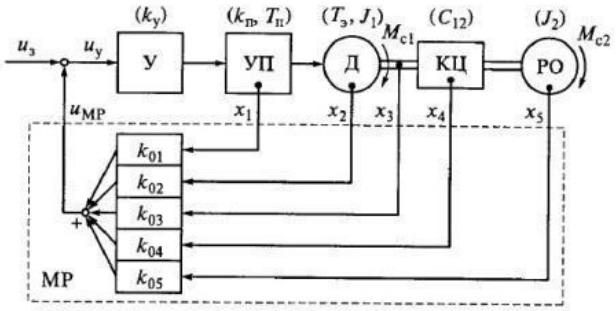


Рис. 1

В качестве переменных состояния выбираем: $x_1=E_n$, $x_2=i$, $x_3=\omega_1$, $x_4=M_{12}$, $x_5=\omega_2$.

Для данных переменных состояния имеем следующее уравнение разомкнутого электропривода:

$$(d_0p^5+d_1p^4+d_2p^3+d_3p^2+d_4p+d_5)\omega_2=$$
$$=k_0u_y-b_0\frac{M_{c1}}{\beta}-(b_1p^4+b_2p^3+b_3p^2+b_4p+b_5)\frac{M_{c2}}{\beta},$$

где d_0-d_5, b_0-b_5 – коэффициенты уравнения разомкнутого электропривода, зависящие от постоянных времени системы.

Уравнения для замкнутого по вектору состояния электропривода получим, используя уравнение замыкания:

$$u_y=u_з-(k_{01}E_n+k_{02}i+k_{03}\omega_1+k_{04}M_{12}+k_{05}\omega_2.$$

Выражая переменные M_{12}, ω_1, i, E_n через ω_2 в уравнении разомкнутого электропривода, получаем:

$$(D_0p^5+D_1p^4+D_2p^3+D_3p^2+D_4p+D_5)\omega_2=$$
$$=k_0u_з-B_0\frac{M_{c1}}{\beta}-(B_1p^4+B_2p^3+B_3p^2+B_4p+B_5)\frac{M_{c2}}{\beta},$$

где коэффициенты D_0-D_5, B_0-B_5 получаются путем преобразований из коэффициентов уравнения разомкнутого электропривода с применением параметров модального регулятора: $k_1=k_y+k_n+k_{01}$; $k_2=k_yk_n\dfrac{k_{02}}{R_{я\Sigma}}$;

$$k_3 = k_y k_n k_{дв} k_{03};\ k_4 = k_y k_n \frac{k_{04}}{k_{дв} R_{я\Sigma}};\ k_5 = k_y k_n k_{дв} k_{05}.$$

Выбираем нормированное уравнение пятого порядка для замкнутого по вектору состояния электропривода по желаемым параметрам:

$$S^5 + c_1 S^4 + c_2 S^3 + c_3 S^2 + c_4 S + 1 = 0.$$

Выбираем настройку на модульный оптимум с показателями σ ≈ 5% и $\tau_{пп}$ =7,5, тогда $c_1 = c_4 = 4$; $c_2 = c_3 = 8$ [3].

Определяем параметры модального регулятора:

$$k_1 = \frac{d_0 c_1 \omega_б - d_1}{T_я T_м T_2^2};\ k_2 = \frac{d_0 c_2 \omega_б^2 - d_2}{T_м T_2^2} - k_1;\ k_3 = \frac{(d_0 c_3 \omega_б^3 - d_3) - k_1(\gamma T_я T_м + T_2^2)}{T_2^2};$$

$$k_4 = \frac{(d_0 c_4 \omega_б^4 - d_4) - (k_1 + k_2)(\gamma T_м)}{(\gamma - 1)} \cdot T_м;\ k_5 = (d_0 \omega_б^5 - 1) - (k_1 + k_3).$$

На основании параметров модального регулятора получаем общие коэффициенты усиления модального регулятора, которые показаны в обратных связях структурной схемы (рис. 2).

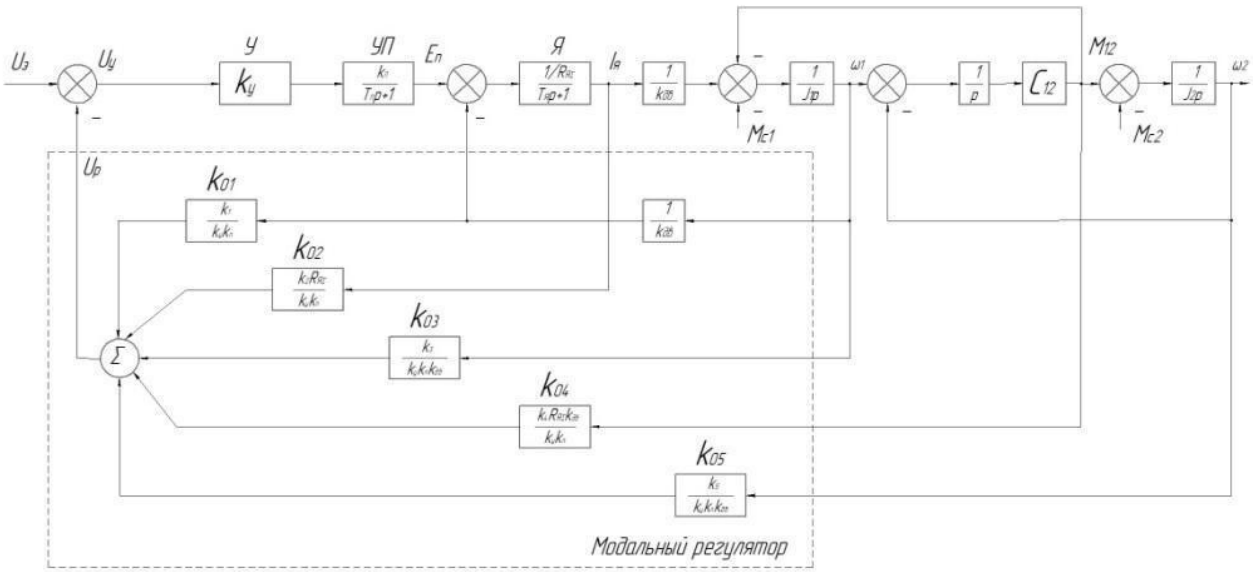


Рис. 2

На основании проведенных расчетов была построена модель электропривода в пакете *MatLab* (рис.3). Анализ переходных процессов проводился для двигателя мощностью 10 кВт.

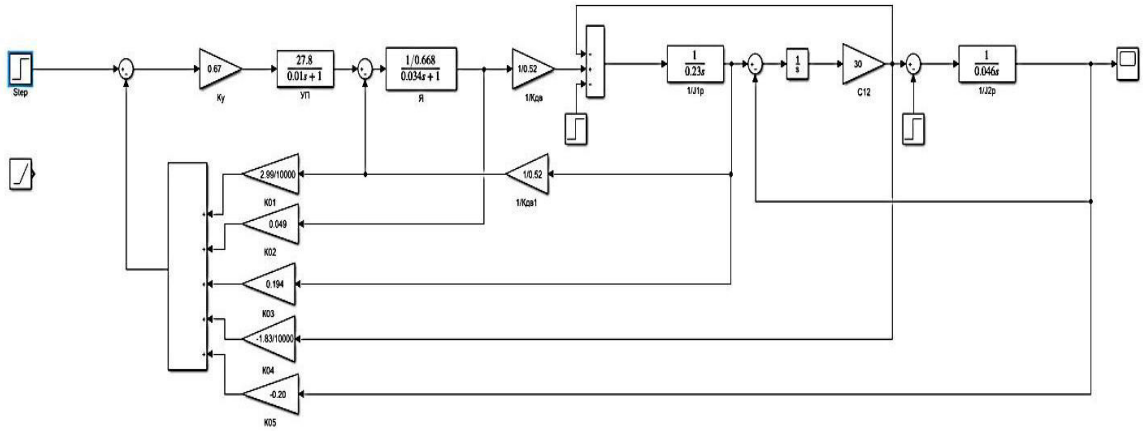


Рис. 3

Переходная функция системы управления при скачке задания приведена на рис. 4. Перерегулирование практически отсутствует. Время регулирования (t_p) составляет 0,28 с, что соответствует заданному относительному времени переходного процесса $\tau_{пп}$.

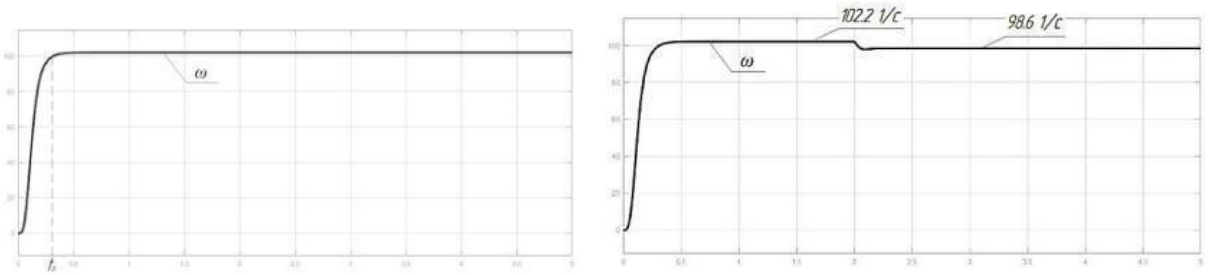


Рис. 4

При приложении нагрузки (рис. 4) статический перепад скорости $\Delta\omega$=102,2 - 98,6 = 3,6 1/с, относительный перепад δ =3,5%.

Переходная функция системы управления при линейно нарастающем задающем воздействии $\omega_з$ и график ошибки регулирования $\Delta\omega$ (рассогласования между задающим и выходным сигналом) приведена на рис. 5. Отработка задающего воздействия происходит с постоянной установившейся ошибкой.

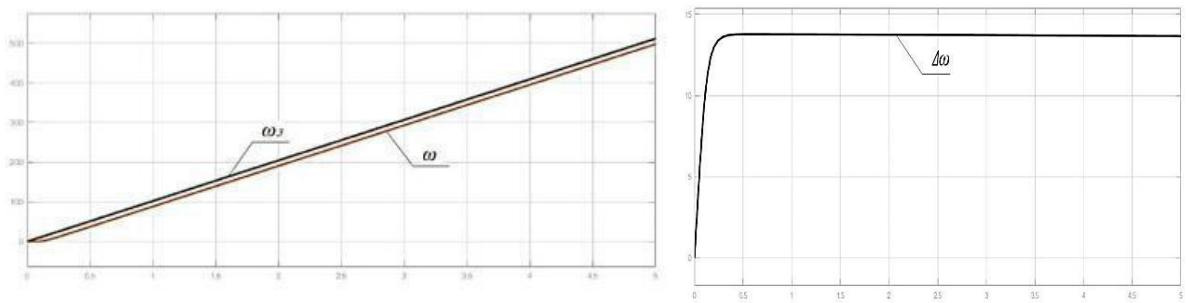


Рис. 5

Полученные показатели синтезированной системы с модальным управлением соответствуют настройке на модульный оптимум. При других настрой-

ках можно получить иные значения перерегулирования σ и относительной длительности переходного процесса $\tau_{пп}$. При этом метод параметрического синтеза оказывается единым и простым при любом порядке характеристического уравнения электропривода.

Таким образом, выполненный синтез модального регулятора и проведенное для двухмассовой системы электропривода исследование переходных режимов показало, что система обеспечивает заданные показатели в статике и динамике, устойчивость и стабилизацию движения.

Список литературы

1. Анучин А. С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов / А. С Анучин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 290 с.
2. Кочнев Н.В., Кочнева Т.Н. Модальное управление нежесткими электромеханическими системами в металлургии // Современная техника и технологии. 2015. № 4 [Электронный ресурс]. URL: http://technology.snauka.ru/2015/04/6296
3. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 304 с.

П.К. Плешаков, студ., О.А. Мелкумова, студ.; М.Д. Елагина, студ.;
рук. В.А. Галковский, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ В ПОДЪЗЕМНЫХ ПАРКИНГЕ ЖИЛОГО ДОМА

Для передвижения человек в городе и за пределами использует разные виды транспорта. Популярный транспортным средством стал личный автомобиль. При увеличении числа автомобилей приходит на ум один резонный вопрос: где парковать данное транспортное средство? Каждый человек хочет парковаться ближе к своему дому, но при данной проблеме увеличения числа автомобилей это не возможно. По этой причине во дворах происходят так называемые «дворовые войны» за парковочные места. Тем кто не смог припарковать автомобиль правильно по правилам ПДД, необходимо их нарушать и оставлять их на тротуарах, газонах и прям перед входом в подъезд. Поэтому для частичного решения данного вопроса используют строительство подземного паркинга, в частности подземного автостоянки под жилыми зданиями. У данного вида парковки есть достоинства, одни из них, это экономия территории для других важных построек и хорошие условия хранения автотранспорта. Но также есть и минус такого сооружения, связанный с долгим, сложным и дорогостоящим строительством. Также есть ограничения по строительству подземного паркинга по этажности, который составляет 5 этажей [2].

В настоящее время есть два вида паркинга: классические рамповые паркинги и автоматические. Для безопасного и комфортного использования данные виды сооружений необходимо на стадии проектирования и при самом строительстве обеспечить техническими средствами, к ним относятся системы отопления, вентиляции, кондиционирования пожаротушения. Одна из опасностей, которая существует при использовании подземного паркинга, это угарные газы

из выхлопной системы автомобилей при его рабате. Также существует доля вероятности появления пожара, это приводит к задымлению паркинга большим количеством угарного газа по сравнению работающего двигателя. Для удаления вредных газов используется система вентиляции.

В составе вентиляционной системы паркинга входит:

- приточно-вытяжная система вентиляции;
- система струйной вентиляции или воздуховоды;
- противодымная приточно-вытяжная вентиляция[3].

Данный тип системы вентиляции широко используется в Германии и других европейских странах. Это связано с рядом преимуществ струйной вентиляции по сравнению с классической системой вентиляцией, включающую в себя воздуховоды приточной, вытяжной системы и дымоудоления. По сравнению с классической системой струйная вентиляция позволяет уменьшить затраты на оборудования и установку системы примерно на 45%. Также снижается затраты на электричество, это связано с аэродинамическими сопротивлениями воздуховодов и протечки воздуха в конструкции. Снижается затраты на ежегодное обслуживание по сравнению с воздуховодами [1].

Задачи вентиляционной системы паркинга:

- обеспечить необходимый воздухообмен;
- гарантировать удаление/разбавление до безопасного уровня концентрации вредных примесей в воздухе;
- поддерживать необходимый уровень температуры и влажности для хранения автомобилей;
- обеспечить соблюдение экологических стандартов;
- предупреждать, а также исключать пожароопасные ситуации.

Приточно-вытяжная вентиляции предназначена для поддержания необходимого количества свежего воздуха в паркинге. Для того чтобы равномерно распространить воздух по всему помещению парковки используются струйные вентиляторы. При возникновении аварийного режима (пожар) включаются противодымная приточно-вытяжная вентиляция для удалений дымовых газов от пожара. В настоящее время используются две схемы противодымной вентиляции: поперечная схема и продольная. Пример продольной схемы противодымной вентиляции приведен на рис. 1 [3].

Для использования всех плюсов струйной вентиляции требуется правильно произвести расчеты типоразмеры и их размещение по всей площади парковки. Также надо понимать, что струйные вентиляторы не представляют из себя побудителями расхода воздуха, а обеспечивают перераспределения потоков воздуха внутри помещения парковки с учётом происходящей ситуацией с загрязнением воздуха, как это, например, изображено на рис. 2 [1].

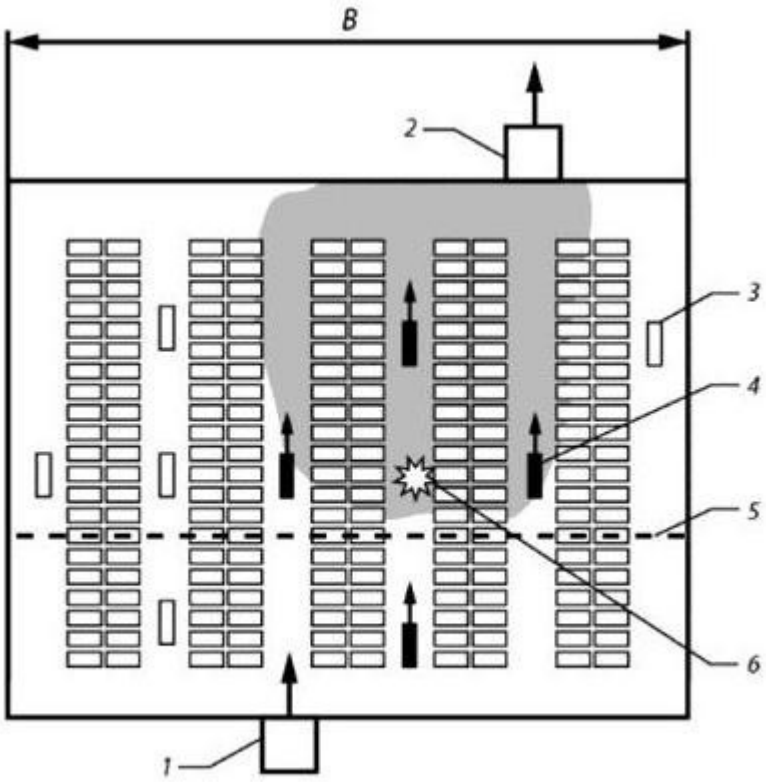


Рис. 1. Продольная схема противодымной вентиляции:
1– система приточной противодымной вентиляции; 2 – система вытяжной противодымной вентиляции; 3 – выключенный струйный вентилятор; 4 – включенный струйный вентилятор; 5 – граница бездымной зоны; 6 - очаг пожара

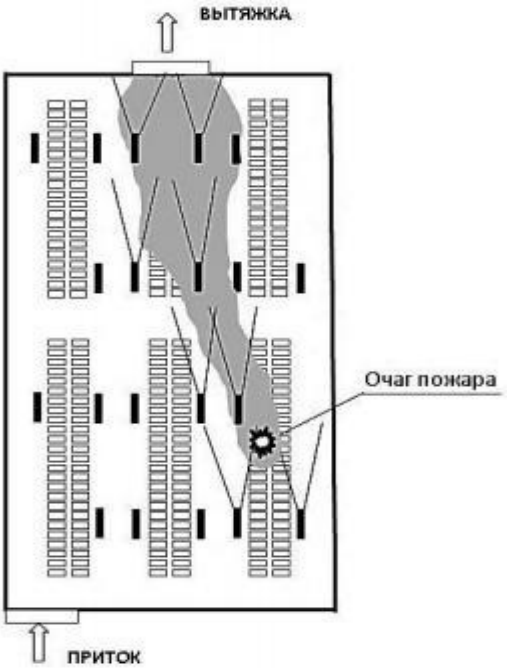


Рис. 2. Схема включения струйных вентиляторов при возникновении пожара

Из рисунка видно, что при возникновении пожара в полную мощность начинают работать только те вентиляторы, которые обеспечит отвод дымовых газов по блажащему пути к вытяжной противодымной вентиляции. Но нужно при штатном режиме все струйные вентиляции работают на 50% от номинального расхода воздуха [1].

Для правильной функционирования паркинга и обеспечить безопасность для людей, пользующиеся этой парковкой, необходимо спроектировать вентиляцию с учетом проведённых расчётов и правил, которые надо соблюдать. Был проведён для подземной парковки под жилым зданием расчёт, состоящий из трёх частей: расчета приточно-вытяжной вентиляции, противодымной вентиляции и расчет системы струйной вентиляции (воздуховоды).

Для решения любых задач необходимы исходные данные. Исходными данными для данной задачи, во-первых, является план данной подземной парковки. Во-вторых, необходимо выбрать систему вентиляции: струйная система или воздуховоды. Выбор пал на струйную систему вентиляции. Это связано с меньшими затратами на их монтаж, из этого следует меньше занимаемое место. Также необходимо по плану парковки вычислить параметры это: площадь парковки, которую необходимо вентилировать, количество парковочных мест, максимальная длина проезда по парковке, ширина зоны локализации задымления автостоянки и др. Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные

Наименование параметра	Обозначение	Значение
Вентилируемая площадь автостоянки	$A_{ст}, м^2$	2587,78
Ширина зоны локализации задымления автостоянки	$B, м$	54,63
Количество парковочных мест на автостоянке	$SP, шт.$	79
Полная длина проезда в помещении автостоянки	$S_{по}, м$	178,2

Как было выше написано расчёт вентиляции состоит из трех частей. В первой части было рассчитано приточно-вытяжная вентиляция Конечным параметром этого расчёта является расход свежего воздуха (воздухообмен). Также для нахождения этого параметра при расчёте находится величина расхода поступающего в паркинг дымовых газов. Для функционирования системы на парковке устанавливаются датчики для измерении концентрации оксида углерода (CO). Второй этап расчёта является нахождения производительности приточно-вытяжной вентиляции. Этот параметр связан с тем, чтобы система противодымной вентиляции должна вывести из парковки все продукты горения. При этом необходимо сохранить безопасность при эвакуации людей из парковки, также не дать дымовым газам проникнуть в эвакуационные выходы и в помещения жилого дома. Для этого необходим третий этап расчета. Задача расчёт системы струйной вентиляции связан с нахождением типоразмера струйного вентилятора, также количество и расположение их в помещение. Это

связано с тем, чтобы поступающий воздух в паркинг для воздухообмена распределялся равномернее и давать направление продуктам горения для удаления в вытяжную вентиляцию в аварийном режиме Результаты проведённого расчёта системы вентиляции для подземного паркинга жилого дома представлены в таблице 2. Алгоритм для расчёта этапов системы вентиляции и недостающие данные взяты из СП 300.1325800.2017 [3].

Таблица 2

Результаты расчётов системы вентиляции подземного паркинга

Наименование параметра	Обозначение	Значение
1	2	3
Эмиссия СО в помещении автостоянки	G_{CO}, г/ч	401,09
Продолжение таблицы 2		
1	2	3
Требуемый воздушный поток внешнего воздуха для снижения концентрации СО в автостоянке	V_a, м^3/ч	7162,36
Объемная производительность противодымной вентиляции в режиме удаления продуктов горения	$V_{вх}$, м^3/ч	260 754,31
Реактивная тяга вентилятора расчетная	F_p, H	34,51
Минимальное значение осевой скорости воздушной струи	$\vartheta_{x\ min}$, м/с	1,00
Продольное расстояние между последовательно установленными вентиляторами	L_p, м	34
Расстояние между параллельно установленными вентиляторами	b, м	10
Площадь, проветриваемая от одного вентилятора	$S_{в1}$, м^2	340
Количество струйных вентиляторов	$n_{вр}$, шт	9

Расчёт системы вентиляции паркинга в итоге позволяет найти количество необходимого воздуха для воздухообмена, производительность противодымной системы и количество струйных вентиляторов для нормального функционирования парковки и безопасного нахождения в ней человека. Также этот расчёт является важной частью проектирования подземной парковки. Найденные параметры непосредственно связаны с дальнейшим выбором основного и вспомогательного оборудования.

Литература

1. Волков А.П. Методика расчета вентиляционной системы парковки закрытого типа [Текст] / А.П. Волков // Научный журнал НИУ ИТМО . – 2014. – №2. – 1-13

2. СП 113.13330.2016 Стоянки автомобилей. [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 2017. . – 31 с

3. СП 300.1325800.2017 Системы струйной вентиляции и дымоудаления подземных и крытых автостоянок. [Текст]. –. –Москва: [б.и.], 2017. – 65 с.

О.А. Рубцова, К.Д. Филиппенков, студ., рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА КОМПЕНСАТОРА ВЫСШИХ ГАРМОНИК СЕТЕВОГО ТОКА ДЛЯ ВЕТРОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ВЕНТИЛЬНО – ИНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА

У классических электрических машин, применяемых сейчас в ветросиловых установках, имеется ряд недостатков: генератор постоянного тока имеет в своем составе коллектор, мощный синхронный генератор также имеет щеточный узел, асинхронный генератор потребляет намагничивающий ток значительной силы, поэтому для его работы требуются генератор реактивной мощности.

Плюсом асинхронных и синхронных машин является возможность непосредственного получения выходного синусоидального напряжения. Однако для поддержания качества генерируемой электроэнергии в пределах стандартов, при изменении частоты вращения ротора под действием изменения скорости ветра, ВЭУ на основе таких генераторов значительно усложняются технически.

В виду отсутствия активных магнитных элементов в составе ВИГ для генерации требует первоначального возбуждения фазы. Ток, генерируемый в ВИГ, импульсный, непосредственное инвертирование его в сеть переменного напряжения не обеспечит выполнения стандартов. Поэтому в составе ВЭУ необходим силовой преобразователь, связывающий сеть переменного напряжения со звеном постоянного тока в котором работает ВИГ. Данный силовой преобразователь, должен обладать возможностью двунаправленной передачей энергии при сохранении высоких энергетических показателей.

Ставится задача разработки модели компенсатора с двунаправленным обменом энергии для ВЭУ на базе вентильно – индукторного генератора.

На рис. 1 представлена схема системы управления компенсатором параллельного типа:

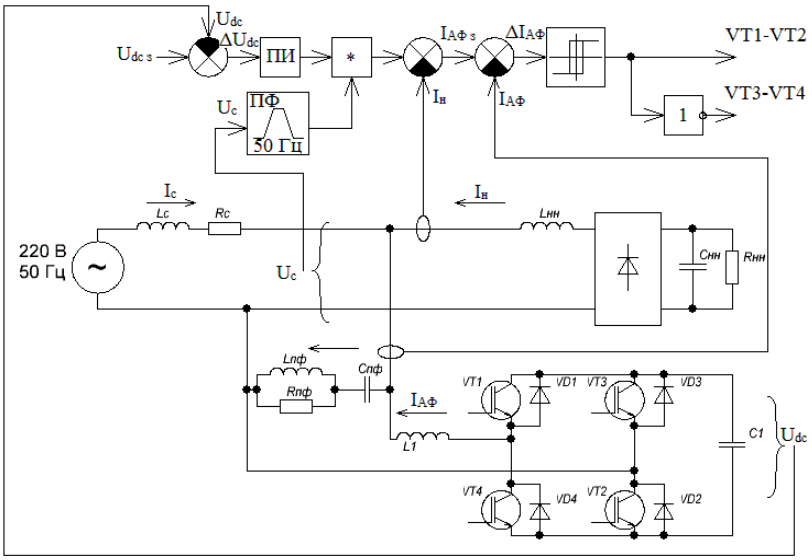


Рис. 1 – Схема системы управления компенсатором.

При работе в генераторном режиме будет происходить двунаправленный обмен энергией между конденсатором звена постоянного тока и ВИМ: на этапе возбуждения энергия будет закачиваться в машину, на этапе генерации машина будет отдавать энергию в цепь постоянного тока. Возвращаемая машиной энергия превышает потребленную, вследствие чего напряжение на конденсаторе возрастает. Для стабилизации напряжения АФ начнет отдавать в сеть активный ток.

Система управления, отвечающая за стабилизацию напряжения звена постоянного тока, функционирует следующим образом. Текущее напряжение на конденсаторе C_{dc} сравнивается с заданным значением $U_{з_dc}$, ошибка регулирования подается на ПИ-регулятор, на выходе которого получается задание амплитуды сетевого тока. Для получения синусоидального, синфазного сетевому напряжению сигнала, данное задание тока умножается на отфильтрованный полосовым фильтром и нормированный синус сетевого напряжения. Из полученного сигнала вычитается компенсируемый ток нагрузки, в результате чего получается задание сетевого тока АФ, который обеспечит компенсацию влияния нагрузки на сеть и постоянство напряжения на C_{dc}. Формирование потребляемого из сети АФ тока производится с помощью коммутация ключей инвертора при отклонении текущего значения тока от заданного значения больше допустимой величины.

Исходные данные для расчета системы управления активным фильтром:

$C_{dc} = 2200$ мкФ – емкость конденсатора звена постоянного тока

$U_c = 220$ В – напряжение сети переменного тока

$T = 0{,}02$ с – период сетевого напряжения

$U_{з\,dc} = 500$ В – заданное напряжение звена постоянного тока

Произведем расчет коэффициентов ПИ-регулятора напряжения звена постоянного тока. Коэффициент усиления пропорционального звена может быть рассчитан на основе принципа баланса энергии.

При напряжении звена постоянного тока равным заданному $U_{dc\,з}$, в конденсаторе накоплена энергия:

$$E_{Cdc\,з} = \frac{1}{2} C_{dc} U_{dc\,з}{}^2,$$

мгновенное значение энергии, накопленная в конденсаторе, будет равна:

$$E_{Cdc}(t) = \frac{1}{2} C_{dc} U_{dc}(t)^2.$$

Следовательно, изменение энергии конденсатора равно в одном цикле равно:

$$\Delta E_{Cdc\,з} = E_{Cdc\,з} - E_{Cdc}(t) = \frac{1}{2} C_{dc}\left(U_{dc\,з}{}^2 - U_{dc}(t)^2\right) =$$
$$= \frac{1}{2} C_{dc}\left(U_{dc\,з} + U_{dc}(t)\right)\left(U_{dc\,з} - U_{dc}(t)\right).$$

Предполагая, что изменения напряжения звена постоянного тока в пределах одного периода умеренные, выражение $\left(U_{dc\,з} + U_{dc}(t)\right)$ может быть аппроксимировано как:

$$\left(U_{dc\,з} + U_{dc}(t)\right) \approx 2U_{dc\,з},$$

$$\Delta E_{Cdc\,з} = C_{dc} U_{dc\,з}\left(U_{dc\,з} - U_{dc}(t)\right).$$

Поскольку изменение энергии звена постоянного тока компенсируется сетью переменного напряжения, пиковое значение зарядного тока конденсатора может быть найдено из следующего выражения:

$$\int_0^T \sqrt{2} U_c \sin(\omega t) I_{Cdc} dt = \Delta E_{dc},$$

откуда

$$I_{C\,dc} = \frac{2}{T\sqrt{2}U_c} \Delta E_{dc}.$$

В итоге получим:

$$I_{C\,dc} = \frac{2C_{dc}U_{dc\,з}}{T\sqrt{2}U_c}\left(U_{dc\,з} - U_{dc}(t)\right) = K_п\left(U_{dc\,з} - U_{dc}(t)\right),$$

Коэффициент усиления пропорционального звена равен:

$$K_п = \frac{2C_{dc}U_{dc\,з}}{T\sqrt{2}U_c}.$$

Рассчитаем данный коэффициент для проектируемой системы:

$$K_п = \frac{2 \cdot 2200 \cdot 10^{-6} \cdot 500}{0{,}02 \cdot \sqrt{2} \cdot 220} = 0{,}354.$$

Коэффициент интегратора $K_и$, был подобран экспериментальным путем и равен:

$$K_и = 3.$$

Проведем моделирование спроектированного активного фильтра:

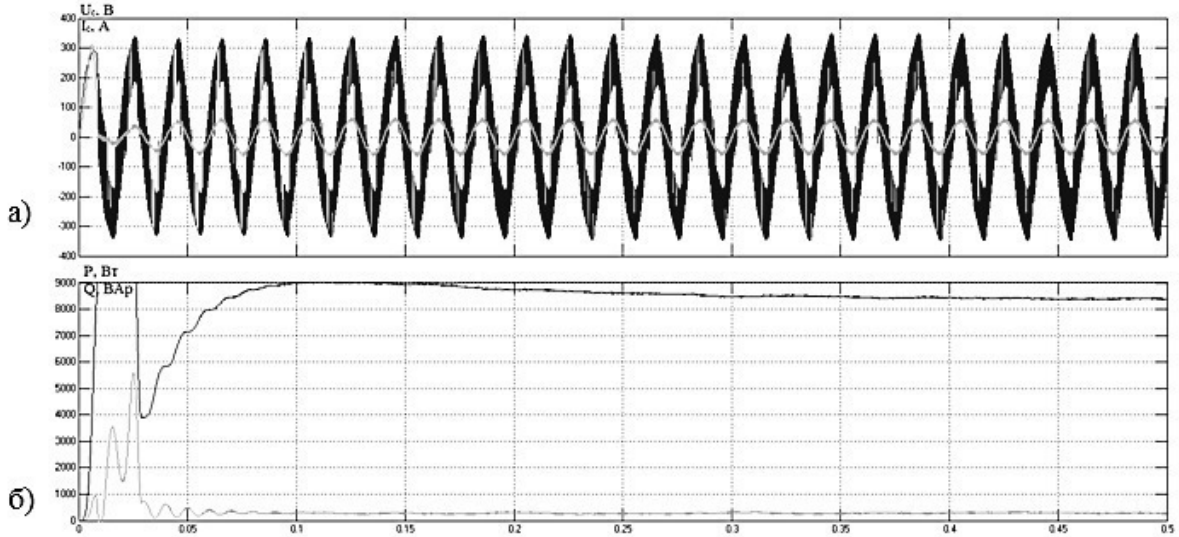


Рис. 2 - Осциллограммы опыта подключения выпрямителя напряжения к сети ограниченной мощности: а) ток и напряжение: б) активная и реактивная мощность.

Рис.3 – Спектральный состав сетевого напряжения без ПФ.

Как видно из рис. 3, наибольшую амплитуду имеет пятая гармоника напряжения. Общее гармоническое искажение напряжения составляет около 12%, что является большим значением.

Для подавления ВЧ гармоник воспользуемся пассивным фильтром. Из многообразия возможных топологий был выбран НЧ фильтр второго порядка, схема которого показана на рис. 4. Он имеет меньшие потери и обеспечивает лучшую фильтрацию по сравнению с фильтром первого порядка и лучшие массогабаритные показатели с фильтром третьего порядка.

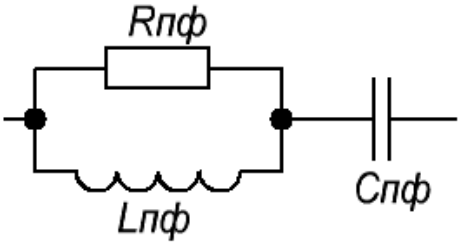


Рис. 4 – Пассивный фильтр.

Резонансная частота фильтра равна:

$$\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{L_{\text{пф}} C_{\text{пф}}}},$$

Добротность:

$$Q = R_{\text{пф}} \sqrt{\frac{C_{\text{пф}}}{L_{\text{пф}}}}.$$

Задавшись $\omega_{\text{пф}}=2\pi*1500$ рад/с и Q=0,707, находим номиналы элементов фильтра: $R_{\text{пф}}$=2 Ом; $C_{\text{пф}}$=37,5 мкФ; $L_{\text{пф}}$=0,3 мГн.

Проведем моделирование компенсатора с пассивным фильтром рис. 5.

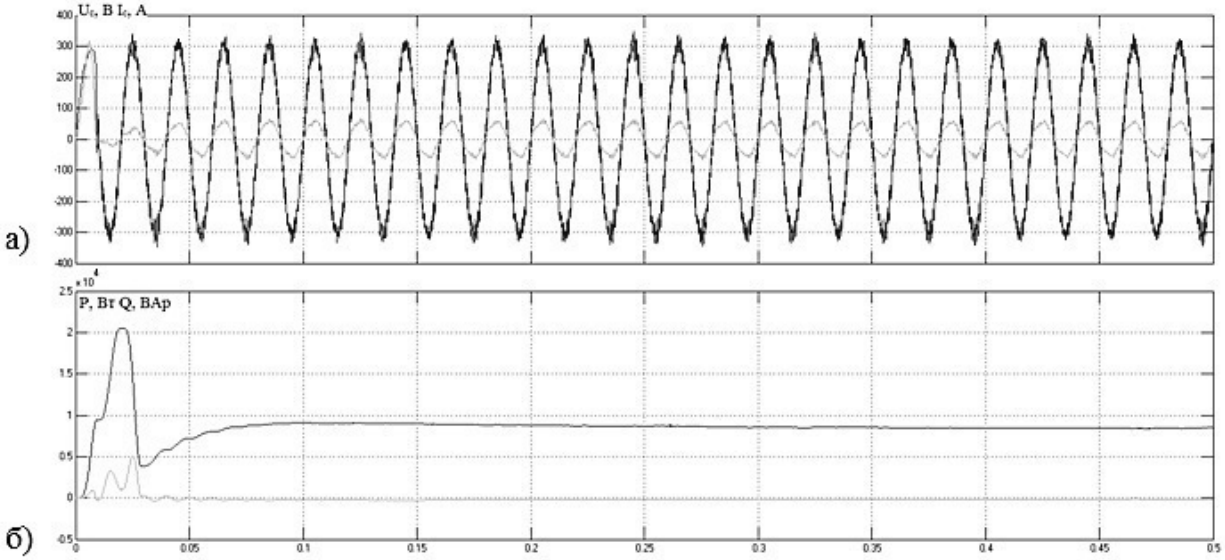


Рис. 5. - Осциллограммы опыта подключения к сети при наличии ПФ: а) ток и напряжение; б) активная и реактивная мощность.

Рис. 6 – Спектральный состав напряжения при комбинированном фильтре.

Осциллограммы работы сети ограниченной мощности с нелинейной нагрузкой при подключенных параллельном активном фильтре и пассивном приведены на рис. 5. Напряжение на вводных шинах близко к синусоидальному, благодаря тому, что высокочастотные составляющие сетевого тока отфильтрованы пассивным фильтром. Общее искажение напряжения около 3 %

Спектральный состав напряжения представлен на рис. 6. Как видно, комбинированный активный фильтр обеспечивает качество энергии удовлетворяющее ГОСТ'у. [1].

Литература

1. ГОСТ 13109-97 "Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения"

О.А. Рубцова, К.Д. Филиппенков, студ., рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА, НАСТРОЕННОГО НА СИММЕТРИЧНЫЙ ОПТИМУМ

Для электропривода постоянного тока самыми простыми по структуре и настройке являются системы с подчиненным регулированием [1]. В таких системах регулирование каждой координаты происходит в собственном замкнутом контуре, поэтому их статические и динамические характеристики можно получить выбором параметров элементов каждой подсистемы в отдельности. Выбор типа регулятора производят так, чтобы получить оптимальный переходный процесс с перерегулированием в пределах 5% и быстрым затуханием колебаний.

Система управления скоростью электропривода постоянного тока строится по двухконтурной схеме, где внутренний контур – контур тока, внешний – контур скорости.

Различают два основных варианта настройки контура скорости: технический оптимум и симметричный оптимум. В первом случае система имеет астатизм первого порядка по управляющему воздействию, по возмущающему воздействию от момента нагрузки астатизма не имеет, перерегулирование в

пределах 5%. Если от системы требуется большая точность управления, астатизм к статической нагрузке или более увеличенная жесткость статических характеристик, то производят настройку на симметричный оптимум. В результате система будет обладать астатизмом второго порядка по управляющему воздействию и астатизмом 1-го порядка по возмущающему воздействию. Однако у системы будет перерегулирование до 55 %, что может быть недопустимо. Для уменьшения перерегулирования вводят фильтры в канал управления, при этом сильно увеличивается время переходного процесса.

Важно отметить, что при работе с малыми сигналами управления, регуляторы являются линейными. Однако в номинальных режимах работы необходимо учитывать насыщение регулятора. Если регулятор входит в насыщение, то это эквивалентно тому, что обратная связь контура разрывается и, следовательно, ухудшается качество переходного процесса.

В статье представлен способ модификации регулятора скорости для электропривода постоянного тока, настроенного на симметричный оптимум.

Характеристики двигателя, для которого проводится моделирование, приведены в табл. 1.

Таблица 1.Характеристики двигателя.

Марка двигателя	2ПН112МУХЛ4
Номинальная мощность, кВт	2.5
Напряжение, В	220
Номинальная скорость вращения, об/мин	2200
КПД, %	76
Сопротивление якоря, Ом	0.788
Сопротивление добавочных полюсов, Ом	0.682
Сопротивление цепи возбуждения, Ом	39.4
Индуктивность цепи возбуждения, мГн	9.3
Момент инерции, кг·м^2	0.015

Вначале построим двухконтурную систему управления скоростью двигателя по рис.1, проведём моделирование с классическими регуляторами при управлении в «малом» и в «большом».

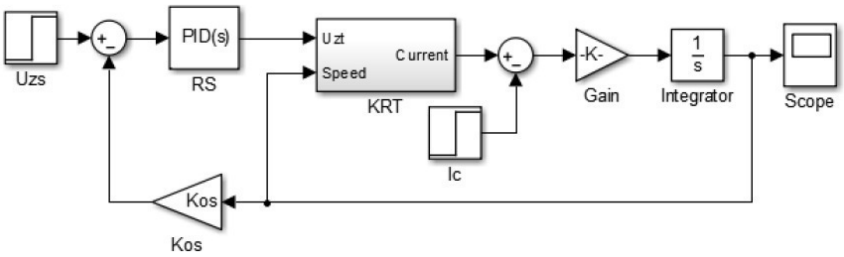


Рисунок 1 – Двухконтурная система управления скоростью двигателя с регулятором скорости, настроенным на симметричный оптимум

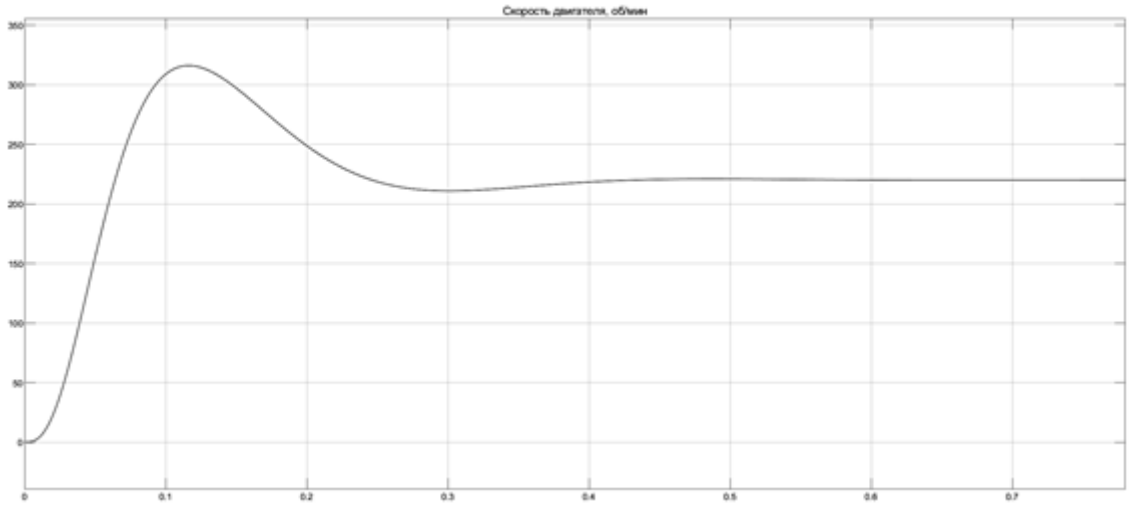


Рисунок 2 – Отработка единичного скачка задания скорости в «малом» с учётом внутренней обратной связи по ЭДС двигателя

По диаграмме рис.2 перерегулирование составляет 44%, время регулирования составляет 0.065 с.

Проведем моделирование при подаче скачка, соответствующего номинальной частоте вращения рис. 3.

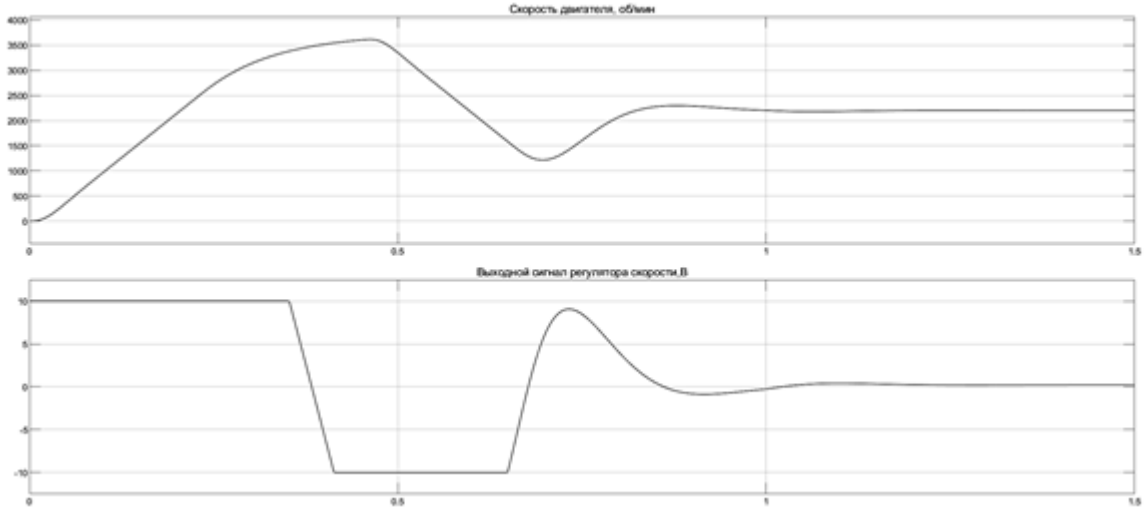


Рисунок 3 – Отработка скачка задания соответствующего номинальной скорости

По рис. 3 видно, что время регулирования увеличилось до 0.2 с, перерегулирование 59%, также увеличилась колебательность системы. Такое ухудшение показателей связано с тем, что регулятор вошел в насыщение в процессе пуска, это видно по осциллограмме выхода регулятора скорости.

Проведем моделирование с введением в прямой канал апериодического фильтра:

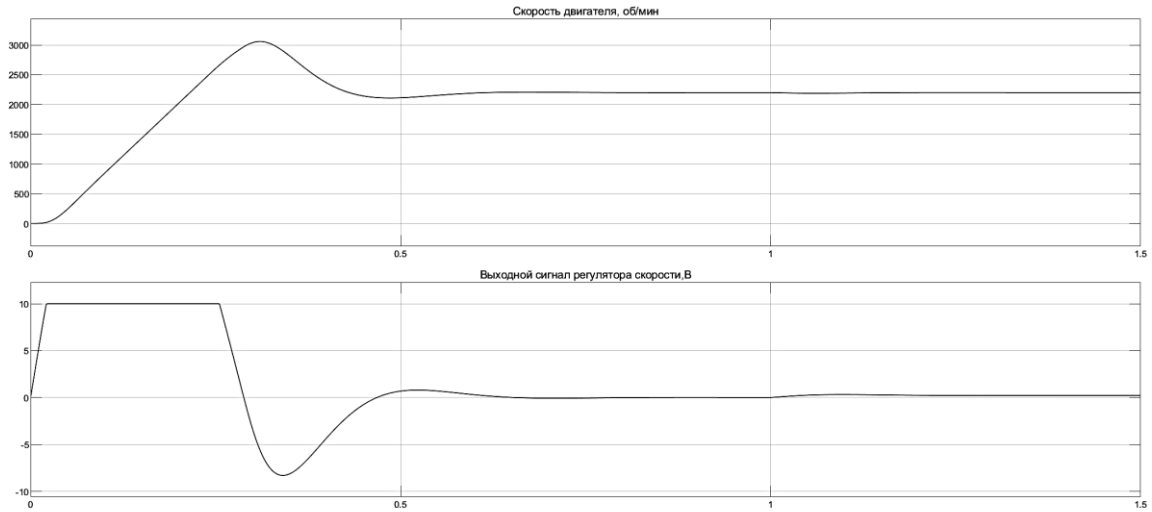


Рисунок 4 - Отработка скачка задания номинальной скорости с фильтром

По рис. 4 перерегулирование составляет 38%, время регулирования 0.2с, колебательность системы уменьшена.

Теперь проведем модернизацию регулятора скорости рис. 5.

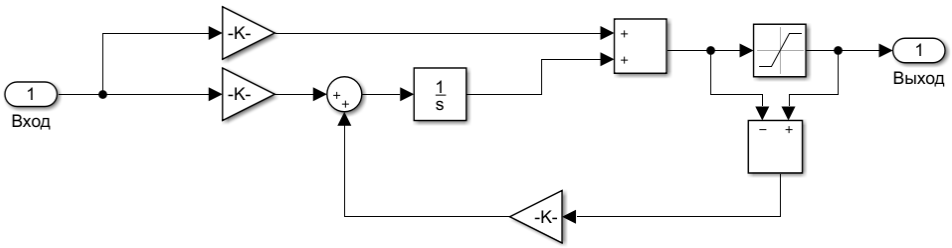


Рисунок 5 - Улучшенный ПИ – регулятор

Улучшение регулятора достигается введением компенсационной обратной связи для быстрого выхода интегратора из насыщения. Принцип работы заключается в следующем: вычисленный сигнал регулятора вычитают из сигнала с учетом насыщения и подают на вход интегратора. Коэффициент обратной связи регулирует силу обратной связи. Разница в «малом» между насыщенным и вычисленным сигналами будет равна 0 и обратная связь отключается.

Проведем моделирование с улучшенным ПИ – регулятором, постоянная времени обратной связи примем равной 0.001 с.

По рис. 6 определяем: перерегулирование составляет 4.3%, время регулирования 0.2 с. Участок работы в насыщении сократился почти в 2 раза.

В результате получена система с качеством переходного процесса близкой к техническому оптимуму, в то же время сохраняется астатизм 1 порядка моменту нагрузки и астатизм 2 порядка по управлению.

Проведем сравнение полученной системы с предыдущими и добавим результат моделирования в случае настройки на технический оптимум.

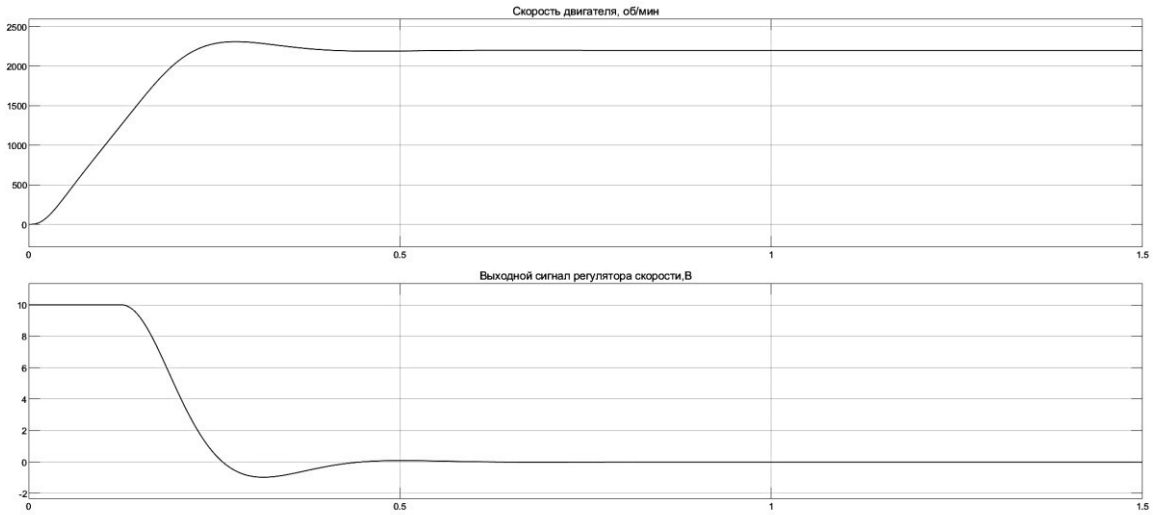


Рисунок 6 – Отработка номинального скачка с улучшенным ПИ – регулятором скорости

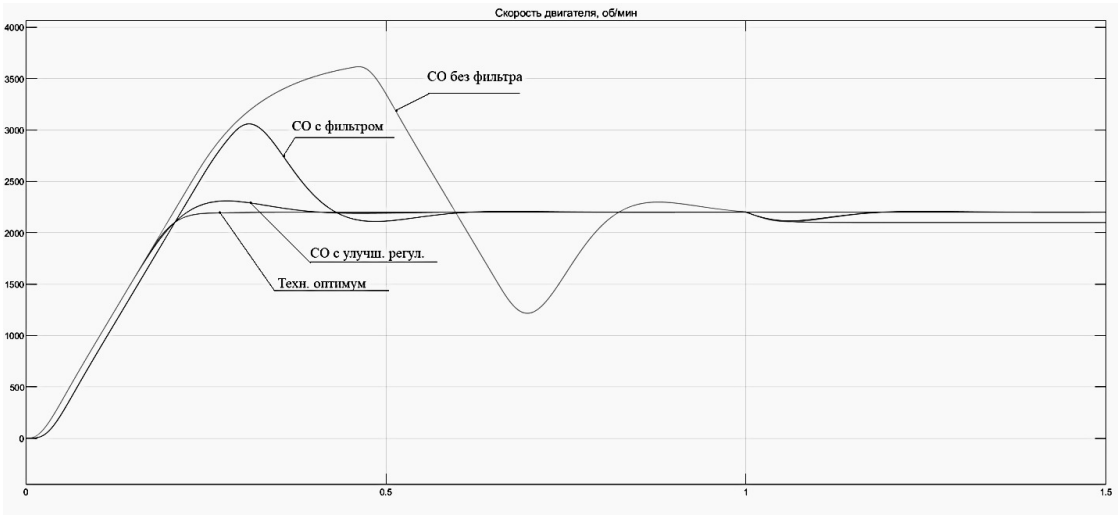


Рис. 7. – Сравнение переходных процессов с различными настройками

Выводы: в результате спроектирована система управления электроприводом постоянного тока с улучшенным регулятором скорости. При настройке на симметричный оптимум система стала более демпфированной при больших сигналах управления, время регулирования не увеличилось, т. к. коэффициенты регуляторов были во всех экспериментах одинаковые. Общее время переходного процесса уменьшилось почти в 2 раза. Сохранился астатизм 2 порядка по управлению и астатизм 1 порядка по возмущению – моменту нагрузки. Перерегулирование удалось уменьшить до 4.3%. Это почти в 10 раз меньше, чем при использовании апериодического фильтра в канале управления.

Литература

1. Данилов, П.Е. Теория электропривода: учебное пособие / П.Е. Данилов, В.А. Барышников, В.В. Рожков ; Национальный исследовательский университет “МЭИ” в г. Смоленске. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 416 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480141 (дата обращения: 26.02.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-9457-2. – DOI 10.23681/480141. – Текст : электронный.

О.А. Рубцова, К.Д. Филиппенков, студ., рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ИДЕНТИФИКАТОРА МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Для качественного управления электроприводами необходимо иметь достоверную информацию о параметрах приводного двигателя и механизма [1]. В процессе работы эти параметры могут изменяться в широких пределах. Например, для машины постоянного тока при управлении по цепи якоря могут существенно изменяться сопротивление якорной цепи и момент инерции механизма. Сопротивление якоря зависит от рабочей температуры и может увеличиваться в процессе работы машины до 30-40%. Приведенный к двигателю момент инерции механизма может быстро меняться в очень больших пределах при отработке роботом технологического цикла. При расчете «классических» регуляторов полагается, что приведенный момент инерции постоянный. Однако, изменение параметров объекта будет влиять на качество управления. Особенно это проявляется в робототехнических системах, где момент инерции зависит от меняющейся конфигурации механизма [2].

При проектировании электроприводов роботов необходимо разрабатывать адаптивные системы автоматического регулирования (САР). Простейшей адаптивной САР является такая, у которой автоматически осуществляется пересчёт коэффициентов с изменением параметров системы, таких как момент инерции. Однако не решена проблема определения переменного приведенного момента инерции механизма. Она заключается в том, что для его вычисления необходимо знать величину возмущающего воздействия, которую трудно измерить, особенно если она меняется во времени. Можно реализовать оценку момента инерции исходя из конструкции механизма, однако этот способ можно применять для самых простых задач. Но типовая структурно-кинематическая схема робота имеет 6 степеней подвижности, и вычислительный алгоритм будет сильно громоздким.

В статье ставится задача синтеза математической модели идентификатора приведенного момента инерции, которая не будет содержать данных о возмущающем воздействии.

Объектом исследования выбран двигатель постоянного тока независимого возбуждения. Характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики двигателя

Марка двигателя	2ПН112МУХЛ4
Номинальная мощность, кВт	2.5
Напряжение, В	220
Номинальная скорость, об/мин	2200
КПД, %	76
Сопротивление якоря, Ом	0.788
Сопротивление добавочных полюсов, Ом	0.682
Сопротивление цепи возбуждения, Ом	39.4
Индуктивность цепи возбуждения, мГн	9.3
Момент инерции, кг·м^2	0.015

Для данной системы рассчитана замкнутая двухконтурная система управления скоростью, настроенная на технический оптимум – см. рис. 1. Расчет параметров в настоящей статье не приводится.

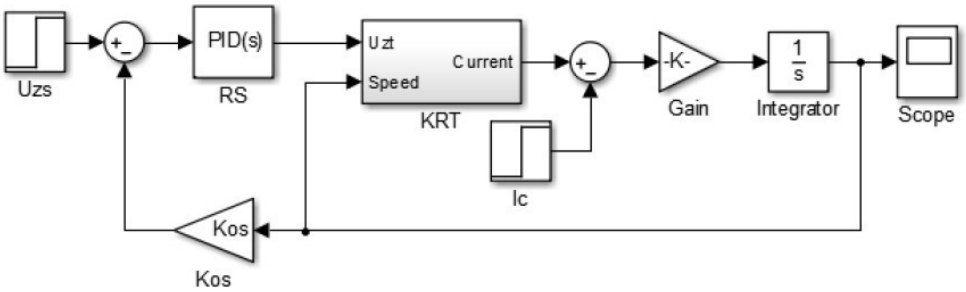


Рисунок 1 – Двухконтурная система управления скоростью двигателя, настроенная на технический оптимум

Для заданной системы необходимо построить идентификатор и исследовать его на устойчивость решения.

Запишем передаточную функцию механической части привода в непрерывной форме.

$$W_m(s) = M(s) - M_c(s) = J\omega(s)p \quad (1)$$

где M – электромагнитный момент, Н · м;

M_c – момент нагрузки, Н · м;

J – приведенный момент инерции, кг · м^2;

ω – угловая частота вращения, сек$^{-1}$.

Переведём функцию (1) в дискретную с использованием преобразования Тастина [3] и выразим угловую частоту вращения:

$$\omega[k] = \omega[k-1] + \frac{T_0}{2J}(M[k] + M[k-1] - M_c[k] - M_c[k-1]) \quad (2)$$

Запишем функцию (2) для [k-1] момента времени:

$$\omega[k-1] = \omega[k-2] + \frac{T_0}{2J}(M[k-1] + M[k-2] - M_c[k-1] - M_c[k-2]) \quad (3)$$

Произведем вычитание (3) из (2), в итоге получаем:

$$\omega[k] = 2\omega[k-1] - \omega[k-2] + \frac{T_0}{2J}(M[k] - M[k-2] - (M_c[k] - M_c[k-1]) - (M_c[k-1] - M_c[k-2]) \quad (4)$$

В (4) можно пренебречь изменением момента нагрузки в течение одного такта, тогда выражение упрощается:

$$\omega[k] = 2\omega[k-1] - \omega[k-2] + \frac{T_0}{2J}(M[k] - M[k-2]). \quad (5)$$

Из (5) возможно определять момент инерции, но, так как электромагнитный момент и скорость будут изменяться в малых пределах за 2 такта, поиск решения будет затягиваться, а в установившимся режиме будет неопределенность. Поэтому необходимо выбрать более совершенный алгоритм поиска.

Для идентификации воспользуемся градиентным методом поиска решения.

Для одномерного случая поиска запишем формулу:

$$\hat{\alpha}[k] = \hat{\alpha}[k-1] + \beta \cdot \gamma[k] \cdot (y[k] - \hat{y}[k]) \quad (6)$$

где $\hat{\alpha}$ – идентифицируемый параметр;

β – коэффициент форсировки поиска;

γ – измеренные параметры внутри САР;
y – реальное значение выходной координаты на САР;
$\hat{y}$ – идентификация выходной координаты.

Запишем (6) с учетом (5), тогда:

$$\delta[k] = \delta[k-1] + \beta(M[k] - M[k-2])\left(\omega[k] - \left((M[k] - M[k-2])\delta[k-1] + 2\omega[k-1] - \omega[k-2]\right)\right) \quad (7)$$

где $\delta = \frac{T_0}{2J}$ – идентифицируемый параметр.

Построим модель идентификатора согласно (7) – см. рис.2.

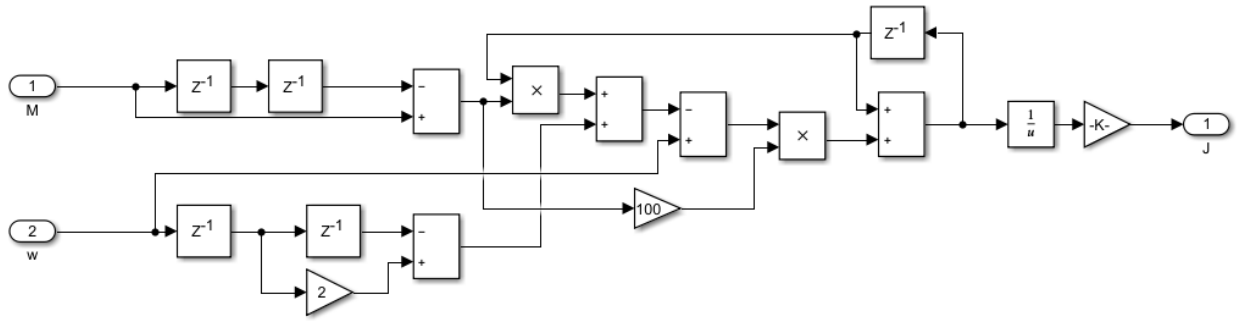


Рисунок 2 – Идентификатор момента инерции

Переведем регуляторы электропривода в цифровую форму, добавим тестовый сигнал в виде синуса с амплитудой 1% от максимального значения на выход регулятора тока и проведем моделирование при разных режимах.

Вначале получим осциллограммы при постоянном моменте инерции. Начальная скорость двигателя равна нулю (см. рис.3).

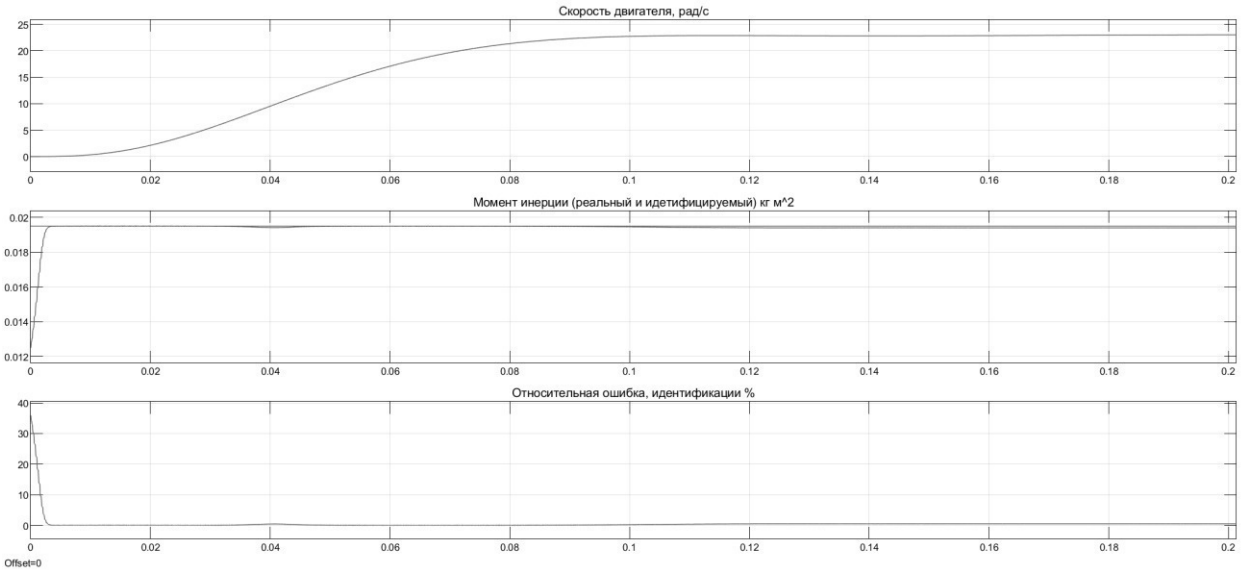


Рисунок 3 – Идентификация постоянного момента инерции без нагрузки

По рис. 3 видно, что обеспечена высокая точность и быстродействие поиска. Ошибка в статике не превышает 0.5%. Необходимо заранее выставить начальный момент инерции, чтобы в идентификаторе не возникало деления на нуль.

Проведем моделирование под нагрузкой, вначале приложим нагрузку при пуске двигателя, потом проверим ошибку идентификации в статическом режиме (см. рис.4 и рис.5 соответственно).

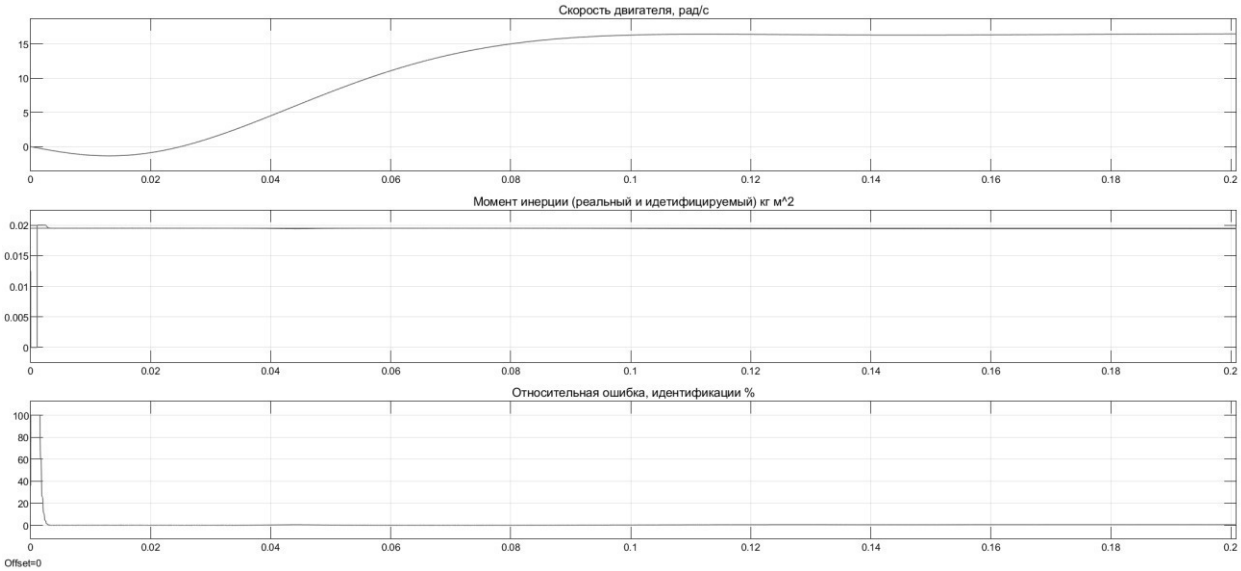


Рисунок 4 – Идентификация под нагрузкой, приложенной на пуске

По осциллограммам рис. 4 наблюдаем, что идентификатор очень быстро компенсирует ошибку в динамике на возмущающее воздействие, ошибка в статике не превышает 0.5%.

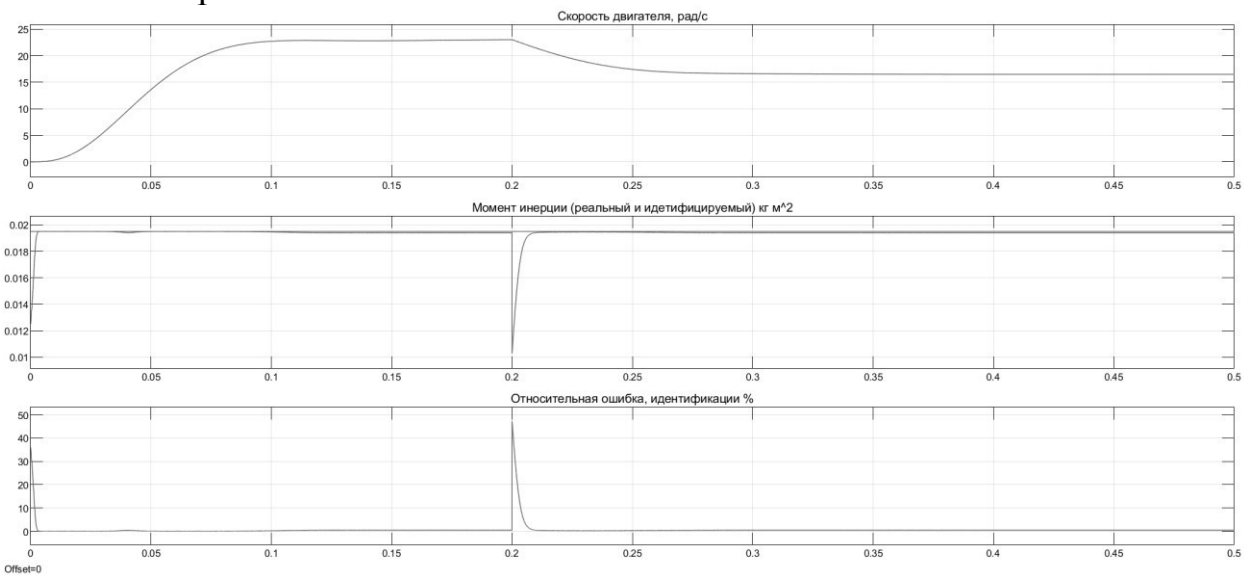


Рисунок 5 – Идентификация под нагрузкой, приложенной на 0.2 с

По рис. 5 видно, что при резком приложении нагрузки, происходит отклонение идентификации, однако ошибка быстро компенсируется за время 5 мс. Скорость компенсации зависит от коэффициента форсировки.

Теперь необходимо провести моделирование при скачкообразном изменении момента инерции и оценить ошибки идентификации (см. рис.6).

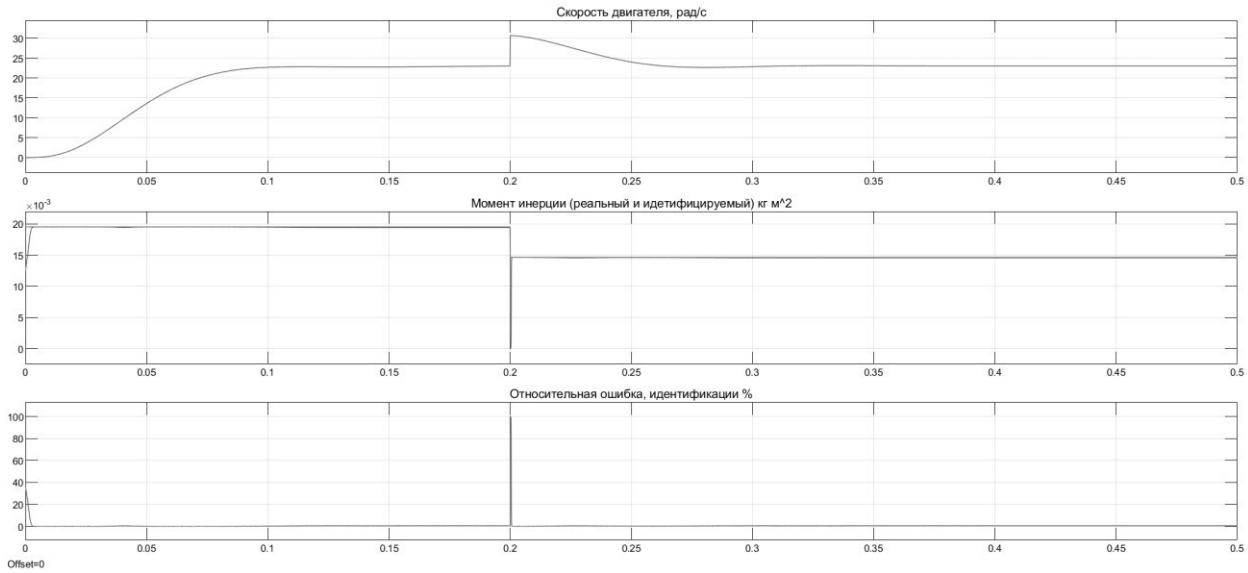


Рисунок 6 – Осциллограммы при скачкообразном уменьшении момента инерции на 25%

По рис. 6 видно, что даже при резком изменении момента инерции, идентификация проходит устойчиво за очень короткое время (менее 1 мс).

Выводы: в данной работе разработана цифровая модель идентификатора момента инерции градиентным методом поиска для электропривода постоянного тока, однако данную идею можно применять и для электроприводов переменного тока.

Синтезированная адаптивная САР показывает очень хорошие результаты как в динамике, так и в статике. Даже в тяжелых режимах работы получено устойчивое решение.

Недостатком данного способа поиска является необходимость введения в САР тестового сигнала в виде синуса, меандра или пилы. Однако в настоящее время для управления двигателями как постоянного, так и переменного тока, всё чаще используются импульсные преобразователи. В связи с этим колебания и шумы, которые возникают в системе, можно использовать в качестве тестовых сигналов.

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

Литература

1. Данилов, П.Е. Теория электропривода: учебное пособие / П.Е. Данилов, В.А. Барышников, В.В. Рожков ; Национальный исследовательский университет “МЭИ” в г. Смоленске. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 416 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480141 (дата обращения: 26.02.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-9457-2. – DOI 10.23681/480141. – Текст : электронный.

2. Рассказчиков Н.Г., Егоров И.Н., Назаров А.А. Вопросы разработки приводов роботов с переменными инерционными и силовыми параметрами // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12-2. – С. 325-330; URL: http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39414 (дата обращения: 06.02.2021).

3. Поляков К.Ю. Основы теории цифровых систем управления: учеб. пособие; СПбГМТУ. – СПб.: 2006. 161 с. URL: http://window.edu.ru/resource/527/58527/files/digsys.pdf (дата обращения: 06.02.2021).

А.А. Рябцев, студ.; Н.В. Емельянова студ.; рук. И.А. Кабанова, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ ВЫБОРА ПРОМЕЖУТОЧНОГО ХЛАДОНОСИТЕЛЯ В СИСТЕМАХ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Системы холодоснабжения широко применяются в различных отраслях производства и играют наиболее важную роль в пищевой промышленности. Широко используются системы с рассольным охлаждением и для длительной работы важно правильно выбирать рассол и его концентрацию, чтобы не допустить его замерзание в испарителе, поэтому рассмотрение этого вопроса является весьма актуальным.

Целью данной работы является исследование работы системы рассольных трубопроводов в зависимости от выбранного промежуточного хладоносителя.

Системы рассольного охлаждения позволяют обеспечить работу камеры с выключенным компрессором на некоторое время и сокращается емкость системы, заполненной холодильным агентом. Закрытая рассольная система охлаждения представлена на рисунке 1.

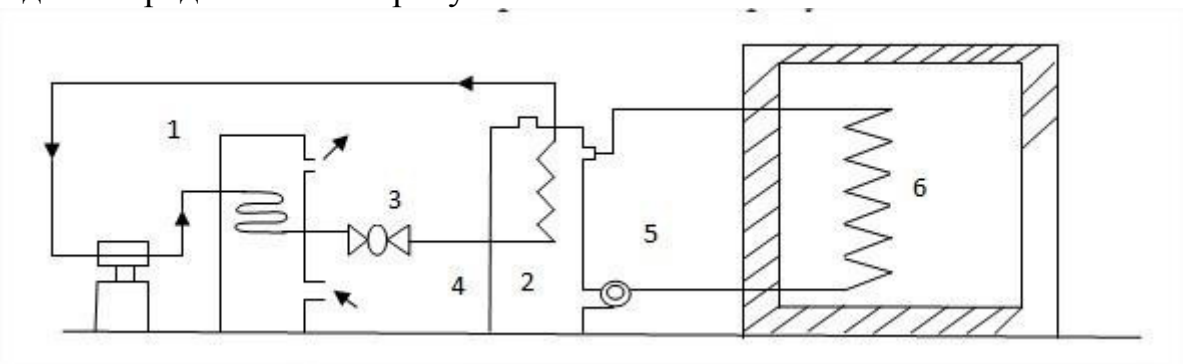


Рис. 1 – Система рассольного охлаждения

1 – конденсатор, 2 – испаритель, 3 – регулирующий вентиль, 4 – бак с рассолом, 5 – насос, 6 – батарея охлаждения

Для данной системы рассмотрим двухтрубную схему рассольного охлаждения с закрытой циркуляцией рассола. Двухтрубная схема рассольного охлаждения с закрытой циркуляцией рассола представлена на рисунке 2.

В качестве промежуточных хладоносителей рассмотрим водный раствор хлористого кальция и хлористого натрия. Исследования были выполнены на конкретном объекте холодильной камере для хранения сыра с параметрами: емкость камеры – 570 т, высота – 4 м, длина – 30 м, ширина – 12 м, температура внутри камеры 0 °С, местоположение – Киров.

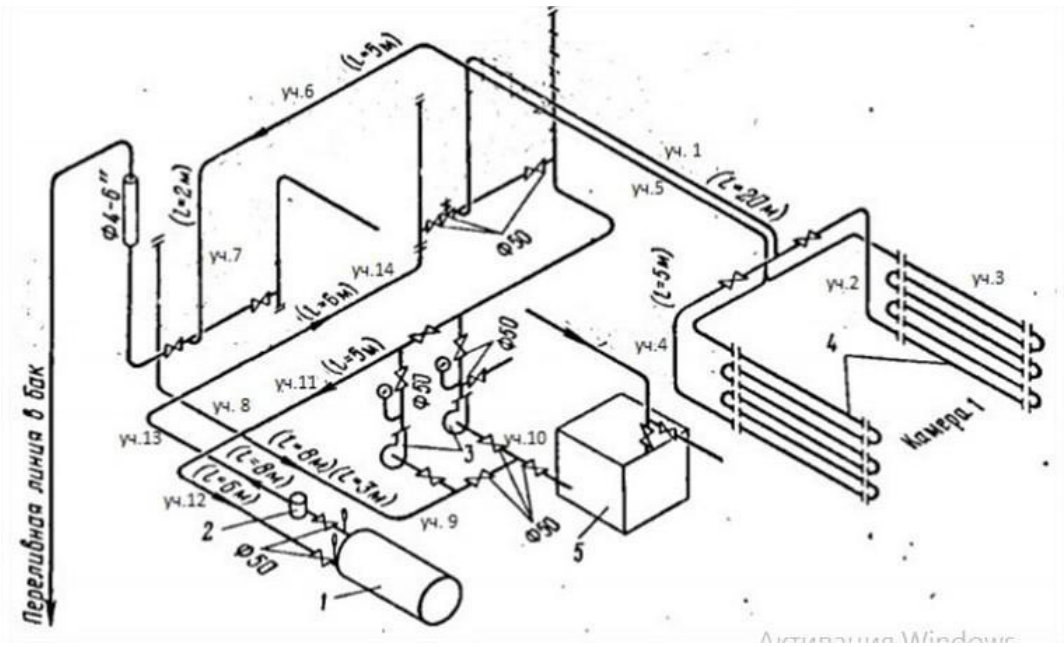


Рис. 2 – Двухтрубная схема рассольного охлаждения с закрытой циркуляцией рассола

1 – испаритель, 2 – рассольный фильтр, 3 – центробежные насосы, 4 – рассольные батареи, 5 – бак для разведения и подогрева рассола.

Для выбранной установки:

Скорость рассола w=10 м/с.

$d_н$xδ=219x6,0 мм.

Суммарная нагрузка: 60480 Вт

Теплоприток в камеру: 41950 Вт

Температура подогрева рассола: 5 °С

Таблица 1 – Теплофизические свойства рассолов

	$CaCl_2$	$NaCl$
Температура замерзания рассола, °С	-24	-21
Плотность, кг/л	1,213	1,173
Теплоёмкость, $\frac{кДж}{кг*К}$	2,95	3,345
Динамическая вязкость, Па*с	0,0082	0,0016

Теплофизические свойства для хлористого кальция взяты из [1], для хлористого натрия из [2].

Количество рассола, циркулирующего на участке от обратного до напорного коллектора:

$$V = \frac{Q}{\rho_р * c_р * t_р} \qquad (1)$$

Количество рассола, циркулирующего через камеру:

$$V = \frac{Q_к}{\rho_р * c_р * t_р} \qquad (2)$$

Потери на участке напорный коллектор-камера-обратный коллектор (участки 1-2-3-4-5-6-7):

Скорость рассола в трубах:

$$w = \frac{V}{f_{тр}} \qquad (3)$$

где $f_{тр}$ - площадь поперечного сечения трубы $м^2$.

Для труб 219х6,0 мм значение $f_{тр} = 33{,}7 * 10^{-3} м^2$

Критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{w * d * \rho}{\mu} \qquad (4)$$

где μ – динамическая вязкость рассола, Па*с

Если режим течения ламинарный, то

$$\lambda = \frac{64}{Re} \qquad (5)$$

где k – шероховатость труб. Для труб в рассольных системах k=0,5

Если режим течения турбулентный, то

$$\lambda = \frac{1}{(1{,}82 * lgRe - 1{,}64)^2} \qquad (6)$$

Падение давления, вызванное трением в трубах:

$$h_{тр} = \lambda * \frac{l_{тр}}{d_{вн}} * \frac{\rho * w^2}{2} \qquad (7)$$

где

λ - коэффициент сопротивления трения,

$l_{тр}$ - длина прямого участка трубопровода, м,

w – скорость движения жидкости, м/с,

ρ – плотность жидкости, кг/$м^3$.

Падение давления местных сопротивлениях при движении через одну батарею (10 колен под углом 90°, 2 тройника, 3 задвижки, 5 калачей)

$$h_{м.с} = \frac{\rho * w^2}{2} * \sum \zeta \qquad (8)$$

По аналогичным формулам определяются потери напора на участке обратный коллектор-испаритель-напорный коллектор (участки 8-9-10-11-12-13-14)

Результаты гидравлических расчетов представлены в таблицах 2 и 3

Таблица 2 – Результаты гидравлического расчета для $CaCl_2$

Участки	w, м/с	Re	λ	$h_{тр}$, Па	$h_{м.с.}$, Па
1-2-3-4-5-6-7	0,07	2133,1	0,030	0,36*10^2	0,71*10^2
8-9-10-11-12-13-14	0,1	3047,3	0,045	0,52*10^2	1,03*10^2

Таблица 3 – Результаты гидравлического расчета для NaCl

Участки	w, м/с	Re	λ	$h_{тр}$, Па	$h_{м.с.}$, Па
1-2-3-4-5-6-7	0,06	9582,6	0,032	$0{,}31*10^2$	$0{,}57*10^2$
8-9-10-11-12-13-14	0,09	13815,3	0,029	$0{,}27*10^2$	$0{,}84*10^2$

По результатам гидравлического расчета определяем напор насоса

Для $CaCl_2$: H=0,0262 м.вод.ст
Для NaCl: H=0,0195 м.вод.ст

В результате в работе выполнен расчет двухтрубной схемы рассольного охлаждения с закрытой циркуляцией рассола. Определены потери на трение и местные сопротивления на различных участках и по результатам определён напор насоса для перекачки рассола.

Можно сделать вывод о том, что в качестве промежуточного хладоносителя следует выбрать NaCl, так как при его использование потери на трение и местные сопротивления, а также напор насоса будут меньше, чем при использовании $CaCl_2$.

Литература

1. Свердлов Г.З., Явнель Б.К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и установок кондиционирования воздуха // М.: Пищевая промышленность, 1998. – 384 с.
2. Теплофизические свойства и температура замерзания водных растворов NaCl и CaCl2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://thermalinfo.ru/svojstva-zhidkostej/voda-i-rastvory/teplofizicheskie-svojstva-i-temperatura-zamerzaniya-vodnyh-rastvorov-nacl-i-cacl2

Д.В. Сёмин, студ.; С.А. Дронов, студ.; В.Э. Панарин студ.;
рук. А.В. Федюхин, к.т.н., доц.
(ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Москве)

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ

В последние годы вследствие повышения спроса на различные энергоресурсы, большое внимание к себе привлекает проблема рационального использования энергии, что в свою очередь влечет за собой и проблемы, связанные с энергосбережением в различных сферах энергетической деятельности, в том числе и в системах газотранспорта и газораспределения, а также использования нетрадиционных источников энергии. Говоря о программах энергосбережения, следует отметить, что одной из ключевых мер по энергосбережению является рациональное использование вторичных энергоресурсов (ВЭР). Особое внимание следует уделить как энергосбережению, так и увеличению энергоэффек-

тивности транспортируемого природного газа, к чему и побуждает Федеральный Закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 N 261-ФЗ (последняя редакция).

В нашей стране создана и функционирует самая обширная и масштабная газотранспортная и газораспределительная сети в мире. На долю ПАО «Газпром» приходится около 70% объемов добычи газа в стране. Протяженность лишь магистральных сетей составляет 160 тысяч километров, помимо этого ПАО «Газпром» имеет в совокупности огромное количество газораспределительных организаций. При транспортировке природного газа по магистральным трубопроводам, давление в них должно составлять несколько десятков атмосфер, чаще всего около 75 атмосфер. Потребителю же требуется природный газ с давлением существенно ниже, чем в магистральном газопроводе, поэтому часть давления транспортируемого газа редуцируется на газораспределительных станциях (ГРС) от значения 7,5 МПа до 1,2÷1,5 МПа, далее происходит повторное понижение давления газа на газораспределительных пунктах (ГРП) от 1,2 МПа до 0,2 МПа.

Автоматизация газорегуляторных пунктов предполагает широкое применение электронных, электрических и электромеханических приборов и устройств, для безотказной работы которых требуется надежный источник бесперебойного электроснабжения. Потребителями электроэнергии на такого рода объектах являются системы телеметрии, контрольно-измерительные приборы и автоматика (КИПиА), комплекс инженерно-технических средств охраны (КИТСО), системы контроля загазованности помещений, телемеханика запорной арматуры, системы электроосвещения и электрообогрева, а также станции электрохимической защиты (ЭХЗ) газо-проводов от коррозии. Анализ эксплуатируемого на ГРП электрооборудования показывает, что суммарная установленная мощность электроприемников на отдельно взятом объекте находится в пределах 0,5 – 5 кВт, а в большинстве случаев и вовсе не превышает 1 кВт. При этом номинальное рабочее напряжение многих электропотребляющих устройств и механизмов находится в диапазоне 12-48 В постоянного тока.

Сброс давления на классических ГРС и ГРП происходит с помощью дроссельных устройств, в которых безвозвратно теряется и никак не используется весь потенциал перепада давлений природного газа. Одним из решений задачи энергосбережения в системах газоснабжения – это использование детандер-генераторного агрегата (ДГА), устанавливаемого вместо дросселирующих устройств на ГРП или ГРС, в этом случае детандер будет являться генератором так называемой бестопливной электроэнергии, получаемой в электрогенераторе. Детандер-генераторные агрегаты, являющиеся утилизаторами избыточной энергии транспортируемого природного газа на ГРС или ГРП, также могут применяться и в роли газового двигателя. Возможная эксплуатация ДГА возможна не только в схемах ГРС или ГРП, а также и на компрессорных станциях. К явному положительному аспекту применения данного способа редуцирования природного газа можно отнести то, что газ после прохождения через детандер, в

котором он используется лишь в качестве рабочего тела, поступает далее по газопроводам к потребителю, он не сжигается, следовательно, наблюдается полное отсутствие вредных выбросов в окружающую среду. С каждым годом детандеры становятся все более и более перспективной областью для исследований, но, к сожалению, рынок ДГА малой мощности (менее 5 кВт) почти не востребован в сравнении с ДГА мощностью от 1,5÷7 МВт.

В настоящее время к классическими источникам электроснабжения таких объектов газотранспортной системы как ГРП можно отнести:

- воздушные линии электропередач (ВЛЭП);
- генераторы, работающие на дизельном топливе;
- источники электроэнергии на основе солнечных панелей;
- установки, работающие от ветра;
- комбинированное использование традиционных и возобновляемых источников энергии.

Перечисленные варианты электроснабжения объектов ГТС подбираются индивидуально для того или иного объекта с учётом географического расположения, климата и степени развития местной инфраструктуры. Под рассмотрение попадает условный объект, который располагается на длительном расстоянии от точки присоединения к электросетям. Выбор источника электроснабжения зависит от разных факторов, но одним из ключевых является объем финансовых затрат, вложенных в выбранный источник.

Как правило, ЛЭП являются самым дорогим решением задачи электроснабжения разных объектов, так как затраты потребуются на: спецтехнику, ямобуры, бригады высококлассных специалистов и на многое другое. В состав воздушной ЛЭП входят: опоры, провода, арматура, изоляторы, траверсы, грозозащитные тросы, разрядники, секционирующие устройства. Также следует отметить, что воздушная линия электропередач должна быть проложена таким образом, чтобы не мешать движению людей и транспорта, а также быть доступной для обслуживания и ремонта.

Стоимость 1 км возведения ВЛЭП у различных компаний находится в равносильном диапазоне (до 1 млн. рублей). В качестве примера выступает компания ООО «МастерЭнергоСервис», у которой стоимость услуг по возведению 1 км ВЛЭП равна 600 тысяч рублей и 800 тысяч рублей (ВЛЭП 0,4 кВ и 6(10) кВ соответственно). Финансовые расходы также потребуются на понижающие трансформаторы и вспомогательное оборудование. Дополнительные финансовые затраты приходятся на плату за присоединение к электрической сети, которые варьируются от технической возможности.

Автономное электроснабжение объекта ГТС с применением дизельной электростанции на этапе планирования затрат на такой способ электроснабжения требует покупку как самой дизельной электростанции, так и закупку дизеля с учетом его доставки. Дизельная электростанция — это многофункциональный агрегат с приводом от двигателя внутреннего сгорания, предназначенный для автономного энергоснабжения различных приборов и устройств. Аппарат выпускается в двух вариантах: стационарном и передвижном.

Так как на ГРП суммарное электропотребление систем автоматики, диспетчеризации, и аналогичных систем не превышает 5 кВт, за образец принимается дизель-генератор KOHLER-SDMO Diesel 6500 TA Silence AVR C5. Описанные выше малопотребляющие системы работают на напряжении 12-24 В, что побуждает к покупке вспомогательного оборудования в дополнение к дизельной электростанции. Стоимость подобной дизельной электростанции составляет 480 тысяч рублей. Исходя из ее характеристик, на полном баке топлива, объём которого составляет 27 литров, станция сможет непрерывно проработать 22,5 часа. Следовательно, количество заправок станции дизелем в год при условии её непрерывной работы в течение 8760 часов составит практически 390 раз.

Согласно прайс-листу компании «МосТопливо», один литр дизельного топлива с учётом доставки имеет стоимость 40,33 рублей/литр, тогда ежегодные затраты на дизельное топливо:

$$S_{\text{диз.топл.}}^{\text{год}} = V_{\text{бак}}^{\text{ст}} \cdot Z_{\text{запр}}^{\text{год}} \cdot C_{\text{диз.топл}} = 27 \cdot 390 \cdot 40{,}33 = 424\,674{,}9 \text{ руб/год}$$

Приблизительный оценочный расчет показывает, что минимальная стоимость без учета дополнительных трат электрообеспечения ГРП дизельной электростанцией составляет около 1 млн. рублей.

Рассмотрим вариант источника электроснабжения на основе солнечных панелей, например, готовый комплект оборудования для создания автономной точки электроснабжения, предлагаемый компанией «ЭнергоСоюз», на 5 кВт стоимостью 359 328 рублей. В сравнении с другими рассматриваемыми источниками солнечные модули имеют самую низкую стоимость, но все же они неудобны и не практичны в процессе эксплуатации.

Данные источники электроэнергии, которые эксплуатировались на различных объектах с довольно малым энергопотреблением, чаще всего в области дорожной инфраструктуры, не зарекомендовали себя в роли надежного и бесперебойного автономного источника электрической энергии, так как их эффективность напрямую зависит от географического и климатического факторов, что ставит под сомнение целесообразность использования данных технологических решений для их применения на объектах транспорта и распределения природного газа.

Помимо вышеперечисленных возможных решений задачи внедрения автономных источников электроэнергии в ГТС следует обратить внимание на детандер-генераторный агрегат (ДГА). Разработанный в рамках проекта «Разработка автономного источника электроснабжения газорегуляторных пунктов на базе роторного детандер-генераторного агрегата малой мощности» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Энергетика», «Электроника, радиотехника и IT» и «Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехника» в 2020-2022 гг.» кулачковый ДГА является альтернативой, способной заменить описанные выше варианты автономного электроснабжения ГРП, поскольку имеет преимущества по следующим пунктам:

- наиболее простой монтаж и обслуживание;

- малые габаритные размеры, не требующие дополнительного свободного пространства;
- функционирование вне зависимости от переменчивости внешних факторов;
- меньшие финансовые затраты вследствие меньшей себестоимости готового агрегата.

Себестоимость опытного образца кулачкового ДГА малой мощности с учетом комплектующих, затрат на разработку, создание и оформление необходимой документации приблизительно равняется 700 тысяч рублей. В дальнейшем при реализации серийного производства себестоимость агрегата достигнет порядка 400 тысяч рублей. Также при применении ДГА возможно оценить энергосберегающий потенциал, так как для выработки электроэнергии природный газ используется лишь в качестве рабочего тела без изменения своих технологических свойств.

Оценка величины электроэнергии, которую можно сэкономить при условии того, что на ГРП установлен роторный ДГА малой мощности, показана с помощью оценочного расчета, в котором некоторые показатели усредненные. Полученный результат должен показать какое количество электроэнергии можно сэкономить при теоретическом снабжении ГРП в нашей стране детандерами малой мощности.

Число газорегуляторных пунктов на территории нашей страны $Z_{\text{грп}}$ колеблется в районе 250 000, имеющих разные перепады давлений и пропускную способность. Положительными сторонами ДГА малой мощности являются небольшие габариты агрегата, также они дают некоторое преимущество в надежности функционирования ГРП, если учитывать, что объект находится далеко от точки присоединения к ВЛЭП, вследствие чего возможны аварии.

Как было сказано раннее, электропотребление у основной массы ГРП не превышает суммарно 5 кВт. В связи с неимением конкретных статистических данных, для простейшего оценочного расчета условно принимается, что требуемая мощность для объектов ГРП составляет 2,5 кВт. Тогда экономия электрической мощности составляет в течение года:

$$\Delta N_{\text{год}}^{\text{ГРП}} = N_{\text{дга}} \cdot Z_{\text{грп}} = 2{,}5 \cdot 250\,000 \cdot 8760 = 5{,}475 \cdot 10^6\ \frac{\text{МВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}$$

Полученные результаты по анализу каждого из рассмотренных способов электроснабжения ГРП показывают, что для решения поставленной задачи наиболее актуальным и перспективным является применение кулачкового роторного ДГА малой мощности, так как данный агрегат хоть и имеет большую себестоимость относительно солнечных панелей, но это перекрывается более простыми условиями эксплуатации, фактором стабильности получаемой электроэнергии, а также меньшей занимаемой площадью.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка автономного источника электроснабжения газорегуляторных пунктов на базе роторного детандер-генераторного агрегата малой мощности» при поддержке гранта НИУ

«МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Энергетика», «Электроника, радиотехника и IT» и «Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехника» в 2020-2022 гг.».

Литература

- S.A. Dronov, A.V. Fedyukhin, V.E. Panarin, A.S. Chernykh, Y.V. Yavorovsky, V.G. Khromchenkov and A.V. Martynov Modelling of autonomous power source for gas distribution station using ASPEN HYSYS // The Third Conference "Problems of Thermal Physics and Power Engineering" 1683 (2020) 052037.
- Бестопливные детандер-генераторные установки [Текст]: учебное пособие по курсу "Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях" для студентов, обучающихся по направлению "Теплоэнергетика" / В.С. Агабабов, А.В. Корягин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011.
- Агабабов, В.С. Оценка эффективности работы бестопливных энергогенерирующих установок для производства электроэнергии в системе газоснабжения / В.С. Агабабов, У.И. Смирнова, А.М. Колосов // Вестник МЭИ. – 2010. – №2.

И.В. Силкин, маг.; рук. Р.В. Трушаков, к.т.н.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ КАЧЕСТВА СЕТЕВОЙ ВОДЫ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Целью работы является выявление основных причин ухудшения качества теплоснабжения в местных системах теплопотребления, а также изучение основных мероприятий, направленных на локальное улучшение качества теплоносителя.

Актуальность данной темы обусловлена тем, что качество сетевой воды далеко не всегда соответствует требованиям норм, предъявляемым нормативно-технической документацией, что напрямую влияет на долговечность и экономичность функционирования систем теплопотребления различного рода потребителей тепловой энергии (промышленный потребитель, жилищно-коммунальный сектор (ЖКС)), а также на основное и вспомогательное оборудование источников тепловой энергии местной системы теплоснабжения. Важность вопроса возрастает в связи с тем, что обеспечение качественной работы данных систем – это один из главных вопросов комфорта, экономичности, долговечности и бесперебойности теплоснабжения любого потребителя.

Для того чтобы разобраться в данной теме, необходимо привести основные критерии качества сетевой воды, описать водоподготовительные мероприятия, а также на конкретном примере оценить работу установки, предназначенной для повышения качества воды.

Вопросам водоочистки и водоподготовки в теплоэнергетике принято уделять большое внимание. От качества воды зависит то, насколько эффективно будет использоваться оборудование. Как правило, определение химического состава и физических свойств сетевой воды являются важнейшими задачами при проектировании практически любой системы теплоснабжения.

Качество воды в системе отопления регламентируется согласно РД 24.031.120-91 «Методические указания. Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического режима и химического контроля». В таблице 1 приведены Нормы качества сетевой воды для различных температур нагрева.

Таблица 1 – Нормы качества сетевой воды для различных температур нагрева

Вид оборудования	Тип системы теплоснабжения	Карбонатный индекс* $И_к$ (г-экв/м^3)^2 при температуре сетевой воды, °С					
		70-100	101-120	121-130	131-140	141-150	151-200
Водогрейные котлы	открытая	3,2	2,0	1,5	1,2	0,8	-
	закрытая	3,0	1,8	1,2	1,0	0,5	-
Сетевые подогреватели	открытая	4,0	3,0	2,5	2,5	2,0	1,0
	закрытая	3,5	2,5	2,0	2,0	2,0	0,5

При проведении лабораторных исследований воды, отобранной из распределительной сети, как правило, особое внимание уделяют содержанию в пробе неорганических веществ (железо (Fe суммарно), кальций, магний) [2].

Химводоочистка (далее ХВО) является одним из наиболее важных этапов в процессе водоподготовки. Подпиточная вода для систем и сетей теплоснабжения, полученная в блоке ХВО, увеличивает срок службы всех элементов систем теплоснабжения и теплопотребления.

На источниках теплоснабжения водоподготовка проходит в несколько основных этапов:

- фильтрация от примесей;
- реагентная обработка;
- умягчение воды;
- обессоливание воды.

Проведение мероприятий по ХВО на источниках теплоснабжения необходимо для защиты основного и вспомогательного оборудования от накипи и коррозионных отложений. Отсутствие или неэффективная работа блока ХВО приводит к быстротечному выходу из строя основного и вспомогательного оборудования источника теплоснабжения, а также вспомогательного оборудования теплосети. Останов теплоснабжения в разгар отопительного периода чревато очевидными социальными последствиями. Следует отметить такой факт, что в случае аварийного останова теплоснабжения имеет место экономический фактор – возрастают капитальные затраты на замену котлоагрегатов и остального вспомогательного оборудования системы теплоснабжения [1].

Умягчение воды – один из наиболее важных этапов водоподготовки. Для этого наиболее часто используют установки умягчения непрерывного действия. На рисунке 1 представлен эскиз установки умягчения непрерывного действия.

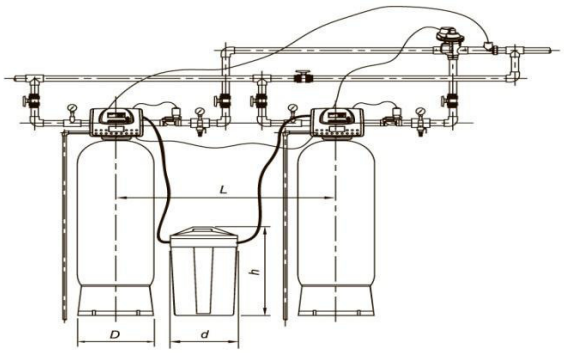


Рисунок 1 – Установка умягчения непрерывного действия

Основное назначение установки умягчения непрерывного действия – умягчение воды, используемой для подпитки местных источников теплоснабжения, тепловых сетей, систем отопления и горячего водоснабжения.

Установки данного типа работают по методу натрий-катионирования. Фильтрование исходной воды происходит через слой ионообменной смолы.

В качестве примера рассмотрим цикл работы установки умягчения непрерывного действия, установленной на местном источнике теплоснабжения. Выполним расчет необходимой производительности. По результатам расчета выполним выбор мощности установки.

Рассмотрим пример теплоснабжения двух многоквартирных жилых домов от местного источника теплоснабжения. Количество этажей в зданиях – 9, количество подъездов – 3. Расход тепла на нужды отопления – 0,418 Гкал/ч, расчетный расход теплоносителя в системе отопления – 3,99 $м^3$/ч, общая жесткость исходной воды – 9 мг-экв/л.

Выбор установки будем производить по величине требуемой рабочей обменной емкости, после чего проверим выбранную установку по её расчетной производительности. Фактическую производительность установки формируют такие факторы, как условия эксплуатации установки, качество исходной воды, требования к качеству умягченной воды.

Для данной котельной выберем установку умягчения непрерывного действия фирмы ÖlkaWST-5,0-CL-(SC). Характеристики данной установки представлены в таблице 2.

Таблица 2 – общие характеристики установки умягчения непрерывного действия ÖlkaWST-5,0-CL-(SC)

Название	Ölka WST-5,0-CL-(SC)
Производительность (номинальная – максимальная), $м^3$/ч	3,2 – 5,0
Потери напора при номинальной – максимальной производительности, кг/$см^2$	0,7 – 1,3
Объем ионообменной смолы, л	2x125
Масса поддерживающего слоя гравия, кг	2x20
Размеры элементов установки (высота/диаметр), мм: - катионитного фильтра - бака-солерастворителя	 1894/406 1000/530
Приблизительная масса установки в сборе, кг	360
Присоединительные размеры D_y, (вход/выход/сброс), мм	25/25/20

Данная установка работает по 2 – х ступенчатой схеме.

Натрий-катионитный фильтр 1-ой ступени удаляет из исходной воды ионы-накипеобразователи (Ca^{2+}, Mg^{2+}).

После фильтра 1-ой ступени вода поступает в декарбонизатор, где происходит удаление из нее CO_2. После декарбонизатора фильтрат поступает на натрий-катионитный фильтр 2-ой ступени.

Для определения ресурса установки необходимо рассчитать объем умягченной воды, который определяется по формуле:

$$V = \frac{\text{РОЕ}}{\text{Ж}_0}, \text{м}^3,$$

где РОЕ – рабочая обменная емкость одного фильтра для принятой дозы соли, г-экв;

$Ж_0$ – жесткость исходной воды, мг-экв/л.

Для выбранной установки РОЕ одного фильтра составляет 150 г-экв при расходе соли 100-120 г/л.

Тогда, объем умягченной воды до начала регенерации составит:

$$V = \frac{150}{9} = 17 \text{ м}^3,$$

Таким образом, для данной системы на блоке управления установки умягчения непрерывного действия устанавливается ресурс 17 $м^3$.

Использование установки умягчения фирмы Ölka серии WST-5,0-CL-(SC) при номинальной производительности установки обеспечивает значение остаточной жесткости воды от 0,1 до 0,3 мг-экв/л, что находится в пределах нормы, установленной РД 24.031.120-91 [2].

Резюмируя, можно сказать, что предотвращение и решение проблем качественного теплоснабжения возможно только с использованием современных технологий по химической подготовке воды, а также при полном соблюдении всех водоподготовительных мероприятий, выполнении постоянного водно-химического режима и осуществлении непрерывного контроля качества подпиточной воды.

Карбонатные отложения, вызванные высокой жесткостью воды, приводят к перерасходу энергоносителя, так как заметно ухудшается теплоотдача теплообменных поверхностей, что заметно сказывается на эксплуатационных затратах.

Развитие коррозии металлических поверхностей также является явным признаком использования неподготовленной воды. Загрязнение внутренних поверхностей трубопроводов продуктами окисления металлов значительно затрудняет работу системы теплопотребления здания. Уменьшение проходного сечения трубопроводов в несколько раз увеличивает расчетное проектное гидравлическое сопротивление системы теплопотребления, вследствие чего напряженная работа циркуляционного насоса увеличивает потребление электроэнергии, а вместе с тем возрастают затраты на электроэнергию.

С энергетической точки зрения расходы на приобретение установки химводоподготовки и ее эксплуатацию ниже затрат дорогостоящего ремонта основного и вспомогательного оборудования как местного источника теплоснабжения и её теплосети, так и системы теплопотребления потребителей.

Достижение максимальных технико-экономических показателей невозможно без проведения мероприятий по улучшению качества сетевой воды. Правильный выбор системы химической водоподготовки – это гарантия отсутствия проблем с оборудованием, а также экономия средств.

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. РД 24.031.120-91 «Методические указания. Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического режима и химического контроля».

А.А. Спиридонова, студ.; рук. В.А. Галковский, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ДЕАЭРАЦИИ НА ВЕЛИЧИНУ РАСХОДА ТОПЛИВА В КОТЕЛЬНОЙ

В настоящее время, развитие всех отраслей науки, включая и теплоэнергетическую, приводит к тому, что большинство процессов, которые раньше не могли протекать без участия человека, сводятся к полной автоматизации (пример конструирование котельных для производства тепловой энергии). Следующим этапом модернизации является минимизация затрат на получение желаемого результата. В энергетической отрасли одним из способов решения поставленной задачи является энергосбережение.

Несмотря на то, что индивидуальное и местное теплоснабжение развивается и набирает популярность среди застройщиков, теплоснабжение от центральных водогрейных котельных остаётся актуальным и на сегодняшний день. В связи с этим, возникает необходимость в модернизации процесса выработки тепловой энергии, одним из путей достижения которой является минимизация расхода топлива на котельных.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

1. определить параметры, от которых зависит величина расхода топлива;
2. составить алгоритм расчёта оптимальных значений параметров, влияющих на величину расхода топлива.

В качестве примера источника теплоснабжения рассматривается водогрейная котельная, схема которой представлена на рисунке 1.

Расход топлива на источнике теплоснабжения в общем случае рассчитывается по формуле, $м^3/с$:

$$B = \frac{G \cdot (h_2 - h_1)}{\eta \cdot Q_н^с}, \qquad (1)$$

где G – расход рабочего тела, кг/с; h_2 – энтальпия воды на выходе из котлоагрегата, кДж/кг; h_1 – энтальпия воды на входе в котлоагрегат, кДж/кг; η – КПД котла; $Q_н^с$ – низшая рабочая теплота сгорания газообразного топлива, кДж/м^3.

Из (1) видно, что расход топлива напрямую зависит от расхода рабочего тела, который, в нашем случае, определяется расходами: а) воды в тепловой сети и б) на собственные нужды котельной. Так как а) зависит от величины тепловых нагрузок, которая является фиксированной и не может изменяться в целях минимизации эксплуатационных затрат на работу котельной, следует вывод, что расход рабочего тела может регулироваться путём изменения б).

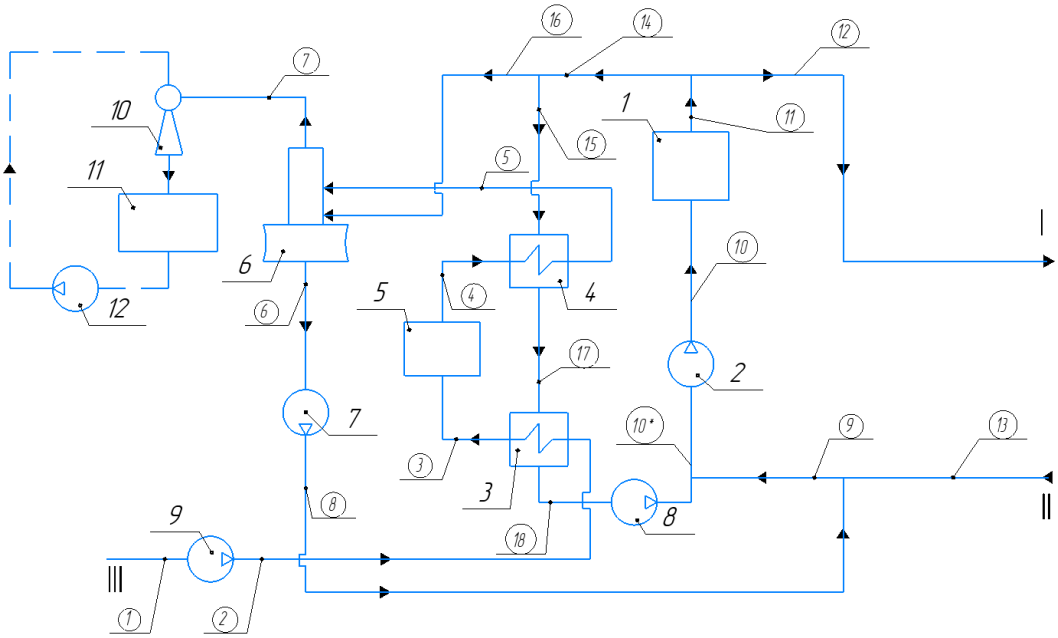


Рисунок 1 – Принципиальная схема водогрейной котельной

Обозначения на схеме: I – подающая линяя тепловой сети; II – обратная линяя тепловой сети; III – сырая, холодная вода; 1 – водогрейный котлоагрегат; 2 – сетевой насос; 3 – подогреватель сырой воды; 4 – подогреватель химически очищенной воды; 5 – блок химводоочистки; 6 – вакуумный деаэратор; 7 – подпиточный насос; 8 – рециркуляционный насос; 9 – насос сырой воды; 10 – водоструйный эжектор; 11 – расходный бак эжектора; 12 – эжекторный насос.

В нашем случае, как видно из схемы, представленной на рисунке 1, расход рабочего тела на собственные нужды котельной определяется коэффициентом деаэрации (деаэрация — это процесс десорбции газа, при котором происходит переход растворенного газа из жидкости в находящийся с ней в контакте пар, такой процесс может осуществляться при соблюдении законов равновесия между жидкой и газовой фазами) [1]. Коэффициент деаэрации показывает отношение расхода греющего теплоносителя, поступающего в деаэратор для обеспечения его работы к расходу обрабатываемой в деаэраторе воды. Отсюда следует вывод, что расход рабочего тела на рассматриваемой водогрейной котельной может регулироваться путём изменения значения коэффициента деаэрации.

Для расчёта принципиальной схемы, необходимо было определиться с количеством и характером тепловых нагрузок. С этой целью для теплоснабжения был выбран жилой микрорайон, расположение – г. Смоленск, состоящий из многоэтажных многоквартирных зданий (5 штук), таунхаусов (10 штук) (таунхаус – малоэтажный жилой дом на несколько, в данном случае 3, многоуровневых квартир с изолированными входами), а так же частных домов (15 штук). Т.к. район состоял только из жилых зданий, нагрузка на вентиляцию не учитывалась. Тепловые нагрузки были рассчитаны по подробной методике для частных домов и по укрупнённым показателям для многоэтажных многоквартирных домов и таунхаусов. Суммарное значение тепловых нагрузок в максимально зимнем режиме составило 3,9 МВт.

Для расчёта представленной принципиальной тепловой схемы необходимо знать температуру, °С, энтальпию, кДж/кг и расход кг/с рабочего тела в характерных точках схемы, которые отмечены обведёнными в круг цифрами на рисунке 1.

Неизвестные температуры, энтальпии и расходы рабочего тела были определены балансовым методом, который основан на составлении теплового и материального балансов для конкретных элементов котельной.

При изменении значений коэффициента деаэрации, была выявлена следующая зависимость: при увеличении коэффициента деаэрации до определённого значения, расход топлива уменьшается.

Для рассматриваемого случая, было получено значение коэффициента деаэрации, равное $k_{\text{дпсрв}} = 0{,}802$, расход топлива при этом минимален и составляет $B = 0{,}123\ \text{м}^3/\text{с}$.

Итоговые значения показателей состояния рабочего тела в характерных точках схемы при значении коэффициента деаэрации $k_{\text{дпсрв}} = 0{,}802$ приведены на рисунке 2.

	Суммарное количества тепла, МВт	3,9		
	Коэффициент расхода воды на деаэрацию	0,802		
№ потока	**Название**	**Температура, °С**	**Энтальпия, кДж/кг**	**Расход, кг/с**
1.	Сырая вода на входе в котельную	5,0	21,0	0,4
2.	Сырая вода перед ПСРВ	5,0	21,0	0,4
3.	Сырая вода после ПСРВ	25,0	104,8	0,4
4.	Химически-очищенная вода перед подогревателем №4	25,0	104,8	0,4
5.	Химически-очищенная вода на входе в деаэратор	75,0	314,3	0,4
6.	Попдпиточная вода до ППН	81,3	340,6	0,7
7.	Выпар из деаэратора	81,3	2645,0	0,0
8.	Попдпиточная вода после ППН	81,3	340,6	0,7
9.	Обратная (полная) сетевая вода	70,2	294,2	37,2
10*.	Питательная вода до сетевого насоса	69,9	292,7	37,8
10.	Питательная вода на входе в котлоагрегат	69,9	292,7	37,8
11.	Вода на выходе из котлоагрегата	95,0	398,1	37,8
12.	Прямая сетевая вода	95,0	398,1	37,2
13.	Обратная сетевая вода	70,0	293,3	36,5
14.	Поток воды на собственные нужды	95,0	398,1	0,9
15.	Греющий поток для подогревателя хим. очищенной воды	95,0	398,1	0,6
16.	Греющий поток для деаэратора	95,0	398,1	0,3
17.	Греющий поток для подогревателя сырой воды	60,0	251,4	0,6
18.	Греющий поток после подогревателя сырой воды	46,0	192,9	0,6
	Расход топлива	0,123		

Рисунок 2 – Показатели состояния рабочего тела при значении $k_{\text{дпсрв}} = 0{,}802$

При дальнейшем увеличении коэффициента деаэрации, расходы и температуры рабочего тела в некоторых характерных точка схемы принимают отрицательные значения, как и расход топлива, что свидетельствует о невозможности работы оборудования котельной в данном режиме.

Итоговые значения показателей состояния рабочего тела в характерных точках схемы при значении коэффициента деаэрации $k_{\text{дпсрв}} = 0{,}803$ (работа оборудования котельной невозможна) приведены на рисунке 3.

	Суммарное количества тепла, МВт	3,9		
	Коэффициент расхода воды на деаэрацию	0,803		
№ потока	Название	Температура, °C	Энтальпия, кДж/кг	Расход, кг/с
1.	Сырая вода на входе в котельную	5,0	21,0	152,0
2.	Сырая вода перед ПСРВ	5,0	21,0	-151,3
3.	Сырая вода после ПСРВ	25,0	104,8	152,1
4.	Химически-очищенная вода перед подогревателем №4	25,0	104,8	-151,3
5.	Химически-очищенная вода на входе в деаэратор	75,0	314,3	152,2
6.	Попдпиточная вода до ППН	81,3	340,6	0,7
7.	Выпар из деаэратора	81,3	2645,0	0,3
8.	Попдпиточная вода после ППН	81,3	340,6	0,7
9.	Обратная (полная) сетевая вода	70,2	294,2	37,2
10*.	Питательная вода до сетевого насоса	47,9	213,4	-395,7
10.	Питательная вода на входе в котлоагрегат	47,9	-179,2	-395,7
11.	Вода на выходе из котлоагрегата	95,0	398,1	-395,7
12.	Прямая сетевая вода	95,0	398,1	37,2
13.	Обратная сетевая вода	70,0	293,3	36,5
14.	Поток воды на собственные нужды	95,0	398,1	-554,5
15.	Греющий поток для подогревателя хим. очищенной воды	95,0	398,1	434,3
16.	Греющий поток для деаэратора	95,0	398,1	122,2
17.	Греющий поток для подогревателя сырой воды	60,0	251,4	434,3
18.	Греющий поток после подогревателя сырой воды	-49,4	-208,0	434,3
	Расход топлива	-7,051		

Рисунок 3 – Показатели состояния рабочего тела при значении $k_{\text{дпсрв}} = 0{,}803$

В ходе расчёта, были получены значения величины расхода топлива в зависимости от коэффициента деаэрации. Для более наглядного представления зависимости между ними, был построен график (рисунок 4), на котором пунктирной линией обозначена граница области значений коэффициента деаэрации, при которых возможна работа оборудования котельной.

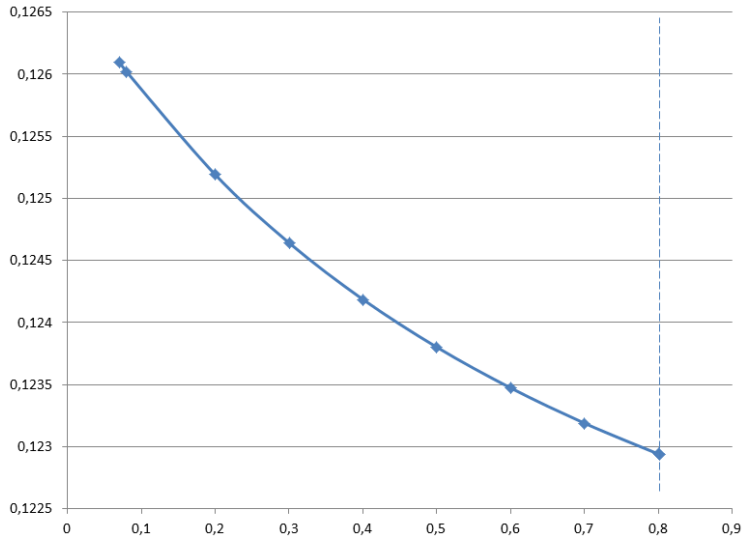


Рисунок 4 – Зависимость расхода топлива от значений коэффициента деаэрации

Таким образом, величина расхода топлива зависит и может регулироваться значениями коэффициента деаэрации. Существует такое значение этого коэффициента, при котором расход топлива минимален.

Литература

1. Водоподготовка в энергетике [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков — М.: Издательский дом МЭИ, 2016.

Е.Н. Токмакова, маг.; рук. В.Ю. Введенский, к.ф.-м.н., доц.
(НИТУ «МИСиС», г. Москва)

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АМОРФНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Аморфные магнитно-мягкие сплавы на основе Fe являются электротехническими материалами и отличаются низкими потерями на перемагничивание и высокими значениями максимальной индукции и применяются, в основном, в качестве материалов для сердечников импульсных и силовых трансформаторов. Для улучшения магнитных свойств аморфных сплавов в виде лент, полученных спиннингованием расплава, целесообразно применять термическую обработку, в процессе которой происходит снижение закалочных напряжений и наведение магнитной анизотропии (в случае, если обработка проводится в магнитном поле), обеспечивающей нужный уровень гистерезисных свойств.

Для исследуемого в настоящей работе аморфного сплава $Fe_{77}Ni_1Si_9B_{13}$ одним из факторов, определяющих формирование магнитных свойств при отжиге, является наведение магнитной анизотропии вследствие направленного упорядочения, которое может вызвать стабилизацию границ доменов, что приведет к ухудшению магнитно-мягких свойств сплава [1,2]. Избежать этого можно, если провести термомагнитную обработку в полях больше поля насыщения материала, когда образец находится в однодоменном состоянии при отсутствии границ доменов, что делает невозможным их стабилизацию [3].

Из литературных данных [4] известно, что перемагничивание ферромагнетика начинается со смещения границ доменов и заканчивается процессом вращения вектора спонтанной намагниченности. При этом максимальная магнитная проницаемость наблюдается в поле, в котором процессы смещения практически завершены.

Предполагается, что если провести отжиг в магнитном поле с малой напряженностью, соответствующем полю максимальной проницаемости, то результирующие магнитные свойства должны быть такими же, как после отжига в поле насыщения, так как в этом случае процессы смещения границ доменов почти завершены и наблюдается однодоменная структура образца, что в результате должно привести к подавлению стабилизации границ доменов.

Поэтому целью настоящей работы было исследование закономерностей влияния длительности термомагнитной обработки (ТМО) в малом поле на магнитно-мягкие свойства аморфного сплава $Fe_{77}Ni_1Si_9B_{13}$.

Отжиг проводился при температуре 375 °С, обеспечивающей минимальную коэрцитивную силу сплава, в магнитном поле с напряжённостью 23 А/м, в котором наблюдалась максимальная магнитная проницаемость, и происходит смена механизма перемагничивания со смещения границ доменов к вращению намагниченности. Длительность обработки варьировалась от 5 до 10 мин.

В работе использовались тороидальные образцы в виде ленты, намотанной на кварцевую оправку диаметром 16 мм. Аморфная лента получалась методом спиннингования расплава по одновалковому способу и имела толщину 25 мкм

при ширине 10 мм. Контроль магнитных свойств образца до и после отжига осуществлялся в статическом режиме измерений на автоматической магнитоизмерительной установке МК-3Э. Измерялись полевые зависимости коэрцитивной силы, остаточной и максимальной индукции, коэффициента прямоугольности петли гистерезиса и максимальной магнитной проницаемости.

Зависимость коэрцитивной силы от напряженности магнитного поля представлена на рисунке 1.

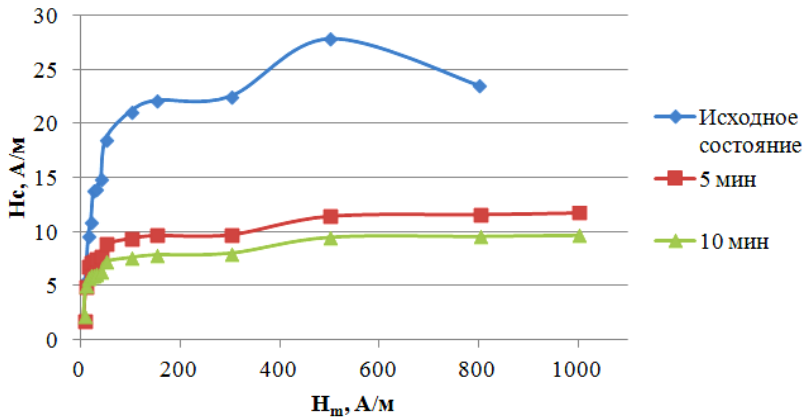


Рисунок 1 – Зависимости коэрцитивной силы от напряженности магнитного поля для образца в разных состояниях

Из рисунке 1 видно, что коэрцитивная сила увеличивается во всех образцах с нарастанием поля, но кривая имеет «ступенчатый» характер, что, вероятно, обусловлено наличием нескольких стадий перемагничивания. Подобный характер полевой зависимости коэрцитивной силы может быть связан с тем, что в образце имеются центры задержки доменных стенок как минимум двух типов, соответствующих 180-градусным и 90-градусным границам доменов.

В целом, отжиг в ненасыщающем поле приводит к уменьшению коэрцитивной силы более чем в 2 раза относительно состояния до обработки, что, вероятнее всего, связано с практически завершившейся релаксацией напряжений, но при этом характер полевых H_c зависимостей практически не изменяется.

Полевые зависимости остаточной (рисунок 2) и максимальной индукции до и после ТМО имеют одинаковый вид: наблюдается рост B_r и B_m с нарастанием поля. Одной из интересных особенностей полученных результатов является то, что ТМО по выбранному режиму не влияет на остаточную индукцию сплава в больших полях (хотя ожидалось ее увеличение): остаточная индукция насыщения оказалась одинаковой для образца как до отжига, так и после него.

В полях выше 100 А/м остаточная индукция не изменяется, а максимальная индукция продолжает расти, не выходя на насыщение даже в больших полях. В связи с этим, коэффициент прямоугольности петли гистерезиса, равный отношению остаточной индукции к максимальной, изменяется с полем по кривой с максимумом (рисунок 3).

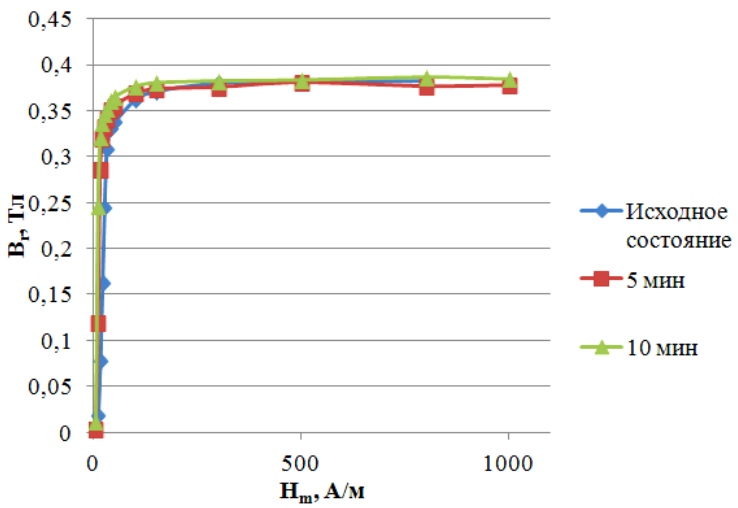


Рисунок 2 – Зависимости остаточной индукции от напряженности магнитного поля для образца в разных состояниях

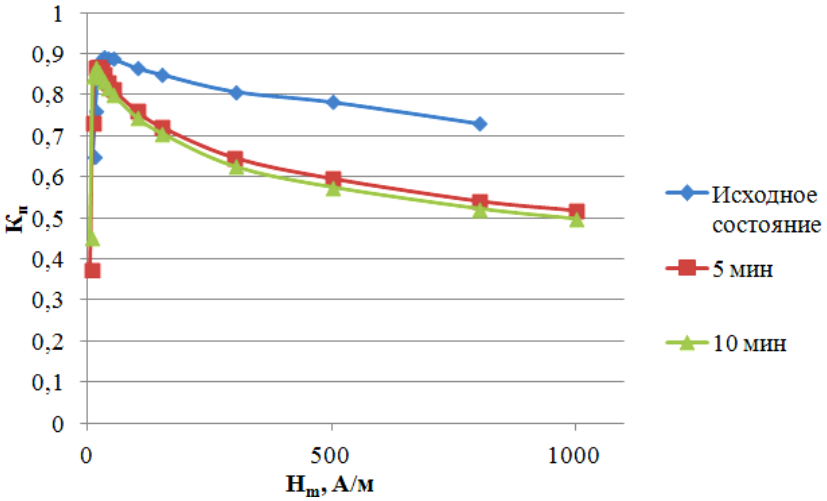


Рисунок 3 – Зависимости коэффициента прямоугольности петли гистерезиса от напряженности магнитного поля для образца в разных состояниях

Термомагнитная обработка в малом поле приводит к повышению максимальной магнитной проницаемости более чем в 2 раза. При этом максимальная проницаемость тем выше, чем больше выдержка при ТМО, что обусловлено сильно развитой релаксацией напряжений.

Полученные результаты по выявлению закономерностей влияния ТМО в малом поле на магнитные свойства аморфного сплава на основе железа в дальнейшем позволят более эффективно выбирать оптимальный режим термической обработки этих и других аморфных магнитомягких сплавов для получения нужного комплекса магнитных свойств, индивидуального для каждого электротехнического изделия.

Литература

1. Кекало И.Б. Аморфные магнитные материалы: Курс лекций. Часть 1. – М.: МИСиС, 2001. – 276 с.

2. Судзуки К., Фудзимори Х., Хасимото К. Аморфные металлы. Под ред. Масумото Ц.: Пер. с япон. – М.: Металлургия, 1987. – 328 с.

3. Кекало И.Б., Шуваева Е.А. Аморфные, нано- и микрокристаллические магнитные материалы: Лаб. практикум. – М.: Издательский Дом «МИСиС», 2008. – 248 с.

4. Бозорт Р. Ферромагнетизм. Пер. с английского. – М.: Иностранная литература, 1956. – 784 с.

С.Р. Трофименко, Ю.А. Медведева студ.; рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА СРЕДСТВАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

Одной из современных вершин развития средств автоматизации в промышленности является применение средств роботизации, промышленных роботов и крупных гибких автоматизированных производств, совмещающих в себе роботизированные, станочные и транспортные механизмы [1], [2]. Роботизация, хотя и является до сих пор весьма дорогостоящим средством автоматизации, дает промышленности и бизнесу множество преимуществ: минимизацию человеческого фактора на ответственных крупносерийных производствах, снижение себестоимости и повышение качества продукции, уменьшение влияния опасных факторов производства на здоровье человека и т.д.

Использование промышленных роботах на производствах предполагает их «привязку» к основному технологическому процессу – определение пространственных координат, в которых они будут работать.

Помимо этого, несмотря на «малолюдность» производств, на которых применяются промышленные роботы, крайние пространственные координаты манипулирования робота важны для определения пространства его безопасной эксплуатации.

Наибольший интерес при определении таких координат представляет так называемая «характерная точка схвата» – геометрический центр исполнительного органа робота, в котором и находится при отработке роботом необходимой траектории объект манипулирования – некий груз, специальный инструмент и т.п. Все множество координат трехмерного пространства, в которых может находиться характерная точка схвата, в механике роботов определяется рабочей зоной (иногда еще называемой рабочим пространством) [3], [4]. Рабочие зоны роботов очень разнообразны. Они могут быть различных форм и размеров, параметры которых зависят от геометрии звеньев, количества степеней подвижности.

При изучении дисциплин, связанных с механической частью промышленных роботов, студентам в качестве учебной задачи ставится построение рабочей зоны для промышленного робота заданной структурно-кинематической схемы и известных геометрических размеров звеньев, в нее входящих.

Безусловно, построение рабочей зоны возможно и при использовании «ручной» технологии, но в настоящее время его целесообразнее проводить с использованием средств компьютерной графики, например, с помощью пакета КОМПАС - 3D [5].

Целью настоящей статьи является демонстрация возможностей проектирования рабочей зоны промышленного робота современными средствами.

Рассмотрим её проектирование на примере робота ЦПР-1П, имеющегося в лаборатории промышленных роботов кафедры «Электромеханические системы» филиала НИУ МЭИ в г. Смоленске.

Робот ЦПР-1П(2П) имеет 5 или 6 степеней подвижности. Общий вид такого робота показан на рис.1, где цифрой «1» обозначена конструкция робота, а – «2» – стойка управления.

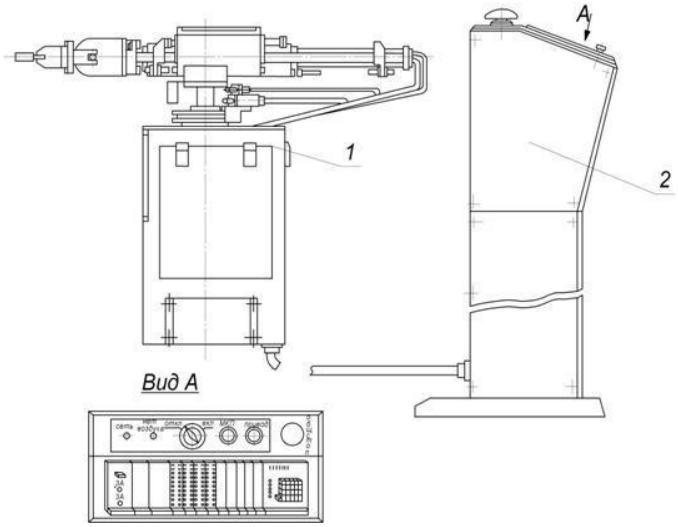


Рисунок 1 – Общий вид и стойка управления робота ЦПР-1П(2П)

На рис.2 представлена структурно-кинематическая схема робота, учитывающая характер и взаимное расположение его степеней подвижности (СП).

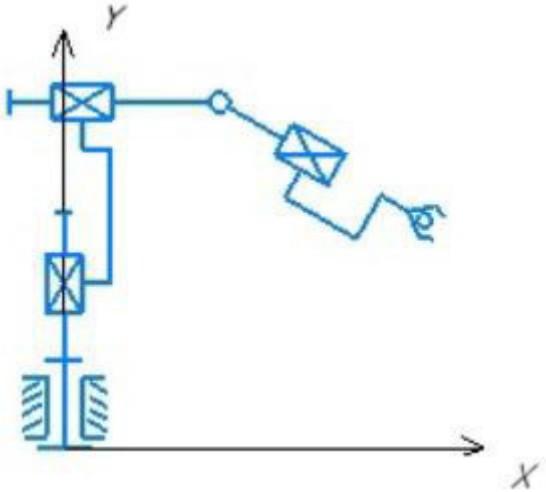


Рисунок 2 – Структурно-кинематическая схема робота ЦПР-1П(2П)

У робота ЦПР-1П(2П) реализованы следующие степени подвижности, обозначенные на рис.2 цифрами: «1» - поступательная СП (подъем колонны) - СП Z; «2» - вращательная СП (поворот конструкции) - СП φ; «3» - поступательная СП - вылет руки - СП X; «4» - вращательная СП (изгиб кисти) - СП β; «5» - вращательная СП (ротация схвата) - СП α.

Для построения рабочей зоны используется следующий алгоритм. Каждый привод робота обеспечивает характерной точке схвата частную рабочую зону по одной из осей. Рабочая зона последовательного (или иначе - разомкнутого) манипулятора складывается из частных рабочих зон каждого из приводов этого манипулятора (рис.3.а–г).

Последовательное поэтапное построение обеспечивает в итоге результирующую рабочую зону робота – серая пространственная фигура на рис.4.

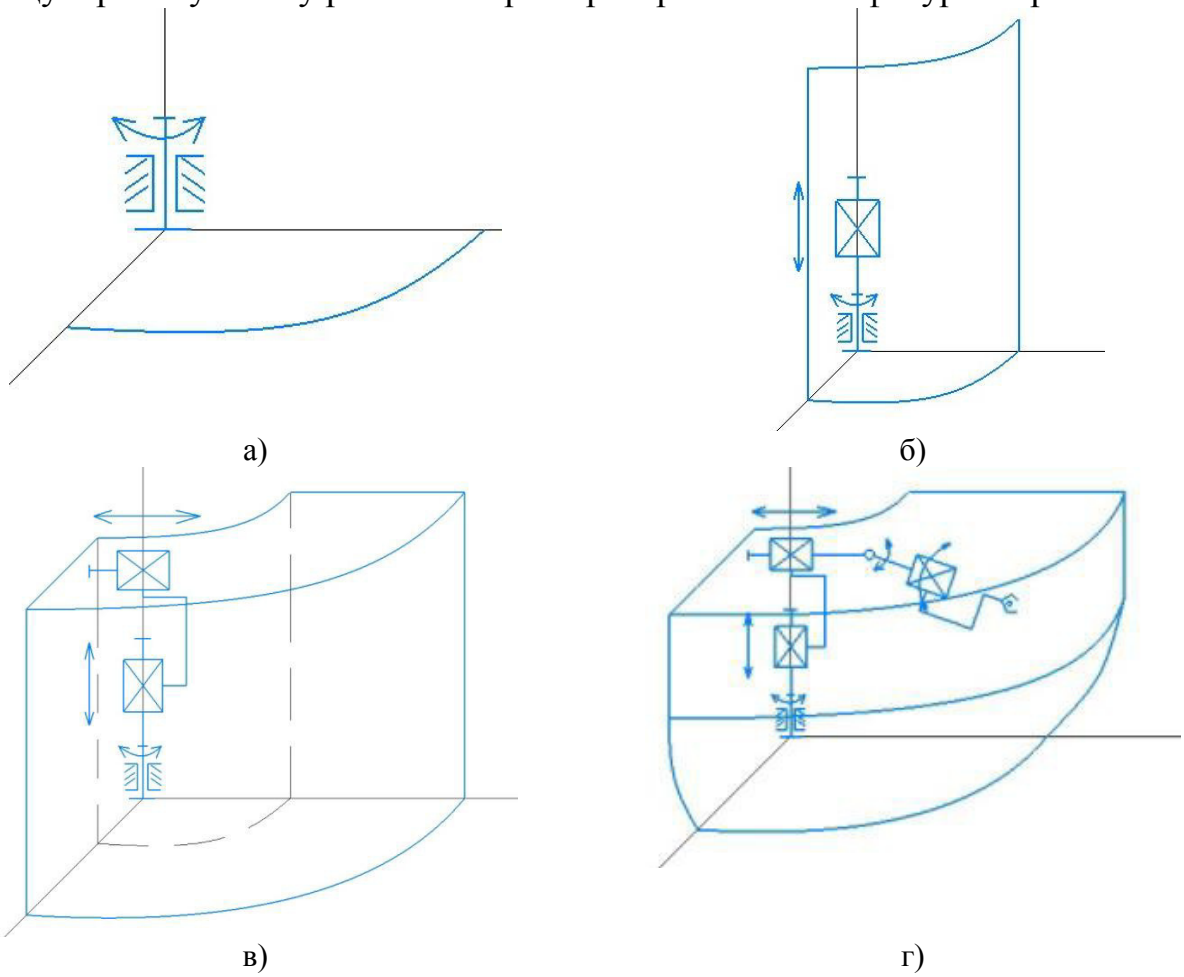


Рис.3. Этапы построения рабочей зоны

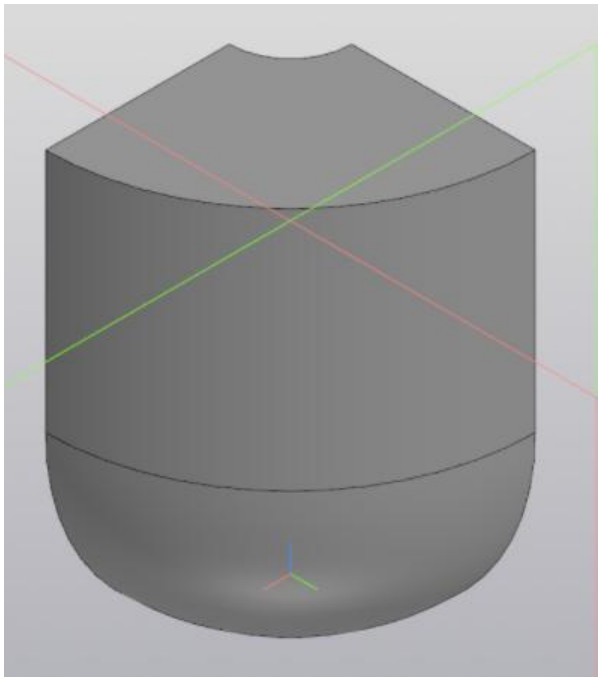


Рис. 4

Спроектированная рабочая зона робота показывает, что технология построения с использованием средств компьютерной графики намного эффективнее морально устаревшей «ручной» технологии, т. к. использование компьютерных технологий экономит такие ресурсы как время и силы человека, а чёткость исполнения поставленной задачи в разы превосходит возможности человека, ведь погрешность работы компьютера сведена к минимуму.

Литература

1. Булгаков, А.Г. Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление [Текст] / А. Г. Булгаков, В. А. Воробьев. - М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2007. - 488с. : ил. ; 21см. - (Монография). - Библиогр.:с.473-481. - ISBN 978-5-91359-013-8.
2. Егоров, О.Д. Механика и конструирование роботов [Текст] : Учебник / О. Д. Егоров. - М. : МГТУ "Станкин", 1997. – 510 с. : ил ; 20 см. - Библиогр.: с.516-519. - ISBN 5-7028-0063-X.
3. Юревич, Е.И. Основы робототехники [Текст] : Учеб. пособие для вузов (УМО) / Е. И. Юревич. - 2-е изд.,перераб.и доп. - СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – 416 с. : ил ; 24см. - (CD). - Библиогр.: с.396-398. - ISBN 5-94157-473-8.
4. Лукинов А.П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во «Лань», 2012. – 608 с.
5. Корнеев В.Р., Жарков Н.В., Минеев М.А., Финков М.В. КОМПАС-3D на примерах: для студентов, инженеров и не только. - СПб.: Наука и Техника, 2017. – 272 с.: ил.

А.А. Уткин, маг.; рук. Р.В. Трушаков, к.т.н.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Большое количество исследований подтверждают тот факт, что к 2021 году ископаемые виды топлива (торф, уголь, нефть, газ) при существующем темпе научно-технического прогресса не смогут снабжать энергией в полной мере. В связи с этим, традиционные энергосистемы, и ещё также автономные системы, работающие на традиционном топливе, независимо от их технического развития обречены на провал в будущем [1, 2].

Разработка и внедрение возобновляемых источников энергии является перспективным способом решения проблемы энергопотребления. Ожидается, что их доля в мировом потреблении составит около 24% в 2021 году и 50% к 2040 году [3].

Как известно, солнце является источником жизни для планеты Земля. Одной из важных характеристик солнечного света является длина солнечных лучей. Атмосфера (озон, водяной пар и углекислый газ) поглощает солнечное излучение определенных длин волн. Значительное затухание (уменьшение) в большинстве ультрафиолетовых и инфракрасных областей спектра происходит в результате поглощения и определяет процесс воздействия окружающей среды на климат земли. Поверхность, перпендикулярная прямому солнечному свету, обычно имеет самую высокую интенсивность излучения. Поскольку расстояние между землей и Солнцем меняется в течение года и составляет менее 150 млн. км, количество солнечной радиации также колеблется между 1325 Вт /м^2 и 1420 Вт /м^2 [3].

Солнечные лучи, достигающие поверхности земли, делятся на два типа: прямые и рассеянные. Прямой солнечный свет исходит от поверхности солнца и достигает поверхности земли. Сила прямых солнечных лучей зависит от чистоты (яркости) атмосферы, высоты солнца над горизонтом (в зависимости от широты и времени суток) и положения поверхности относительно солнца. Рассеянный солнечный свет поступает из верхних слоев атмосферы и зависит от прямого солнечного света, отраженного от земли и окружающей среды.

Из-за многократного процесса отражения между заснеженной поверхностью земли и облаками внизу мощность рассеянного солнечного излучения может достигать высоких значений. Солнечные лучи являются неисчерпаемым ресурсом энергии. Они непрерывно дают большое количество энергии, чем необходимо. Годовой объем солнечной энергии, которая поступает на землю, составляет 1018 кВт·ч, и примерно 20% этой энергии приходится на поверхность земли. Солнечная энергия, достигая поверхности земли, проделывает огромную работу - передаёт тепло, испаряет воду, создает ветер и движение воды в морях и океанах, укрепляет растения.

Солнечная энергия является бесплатным ресурсом, но она не всегда дешева, для того чтобы получить электричество. В следствии этого, специалисты данной области пытаются постоянно совершенствовать солнечные элементы, чтобы сделать их более эффективными и приводящими к нужным результатам.

Солнечное излучение преобразуется солнечными коллекторами в электричество постоянного тока. Солнечные коллекторы состоят из солнечных панелей. Солнечные панели представляют собой набор фотогальванических ячеек. Чем больше ячеек и выше их качество, тем эффективнее работает энергетическая установка. Функция солнечной панели - выработка электроэнергии.

Большинство солнечных элементов представляют собой полупроводниковые кремниевые фотодиоды.

Основными недостатками фотоэлектрических систем являются (SFE):

- Использование инверторов, которые снижают их КПД, преобразовывая постоянный ток в переменный.
- Высокая стоимость солнечных элементов, которые преобразуют солнечный свет в постоянный ток.
- Аккумуляторы, обеспечивающие бесперебойную работу потребителя и являющиеся резервным источником, во многом увеличивают стоимость солнечной энергии.

Темпы развития технологий и техники в области солнечной энергетики в ближайшем будущем значительно увеличат экономический потенциал её использования, который напрямую зависит от текущих экономических и хозяйственных условий и достигнутого технологического уровня.

В настоящее время процесс фотоэлектрической трансформации становится одним из приоритетных направлений солнечной энергетики в мире. Популярность данного направления обуславливается рядом преимуществ солнечных энергетических установок: низкие эксплуатационные расходы, продолжительный срок службы, а также предельно экологическое преобразование энергии

солнца. При этом, коэффициент преобразования солнечной энергии в данном процессе независим от установленной мощности.

Прямое преобразование солнечного излучения в электричество осуществляется фотоэлектрическими солнечными элементами (батареями, системами).

Солнечные фотоэлектрические элементы на основе кремния бывают трех типов: монокристаллические, поликристаллические и аморфные. В промышленном производстве трансформаторные машины (ТФМ) используются со следующим КПД: 1) монокристаллические: 15-16% (до 24% для прототипирования); 2) поликристаллические: 12-13% (до 16% для прототипирования); 3) аморфные: 8-10% (до 14% для прототипирования).

Все эти данные соответствуют так называемым однослойным элементам. В настоящее время изучаются двух- и трехслойные солнечные элементы, с помощью которых можно исследовать большую часть солнечного спектра по длине волны солнечного излучения.

Для двухслойного солнечного элемента на опытных образцах был получен КПД 30%, а для трехслойного – КПД ~ 40%.

В последние годы арсенид галлия стал перспективным конкурентом кремнию в солнечных фотоэлектрических электростанциях (СФЭУ).

В конечном итоге, следует отметить, что из-за отсутствия многих справочных данных, которые необходимы для расчёта технического и экономического потенциала солнечной энергетики, приходится прибегать к ряду предположений и допущений. Следовательно, полученные результаты таких исследований носят поверхностный характер и их следует квалифицировать как экспертную оценку.

В заключение можно сделать вывод о том, что область использования солнечных энергетических источников в альтернативной энергетике на нужды энергоснабжения исследована далеко не полностью не только на территории России, но и за рубежом. На сегодняшний день существует множество различных подходов, разработок, но единого однозначного метода по расчёту солнечной энергетической установки нет, что открывает перед наукой широкие горизонты для новых открытий.

Литература

1. Григораш О.В. Автономные источники электроэнергии: Состояние и перспективы / О. В. Григораш, С. В. Божко, А. Ю. Попов и др. – Краснодар 2017. с. 174.
2. Григораш О.В. Выбор оптимальной структуры системы автономного электроснабжения / О. В. Григораш, С. А. Симоненко, А. М. Передистый и др. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2—7. № 8. С.31-33.
3. Григораш О.В. Возобновляемые источники электроэнергии / О.В. Григораш, Ю.П. Степура, Р.А. Сулейманов и др. Краснодар, 2017, с. 272.

В.В. Федотов, С.Р. Трофименко студ.; рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ВАРИАНТА ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Автоматизация различных технологических процессов в промышленности осуществляется главным образом средствами регулируемого электропривода [1]. Как для общепромышленных, так и для специальных механизмов основным типом автоматизированного электропривода в настоящее время является частотно-регулируемый [1], [2]. Многие исследования направлены на придание частотно-регулируемому электроприводу свойств большей энергоэффективности по сравнению с типовыми применяемыми на практике решениями.

Одним из возможных вариантов усовершенствования имеющихся силовых схем является применение активных выпрямителей в составе силовой схемы привода [3]-[5], в том числе по предлагаемым в филиале НИУ МЭИ в г. Смоленске оригинальным схемам [4], [5] и технологиями управления ими.

Силовая схема предлагаемого варианта показана на рис.1.

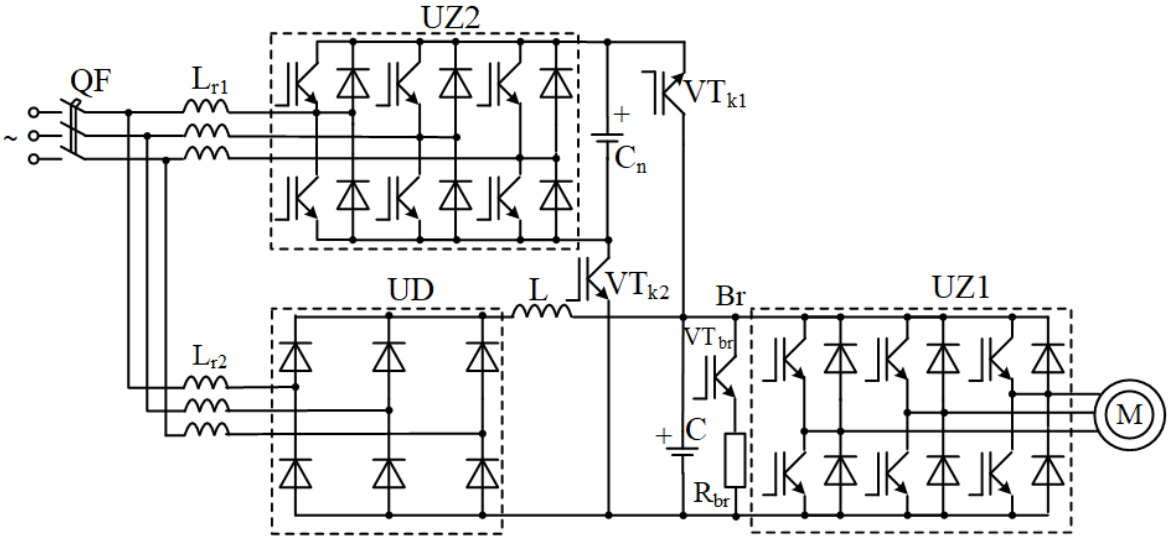


Рисунок 1 – Силовая схема предлагаемого варианта модификации преобразователя частоты

Схема в «нижней» части рис.1 содержит стандартные компоненты наиболее распространенной силовой схемы «неуправляемый выпрямитель UD – звено постоянного тока – автономный инвертор напряжения UZ1». На входе установлен реактор L_{r2}. «Верхняя» часть схемы включает активный выпрямитель UZ2, подключенный через входной реактор L_{r1}, и два дополнительных коммутационных ключа VT_{k1} и VT_{k2}. В звене постоянного тока нижней части схемы имеется фильтрующий конденсатор C, а активный выпрямитель на стороне постоянного тока содержит свой накопительный конденсатор C_n.

В этой схеме используется два алгоритма управления в зависимости от энергетических режимов электропривода.

При работе электродвигателя M в двигательном режиме, а схемы - в режиме потребления активной мощности ключи VT_{k1} и VT_{k2} разомкнуты. Алгоритм управления UZ2 при этом следующий:

- в фазах силовой сети измеряется «тройка» фазных напряжений;

- эти напряжения «конвертируются» в масштаб токов к значению номинального тока двигателя;

- отмасштабированные сигналы далее являются опорными и в узле сравнения сопоставляются с реальным током, потребляемым «нижней» частью схемы рис.1;

- сформированная разность этих сигналов содержит информацию о не синусоидальности входного тока;

- эта разность, взятая с отрицательным знаком, является сигналом для коммутации ключей UZ2.

При работе электродвигателя в генераторном режиме ключи VT_{k1} и VT_{k2} замкнуты, и использован 2-й алгоритм управления UZ2, в основу которого положена двухконтурная система векторного управления, привязанная к системе координат, вращающейся синхронно углу сетевого напряжения:

- на внешний контур этой системы подается разность уставки напряжения звена постоянного тока и реального напряжения звена постоянного тока;

- на выходе регулятора напряжения звена постоянного тока формируется сигнал задания активной составляющей тока системы;

- управление внутренним быстродействующим релейным контуром тока формируется по рассогласованию сигнала задания трех фазных токов, которые сравниваются с измеренными токами в соответствующих фазах;

- на выходе релейного регулятора токая формируются сигналы ШИМ-управления ключами UZ2.

Целью настоящей статьи является моделирование системы электропривода с силовой схемой предлагаемого варианта для мощного высоковольтного электропривода подъемного механизма.

Имитационная модель системы частотно-регулируемого электропривода, построенная на основании силовой схемы рис.1, содержащая систему векторного управления автономным инвертором напряжения UZ1 и описанные выше алгоритмы управления UZ2, показана на рис.2.

Основные элементы силовой схемы и системы управления обозначены на модели. В качестве силовой сети смоделирован трехфазный источник напряжения номинальным линейным напряжением 6.3 кВ частотой 50 Гц. Объект управления – восьмиполюсный асинхронный трехфазный высоковольтным двигатель с короткозамкнутым ротором номинальной мощностью 630 кВт. В качестве приводного механизма моделировался спускоподъемный агрегат бурового ротора буровой установки.

В качестве накопителей энергии выступают: входной дроссель с параметрами $3\cdot10^{-3}$ Гн и 0,001 Ом; накопительная емкость с параметрами $5\cdot10^{-5}$ Ф и 0,01 Ом.

Силовым преобразовательным устройством является трехфазный транзисторный мост со следующими параметрами: активное сопротивление снабберной цепи 3 Ом; емкость снабберной цепи 10^{-8} Ф; активное сопротивление транзистора IGBT в режиме насыщения 10^{-3} Ом.

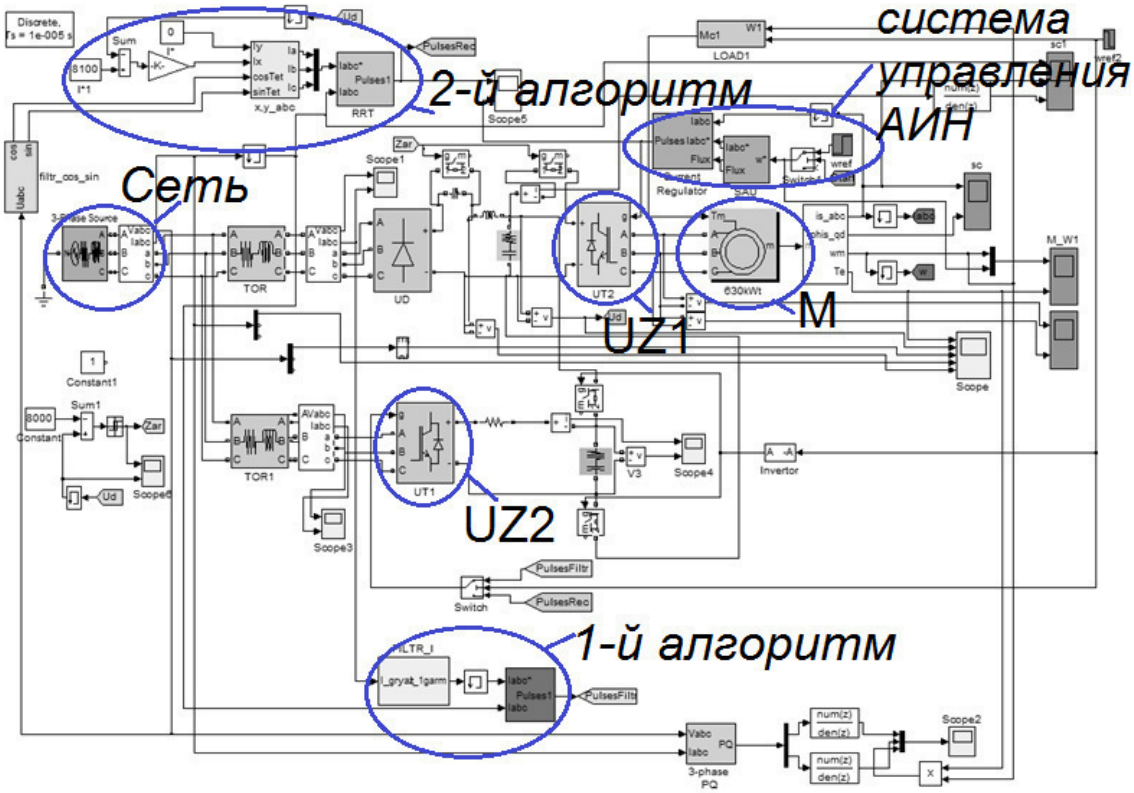


Рисунок 2 – Схема модели

Система управления моделируется следующим образом. «Загрязненный» помехами сигнал с датчиков тока поступает на фильтры Баттерворта, на выходе которых формируется мгновенное значение первой гармоники фазных токов. Далее «загрязненный» сигнал и сигнал первой гармоники поступают на релейный регулятор, который совместно с распределителем импульсов формирует требуемое мгновенное значение тока сети.

С целью обеспечения работоспособности системы электропривода в четырех квадрантах механических характеристик можно дополнить существующую схему функцией рекуператора. Последнее позволяет сделать электропривод с лучшей электромагнитной совместимостью, т.е. при работе электропривода в двигательном режиме (в первом и третьем квадрантах характеристик) схема выполняет функцию активного фильтра гармоник, уменьшая вносимые преобразователем в сеть помехи.

При работе электропривода в тормозных режимах значительную часть механической энергии схема способна рекуперировать в питающую сеть. Сигналом переключения режимов работы транзисторного моста может являться уровень напряжения в звене постоянного тока преобразователя частоты.

Блок обеспечения рекуперации активной энергии в питающую сеть состоит из следующих функциональных частей: стабилизатора напряжения в звене постоянного тока; синхронизатора; регулятора тока; распределителя импульсов, коммутатор.

Стабилизатор напряжения представляет собой контур регулирования, заданием которого выставляется рабочий уровень напряжения в звене постоянного

тока. Прямой тракт регулирования состоит из: П-регулятора напряжения, выход которого является заданием проекции вектора тока статора на ось абсцисс вращающейся системы координат (заданием активного тока), координатных преобразователей, релейного регулятора тока и распределителя импульсов. Синхронизатор предназначен для фазировки сигналов задания регулятора тока и включает в себя следующие элементы: датчики мгновенных значений фазных напряжений; фильтр без фазовой задержки; нормировщик сигнала; координатный преобразователь из трехфазной системы координат в ортогональную. Фильтр без фазовой задержки представляет собой фильтр Баттерворта четвертого порядка и настраивается аналогично фильтру в компенсаторе реактивной мощности. Блок нормировки сигнала переводит его от абсолютных единиц к относительным для дальнейшего координатного преобразования.

Регулятор тока работает в «скользящем режиме» с гистерезисом 2 А. Распределитель импульсов с регулятором тока объединены в единую подмодель. По сигналу превышения напряжения в звене постоянного тока выше заданной уставки транзисторный мост переключается из режима активного фильтра гармоник в режим рекуперации энергии в питающую сеть, когда ключи VT_{k1} и VT_{k2} замкнуты.

На разработанной модели проведен ряд компьютерных экспериментов, один из которых осуществлен по следующему сценарию:

- за время, равное двум периодом сети, производится намагничивание машины и безопасный заряд конденсатора С малым током;
- до 0,6 секунд производится пуск машины на пониженную скорость в заданном диапазоне ее регулирования с номинальной нагрузкой на валу;
- от 0,6 до 1,2 секунд – переход машины на основную скорость и работа на ней с той же статической нагрузкой;
- в 1,2 секунды знак момента нагрузки «искусственно» меняется на противоположный для эффективной демонстрации работы приводы в генераторном режиме.

Переходные процессы для фазного напряжение и тока сети показаны на рис.3.

На интервале времени от 0 с до 0,6 с активный выпрямитель работает в режиме активного фильтра гармоник. Форма тока при этом близка к синусоидальной.

На интервале времени от о с до 1,2 с активный выпрямитель работает также в режиме компенсатора реактивной мощности. Видно, что фазные напряжения и ток синфазны.

На интервале времени от 1,2 с до 1,5 с активный выпрямитель работает в режиме рекуператора. Видно, что напряжение и ток находятся в противофазе, что является одним из показателей рекуперативного режима.

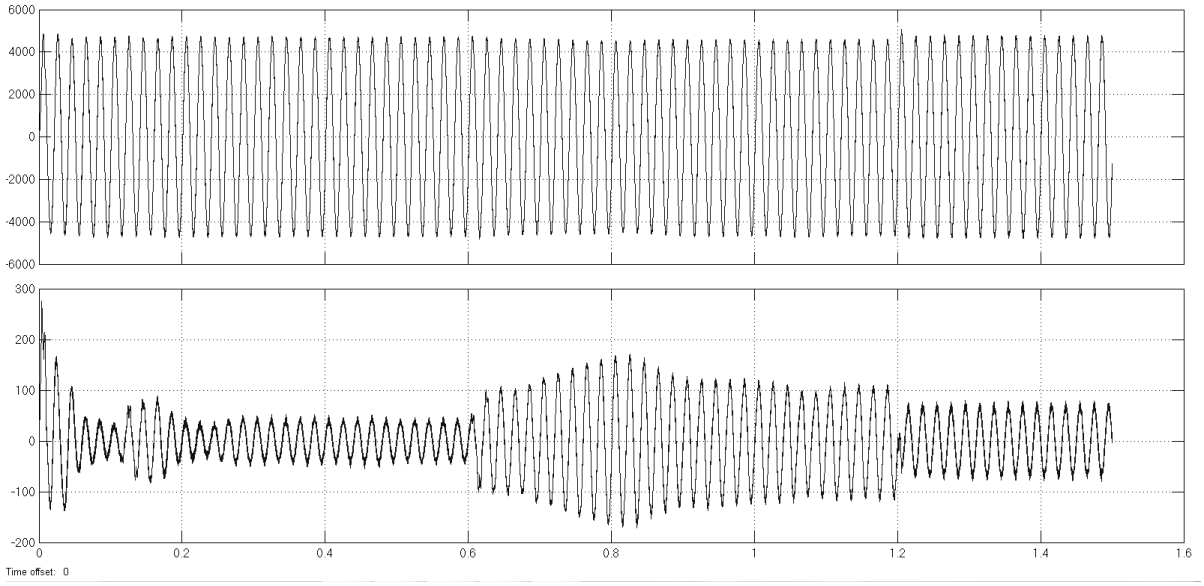


Рисунок 3 – Изменение фазного напряжения и тока сети

Проведенный анализ показывает, что все рассмотренные алгоритмы работы схемой отрабатываются в полной мере.

Литература

1. Анучин, А.С. Системы управления электроприводов. / Учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 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. Николаев А.А., Буланов М.В., Афанасьев М.Ю., Денисевич А.С. Разработка усовершенствованного алгоритма ШИМ активного выпрямителя с адаптацией к резонансным явлениям во внутризаводской сети/ Вестник ИГЭУ. 2018,. №6. – С. 47-56.
4. Крутиков К.К., Рожков В.В. Применение многофункциональных силовых активных фильтров в составе мощного частотно-регулируемого электропривода. – Электричество, 2011, №2.
5. V. V. Rozhkov and V. V. Fedotov, "Improving the Properties and Characteristics of Avariable-Frequency Drive with an Active Rectifier," 2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russia, 2020, pp. 903-907, doi: 10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208030

В.В. Федотов, А.Ю. Ярочкин, студ., рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ МПЧ ПРИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ БОРТОВОЙ СЕТИ

Современная система электроснабжения авиационной бортовой сети в своем составе имеет трехфазную электрическую сеть с напряжением 115 В и частотой 400 Гц [1]. Первичными источниками электроэнергии при этом выступают турбины реактивных двигателей. Вал турбины связан с ротором электромашинного генератора. Генераторы могут быть различного исполнения как синхронные с регулируемым возбуждением, так и постоянные. Классическим приемом преобразования нестабилизированной исходной сети в стабилизированную по частоте и напряжению является система «переменная скорость – постоянная частота» [2]. Для этих целей используются специальная гидравлическая система со специальными муфтами скольжения. По итогу вал

генератора вращается с большой частотой и для преобразования напряжения высокой частоты к частоте 400 Гц используются различные способы преобразования энергии. Наибольшее применение получила схема с промежуточным звеном постоянного тока, который состоит из выпрямителя с большим емкостным фильтром и автономного трехфазного инвертора напряжения.

Другой способ преобразования без звена постоянного тока – это так называемые непосредственные преобразователи частоты (НПЧ). Применение транзисторов дает возможность построения НПЧ в виде матричных преобразователей частоты (МПЧ). Применение таких алгоритмов управления ими, при которых из «плохой» исходной сети с переменной частотой и амплитудой возможно сразу получить выходную сеть 400 Гц. Тогда исключается применение ненадежных силовых конденсаторов.

Поиск оптимальных вариантов построения силовых цепей МПЧ и законов управления ими – одна из актуальных тем как зарубежных, так и отечественных публикаций, например, [2], [3].

МПЧ представляют больший интерес для системы электроснабжения авиационной бортовой сети в силу требований минимизации массогабаритных показателей устройств. Силовая схема данных устройств состоит из 9 ключей, обладающих двусторонней проводимостью на базе IGBT-транзисторов. Общая схема силовой части МПЧ представлена на рисунке 1. Качество выходного напряжения зависит напрямую от алгоритмов работы данных ключей, а выходного тока еще определяется и характером нагрузки.

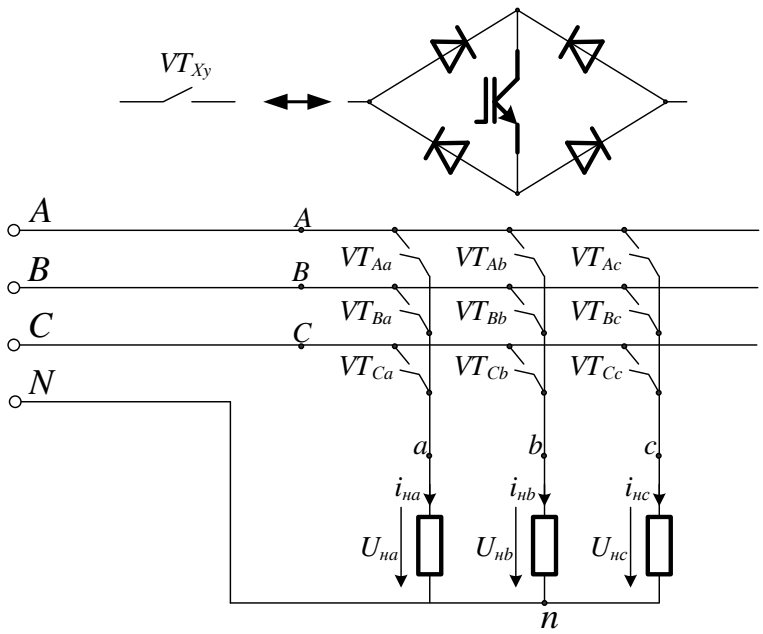


Рисунок 1 - Силовая схема МПЧ

На сегодняшний день классической системой управления НПЧ является «квазистатическая». «Квазистатические» процессы характеризуются относительно медленным изменением значений. Основная идея заключается в определении наибольшего значения напряжения в некоторый момент времени и

использовании этого значения в выходной сети при формировании выходного тока. При использовании данной системы управления возникают высшие гармоники, которые негативно влияют на выходной сети.

НПЧ, работающие по алгоритмам «скользящих» режимов, показывают качество питающей сети лучше, чем у классической системы управления [4].

Цель настоящей статьи – анализ выходного напряжения МПЧ, система управления которого построена по принципу «скользящих» режимов.

Эта система управления разработана в составе научной группы кафедр ТОЭ и ЭМС филиала НИУ МЭИ в г. Смоленске.

Предлагаемый вариант работы системы управления по принципу «скользящих» режимов основан на определении двух наиболее близко расположенных фазных напряжений к задающему напряжению в определенный момент времени. При построении выходного сигнала используется отрезок сначала наиболее близкий к фазному напряжению, а затем второй ближайший. После этого выявление близлежащих напряжений выполняется повторно. Имитационная модель в MatLab данной системы управления матричным преобразователем частоты с параметрами моделирования для системы электроснабжения авиационной трехфазной бортовой сети изображена на рисунке 2.

При этом часть блоков этой модели реализовано структурно, а часть программно – сама логика управления – в виде m-файла и s-функции.

В качестве генератора в данной модели используется трехфазный источник напряжения. Генератором импульсов (Pulse Generator) создается интервал, в котором выбираются наиболее близкие напряжения относительно опорного напряжения. В качестве опорного напряжения используются три блока однофазного напряжения с фазовым сдвигом в 120 градусов, которые подведены к блоку TimeSelect. К данному блоку подводится генератор импульсов и трехфазный источник напряжения. Этот блок осуществляет синхронизацию между фазными и опорными напряжениями. Реализация данной идеи осуществляется путем запоминания в определенный момент времени значения фазных и опорных напряжений в интервале времени, созданном генератором импульсов. Затем на блок S-function, где записана программа по определению знака формируемой полуволны, подаются значения из блока TimeSelect. На выходе блока S-function формируются пары сигналов, указывающих, какие из входных сигналов удовлетворяют условию (1 – u_A, 2 – u_B, 3 – u_C, 0 – ни один из сигналов не удовлетворяет условию) и могут быть использованы для реализации скользящего режима на данном дискретном шаге. Эти пары сигналов поступают на блок Subsystem, который собственно и реализует режим «скользящего среднего», анализируя полученные данные, и формирует импульсы управления ключами. Силовая часть представлена блоком данной модели МРСН, который состоит из 9-и ключей, обладающих двусторонней проводимостью. Также в данной модели используется активно-индуктивная нагрузка для каждой фазы и приборы измерения и визуализации.

Линейное напряжение генератора составляет 380 В, опорное фазное напряжение 115 В при частоте 400 Гц. В качестве нагрузки используется сопротивление R = 1 Ом, и индуктивность L = 0,001 Гн.

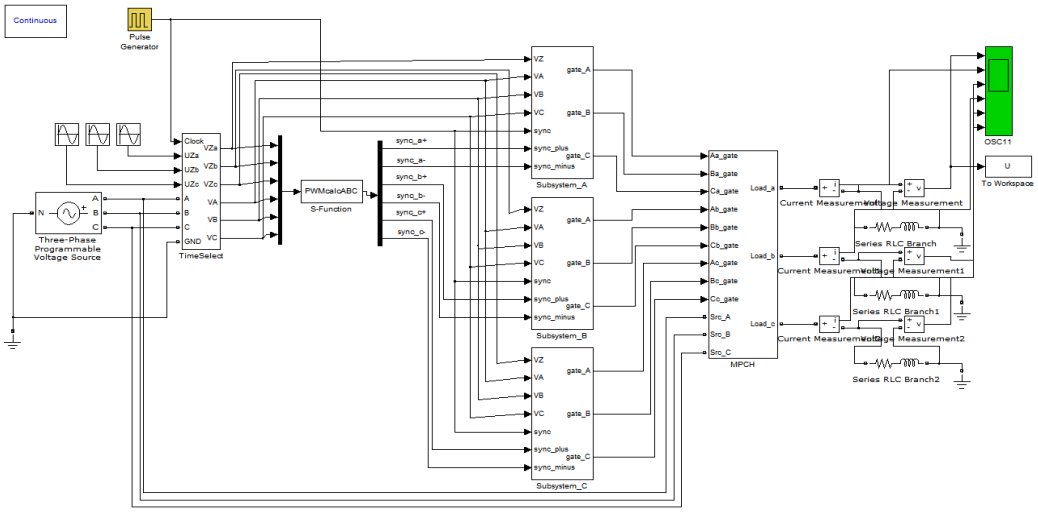


Рисунок 2 - Модель МПЧ с системой управления по принципу скользящих режимов

В связи с тем, что генераторы в самолете устанавливаются на двигатели, то частота вращения генератора будет различной. Это отражает тот факт, что частота вращения двигателя на различных этапах полета различна. По этой причине спектр выходного фазного напряжения МПЧ целесообразно рассмотреть при различной частоте сетевого напряжения (генератора), к примеру, при 1000 Гц (рисунок 3) и 1200 Гц (рисунок 4).

По результатам анализа рисунка 3 и рисунка 4 видно, что на частоте основной гармоники достигается максимальное значение напряжения с амплитудой около 120 В. В ходе исследования спектра при различных частотах генератора экспериментально определен диапазон изменения напряжения. При этом максимальное и минимальное значение напряжения достигается не на одной частоте, а на ряде частот, которые определяются экспериментально. Получение максимальной и минимальной амплитуды напряжения на основной гармонике показано на рисунке 5 и рисунке 6 соответственно.

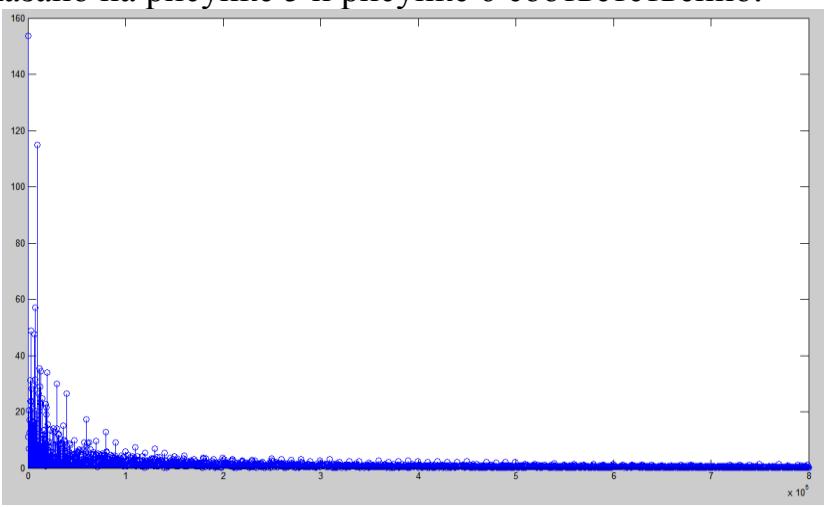


Рисунок 3 -Спектр выходного фазного напряжения при частоте сетевого напряжения 1000 Гц

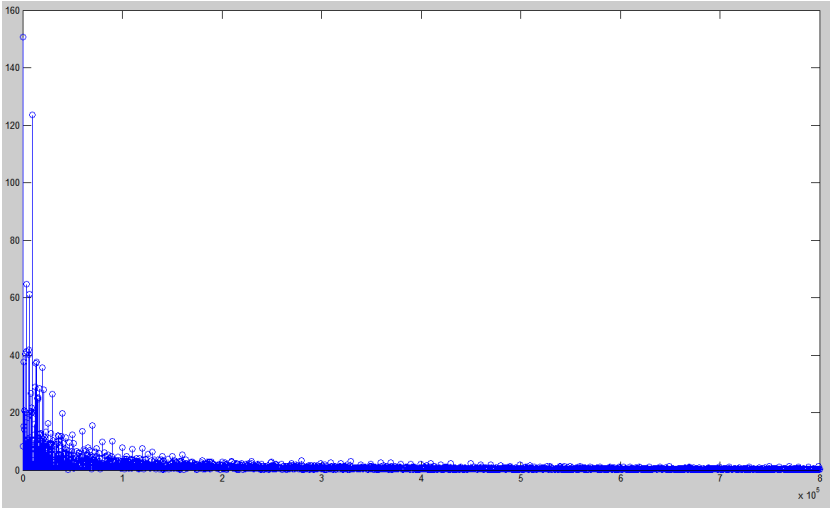


Рисунок 4 -Спектр выходного фазного напряжения при частоте сетевого напряжения 1200 Гц

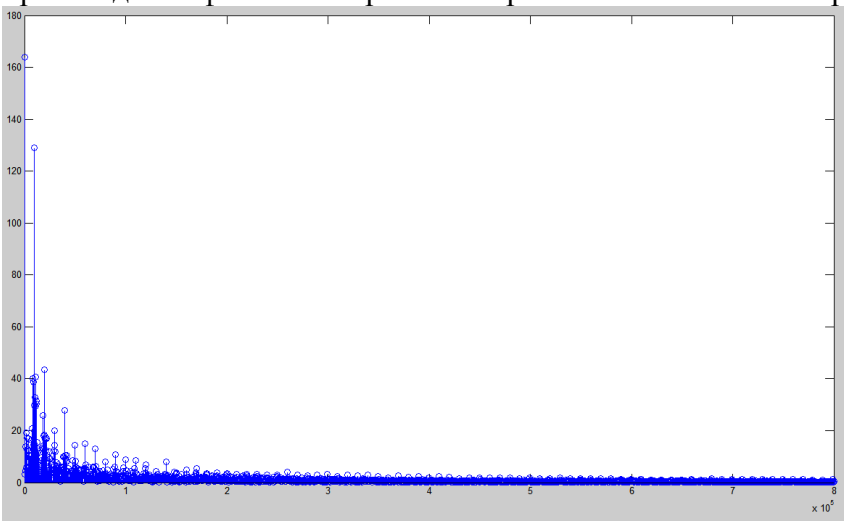


Рисунок 5 - Наибольшее значение напряжения на основной гармонике при частоте сетевого напряжения 400 Гц

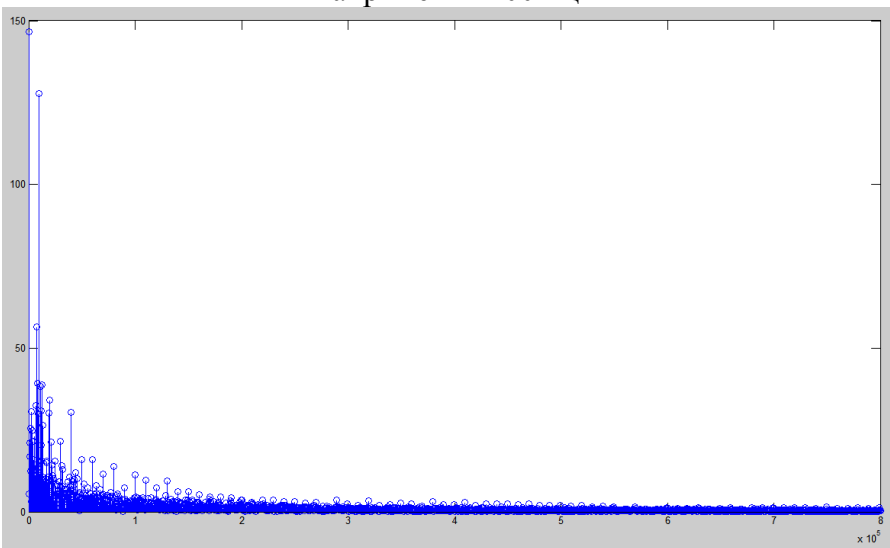


Рисунок 6 - Наименьшее значение напряжения на основной гармонике при частоте сетевого напряжения 659 Гц

По результатам анализа рисунка 5 видно, что наибольшее значение амплитуды основной гармоники приблизительно равно 163 В, данное значение было получено при частоте генератора 400 Гц. Наименьшее значение амплитуды

по рисунку 6 приблизительно равно 146 В, данное значение было получено при частоте 659 Гц.

Анализируя полученные графики, отметим наличие высших гармоник, но по сравнению с квазистатическим режимом управления амплитуда этих гармоник в несколько раз меньше.

Таким образом, применение матричных преобразователей частоты, работающих по принципу «скользящих» режимов, для электроснабжения авиационной бортовой сети вполне приемлемо и перспективно.

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

Литература

5. Машинский В.В. Резервная система генерирования электрической энергии для летательных аппаратов.- дисс. к.т.н., спец. 05.09.03. Новосибирск. НГТУ, 2014.
6. Лёвин А.В. Результаты разработки системы генерирования электрической энергии типа «переменная скорость-постоянная частота» на базе синхронных генераторов и инверторов напряжения/А.В. Лёвин, М.М. Юхнин, Э.Я. Лившиц. С.А. Харитонов, Н.И. Бородин, Д.В. Коробков, М.А. Маслов, А.С. Харитонов, А.Ю. Храмов, В.В. Машинский//Силовая интеллектуальная электроника, 2007-№1, с.17-21.
7. Генделевич А.М. Электрооборудование самолета М-101Т и его летная эксплуатация: учеб. пособие / А.М. Генделевич. – Ульяновск: УВАУГА, 2006. – 95 с.
8. Уткин В.И. Скользящие режимы в задачах оптимизации и управления. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 368 с.

СЕКЦИЯ 3
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

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

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТА В РОБОТОТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

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

Среди направлений практического применения систем искусственного интеллекта робототехнические комплексы (РТК), представляющие собой совокупность аппаратных и программных решений комплексной автоматизации, занимают одно из ведущих мест и широко используются в промышленности, медицине, авиации, военном деле и других областях. Однако это разнообразие областей применения порождает и разнообразие требований, которые предъявляются как к кинематике РТК, так и к алгоритмам обработки сенсорной информации об окружающей среде, важное место среди которой занимает визуальные данные. Разработка алгоритмов и способов их анализа с учетом специфических требований конкретной области применения представляют собой актуальную задачу.

Целью настоящего исследования являлась разработка способа определения расстояния до объекта на основе данных, поступающих от двух видеокамер и лидара (лазерного дальномера), установленных на РТК.

Проведенный обзор методов реализации технического зрения показал, что в настоящее время существует широкий спектр методов определения расстояния до объекта, таких как: метод на основе инвариантов для бинарных изображений, метод фазовой корреляции (использует свертку результатов преобразования Фурье для изображений с двух видеокамер), алгоритм Лукаса—Канаде [1]. Последний метод идентифицирует пары сопряженных точек в пространстве на основе стереокамер, а далее, с учетом параллакса движения, строится карта расстояний, на которой дистанция до цели маркируется оттенками серого — чем дальше, тем темнее. Однако для всех этих методов присущи недостатки, проявляющиеся в том, что методы, требующие мало временных и аппаратных ресурсов показывают низкую точность, а более точные методы весьма требовательны к ресурсам, что трудно реализуемо на мобильных робототехнических платформах.

Автором предложен способ обработки сенсорной информации для определения расстояния до объекта (цели), заключающийся двухэтапной процедуре:

– на первом этапе производится наведение лидара на объект за счет обработка данных, поступающих от двух видеокамер обеспечивающих бинокулярное «зрение» РТК;

– на втором этапе осуществляется точное измерение расстояния до объекта с помощью позиционированного лидара.

Проведенный обзор состояния исследований в области распознавания изображений показал, что наиболее успешно данная задача сейчас решатся на основе применения сверточных нейронных сетей (*convolutional neural network*, *CNN*) [2]. Их применению в РТК способствовал ряд факторов:

– значительное увеличение скорости проведения вычислительных операций современных компактных вычислительных систем;

– разработка и совершенствование алгоритмических решений в области топологии искусственных нейронных сетей, применяемых для распознавания визуальных объектов;

– использование алгоритмов предобучения нейронной сети, позволяющих сети уже в рабочих условиях быстро доучиваться на конкретных примерах из реальной обстановки, не тратя вычислительных ресурсов и времени на весь процесс обучения сети с нуля;

– разработка и появление в открытом доступе тензорных процессоров, адаптированных для применения нейросетевых алгоритмов при решении разных прикладных задач на мобильных платформах.

Источником данных для *CNN* в РТК являются две видеокамеры *PST WJ01*. В прототипе разрабатываемого программного обеспечения для определения расстояния на базе ноутбука реализуется кадрирование видеопотока от видеокамер, *CNN* и интерпретатор результатов. Передача данных с видеокамеры осуществляется по каналу *Wi-Fi* (в видеокамеру встроен модуль *Wi-Fi* 2,4 ГГц, 802.11/*b*/*g*/*n*). Структурная схема решения по применению технического зрения в представляемом способе отражена на рисунке 1. Предложенная реализация технического зрения использует видеокамеры каналов №1 и №2, нацеленные на визуальные сцены под углами α1 и α1, обеспечивая бинокулярное зрение.

Учитывая, что с видеокамер поступает поток кадров с частотой 15 к/с, что является избыточным для многих практических задач, в том числе распознавания обстановки при позиционировании лидара, алгоритмически был введен параметр Δt, управляющий дискретизацией видеоптока, а следовательно, объемом обрабатываемой информации. Получаемые после раскадровки изображения преобразуются в формат *RGB*, в результате получаем три цветовых канала изображения каждой сцены, которые обрабатываются «трехканальной» *CNN*.

После сегментации изображений в каждом канале осуществляется их распознавание с помощью *CNN*. Выходные слои *CNN* имеют функцию активации *softmax layer* и возвращают массив размера $CL \times 1$, где CL – количество классов, с оценками вероятностей (в сумме дающих 1) принадлежности объектов на изображении к тому или иному классу. После выделения изображения цели эти изображения поступает на дифференциатор, в котором рассчитывается их разность.

В программной реализации была применена модульная библиотека *Detectron*2 для обнаружения объектов на основе *PyTorch* от компании *Facebook*. За основу построения распознавателя была взята модель *Mask R-CNN*. В

*Detectron*2 для обучения применяются заранее размеченные данные, объем которых, с учетом применения процедуры аугментации, достигает нескольких десятков тысяч.

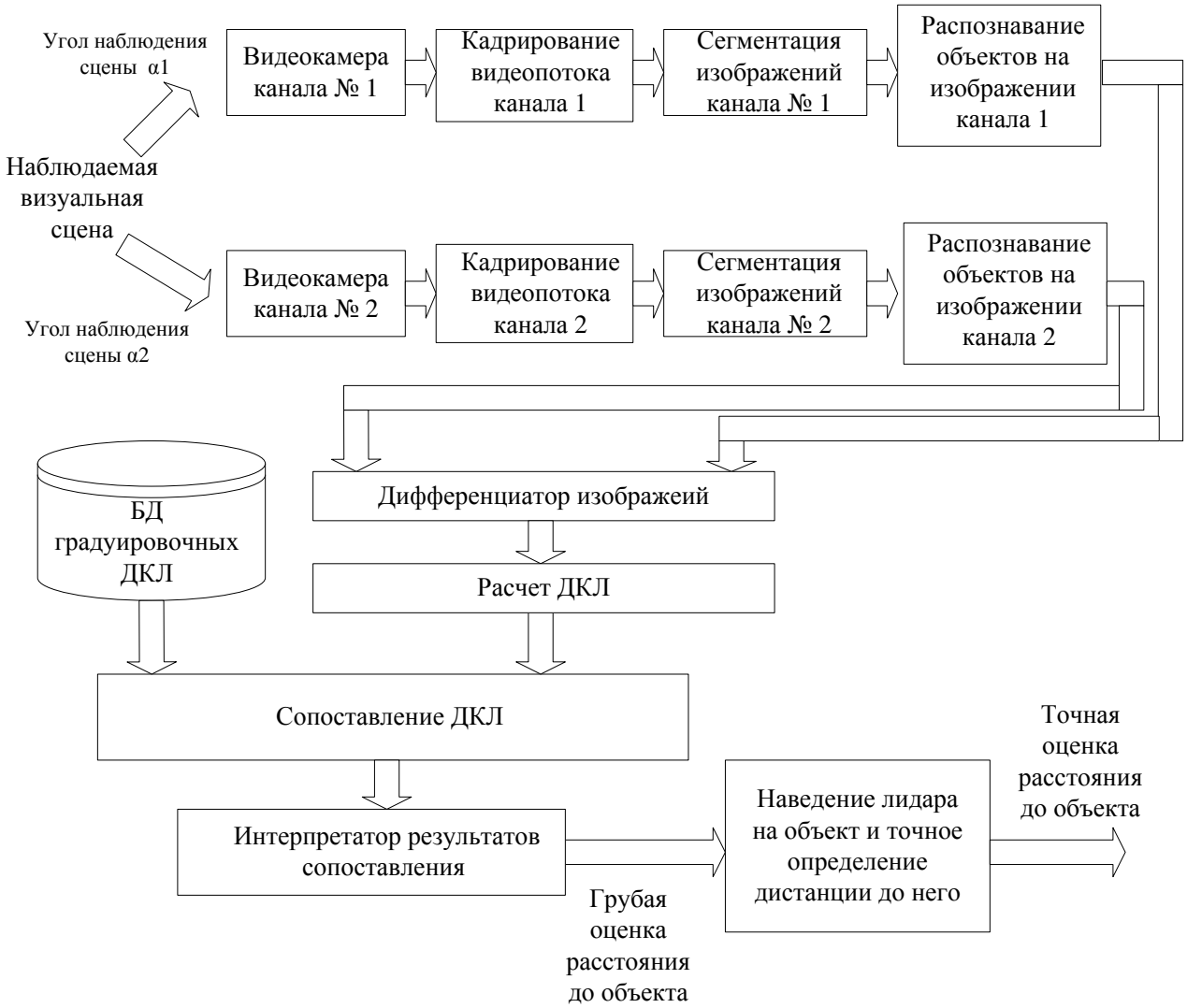


Рисунок 1 – Структурная схема реализации технического зрения

При распознавании модель *Mask R-CNN* осуществляет выделение прямоугольных областей с кандидатами на классификацию, затем проводится распознавание выделенных объектов. Если объекты не представлены в базе размеченных выборок, то вначале проводится разметка новых наборов данных, в которых присутствует указанный класс объектов и добавление их в репозитарий.

Выходы полносвязных слоев *CNN* подаются на интерпретатор результатов, осуществляющий анализ динамики сцены. Полносвязные выходные слои *CNN* формируют элементы векторов $V(j|i,k)$, которые принимают значения в диапазоне значений от 0 до 1, что отражает степень уверенности i-й канальной *CNN*, $i=1,2,3$ в принадлежности объекта к тому или иному классу j в момент $t(k)= k\Delta t$, где k – порядковый номер отсчета времени. Весь промежуток времени, в течение которого осуществляется рабочий сеанс РТК, разбиваться на фрагменты длительностью $\Delta T= K\Delta t$, где K – заданное количество интервалов Δt. Выбор

величины ΔT определяется требованиями теоремы Котельникова-Шеннона для анализируемого объекта. Пусть $T(\zeta)= \zeta\Delta T,\ \zeta =1, 2, ..., \psi$, где ψ – число фрагментов длительностью ΔT. Тогда можно построить матрицу результатов классификации для i-го канала $MV(i|\zeta)=\{V(j|i,k)\}$, где элемент $V(j|i,k)$ означает j-й выход *CNN* входного каскада i-го информационного канала в k-й отсчет времени $k\Delta t$.

Анализируя матрицу *MV* можно оценить уверенность *CNN* в результатах классификации при прохождении сеансом работы РТК интервала ΔT под номером ζ. Объединение канальных матриц *MV* образует тензор *MS,* аналог матрицы *MV*, но содержащий уже большее количество элементов в соответствии с числом информационных каналов и классов объектов на изображении в рабочей зоне РТК. На основе этих матриц делается суждение о динамике визуальной сцены в рабочей зоне РТК. С этой целью формируется тензор $DV(\xi)$ ранга три, включающий в себя элементы, вычисляемые как отношения приращений элементов матрица *MS* к интервалу дискретизации Δt. Тепловая карта тензора $DV(\xi)$ интерпретируется как изображение, которое также обрабатывается *CNN*. По аналогии с производными, физический смысл которых есть скорость изменения параметра, элементы среза $DV(\xi)$ характеризуют флуктуации уверенности *CNN* в принадлежности объекта к тому или иному классу.

Обозначим изображение, получаемое по каналу №1 $J1$, а по каналу №2 – $J2$. Очевидно, что попиксельное сравнение $J1$и $J2$ покажет разницу этих изображений. Это сравнение осуществляется в блоке «дифференциатор изображений», на выходе которого формируется разностная норма: $dif_J = ||J1–J2||$. Величина dif_J рассчитывается как дивергенция Кульбака-Лейблера (ДКЛ) относительно темного фона. На основе dif_J проводится заполнение градуировочной базы данных, содержащей углы позиционирования лидара. Информация из нее используется в дальнейшем в рабочих условиях функционирования РТК для позиционирования манипулятора, наведения на цель и других задач для кинематики РТК.

При создании и обучении сверточной сети использовалась открытая высокоуровневая нейросетевая библиотека *Keras* (надстройка над фреймворком машинного обучения *TensorFlow*). Аппаратное обеспечение, на котором запускалась программа, представлено ноутбуком *ASUS TUF Gaming FX*705*DT-AU*039, *CPU AMD Ryzen* 7 3750*H*, 2.3ГГц. Данные ноутбук оснащен видеокартой *NVIDIA GeForce GTX* 1650 4G, содержащей 1024 ядра *CUDA*, что позволило оптимизировать процесс обучения нейросетевой модели, ускорив его примерно в 10 раз.

В модельном эксперименте были проведены замеры расстояния до прямоугольного бруска размера 400×15×15 мм на дистанциях от 1 до 10 метров с шагом один метр при расположении бруска по центру и в четырех углах зоны захвата изображения. На текущем этапе исследований наведение лидара осуществлялось вручную, на основе результатов программы обработки стереоизображения канальными *CNN*. Во всех рабочих запусках программа выдавала вертикальные и горизонтальные углы позиционирования лидара, обеспечивающие попадание его луча на поверхность бруска. Очевидно, что в данном слу-

чае, погрешность определения расстояния зависит от точности самого лидара и от точки позиционирования луча лидара на объекте.

Предложенный способ определения расстояния до объекта на основе комбинированного применения видеокамер и лидара отличается высокой точностью (определяемой точностью лидара) и может найти применение в различных системах, требующих повышенной точности определения расстояния до объектов на основе обработки видеоданных.

Литература

1 Colyer, S.L., Evans, M., Cosker, D.P. et al. A Review of the Evolution of Vision-Based Motion Analysis and the Integration of Advanced Computer Vision Methods Towards Developing a Markerless System. Sports Med - Open 4, 24 (2018). https://doi.org/10.1186/s40798-018-0139-y

2 Дли М.И., Пучков А.Ю., Лобанева Е.И. Василькова М.А. Выбор архитектуры глубоких нейронных сетей для отслеживания динамики состояния объекта // 17-я Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. КИИ-2019. Сборник научных трудов. В 2 т. – Ульяновск: УлГТУ, 2019. Т.2, с. 90–102.

М.А. Василькова, студ.; рук. Ю.И. Пучков, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ» в г. Смоленске)

ДЕКОДИРОВАНИЕ БЧХ – КОДА, ИСПРАВЛЯЮЩЕГО ДВОЙНЫЕ И ТРОЙНЫЕ ОШИБКИ, МЕТОДОМ ПЕРЕБОРА

Декодирование БЧХ кодов алгебраическим методом основано на использовании понятий полей Галуа и корней неприводимых многочленов. Декодирование сводиться к составлению системы нелинейных уравнений, которую можно решить простым перебором возможных вариантов ошибок. При большой длине кода и большой кратности исправляемых ошибок таких вариантов становиться слишком много, и этот метод практически не применятся. Предлагается усовершенствовать метод перебора и тем самым упростить процесс декодирования для кодов исправляющих двойные и тройные ошибки.

БЧХ – коды позволяют исправлять большое количество ошибок, вплоть до половины длины кода [1]. Правда, в этом крайнем случае число информационных разрядов может сократиться до одного. Чем больше кратность исправляемых ошибок, тем меньше в коде число информационных разрядов и технически сложнее реализовать алгоритм его декодирования. Поэтому чаще применяют коды с небольшой корректирующей способностью. Декодирование кодов, исправляющих одиночные ошибки, осуществляется технически просто, и главное – для исправления ошибки требуется всего один такт машинного времени. Но уже декодирование кодов, исправляющих двойные ошибки оказывается технически значительно сложнее и на его осуществление требуется много временных тактов.

Среди кодов, исправляющих двукратные ошибки, следует выделить циклический код (15,7). Длина его n=15, число информационных разрядов k=7, число проверочных разрядов m=8. При декодировании кодовой комбинации $f(x)$ её делят на образующий многочлен $g(x)$ кода, и вычисляют остаток от деления. Каждой комбинации ошибок соответствует свой опознаватель, что и позволяет исправлять ошибки. Но если ошибки поражают только проверочные разряды

кода, то остаток будет совпадать с местами ошибок в кодовой комбинации в этом случае для декодирования достаточно сложить этот остаток с кодовой комбинацией и ошибки будут исправлены. В каком бы разряде кодовой комбинации не происходило искажения (число искажений равно 2), циклическим сдвигом кодовой комбинации можно обеспечить, что они окажутся на местах проверочных разрядов. В таком случае ошибка может быть исправлена и в результате обратных сдвигов возвращена в исходное состояние. Но она уже не будет содержать ошибок [2]. Другие БЧХ – коды, исправляющие двукратные ошибки, имеют $m<k$ и поэтому не допускают такого декодирования. Алгебраическое декодирование БЧХ – кодов осуществляется с использованием полей Галуа (GF), количество элементов которого равно 2^m, где m – степень неприводимого многочлена [3]. В этом поле математические операции выполняются по модулю $n = 2^m - 1$. Так при m=4 число элементов поля равно 15. Неприводимый многочлен с коэффициентами из двоичного поля не имеет в нём корней, но имеет корни в его расширении, являющимся полем Галуа. Среди корней имеется особый корень α, называемый примитивным. Его особенность заключается в том, что, возводя его последовательно возрастающую степень, получают все элементы поля. Если элемент поля является корнем неприводимого многочлена, то и его квадрат также будет его корнем. Корни многочленов образуют циклотомические классы. В двоичном поле двучлен вида X^n–1 раскладывается на неприводимые многочлены. Например, двучлен $X^{15}-1=(X^4+X^3+X^2+X+1)(X^4+X^3+1)*\ *(X^4+X+1)(X^2+X+1)(X+1)$, как видим, раскладывается на пять неприводимых многочленов. Каждый из них имеет число корней, равное его максимальной степени. Корни этих неприводимых многочленов образуют циклтомические классы: $\alpha, \alpha^2, \alpha^4, \alpha^8$; $\alpha^3, \alpha^6, \alpha^{12}, \alpha^9$; α^5, α^{10}; $\alpha^7, \alpha^{14}, \alpha^{13}\ \alpha^{11}$; α^0.

Любая кодовая комбинация $f(x)$ БЧХ – кода обращается в ноль подстановкой в неё вместо x корня образующего многочлена. У кодов, исправляющих двукратные ошибки, образующий многочлен представляет собой произведение двух неприводимых многочленов, первые корни которых - α и α^3. Образующий многочлен кода, исправляющего тройные ошибки, состоит уже из трёх многочленов (добавляется неприводимый многочлен с корнем α^5). В канале связи на передаваемую кодовую комбинацию накладывается помеха $e(x)$, и, принятая из канала связи комбинация, имеет вид $y(x) = f(x) + e(x)$. Если в $y(x)$ вместо x подставить корень образующего многочлена кода, то результат станет отличным от нуля лишь в случае присутствия отличного от нуля вектора ошибки.

На примере БЧХ - кода $G(15,7)$ рассмотрим случай двойной ошибки в $y(x)$ Двойная ошибка поразит i-ый и j-ый разряда. Подставим в $y(x)$ вместо x вначале корень α, а затем корень α^3 – корень второго неприводимого многочлена (код исправляет двойные ошибки и его образующий многочлен представляет собой произведение двух неприводимых многочленов). Получим систему из двух уравнений, называемых локаторами ошибок:

$\alpha^i + \alpha^j = S1$,

$(\alpha^3)^i + (\alpha^3)^j = S2$.

Решая эту систему, найдём искажённые помехой i и j разряды кода, и, следовательно, исправим, поменяв на противоположные. Но эта система нелинейная и простых способов её решения нет. Классические методы декодирования БЧХ – кодов, исправляющих ошибки, реализуются технически сложно, поэтому предлагаются другие варианты их построения [4]. Эту систему можно решить методом подстановок (перебором пар α^i и α^j). Но такой метод в общем случае является не эффективным из–за большого числа подобных пар. Решить эту систему можно методом выражения одной переменной, например α^i, из первого уравнения и подстановкой её во второе. В результате получают уравнение $(\alpha^j)^2 + S1\alpha^j + (S1)^2 + S2/S1 = 0$. Многочлен, стоящий в левой части этого равенства, называемый многочленом локаторов ошибок. Приведённое равенство также решается методом подстановки, уже только одного элемента поля. Но для каждого элемента надо решать это квадратное уравнение в арифметике полей Галуа, что суще6ственно увеличивает время нахождения решения приведённой системы из двух уравнений.

Применим метод перебора для решения системы уравнений, но не всех пар, а лишь тех, которые могут претендовать на решение, что существенно сократит количество перебираемых пар. Рассмотрим это на примере поля Галуа $GF(2^4)$ для многочлена $g(x) = x^4 + x^3 + 1$. Это поле представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Элементы поля многочленов и их двоичные эквиваленты

Элемент	Многочлен	Двоичное представление
α^{∞}	0000	0000
α^{0}	1	1000
α^{1}	α	0100
α^{2}	α^2	0010
α^{3}	α^3	0001
α^{4}	$\alpha^3 + 1$	1001
α^{5}	$\alpha^4 + \alpha = \alpha + 1$	1101
α^{6}	$\alpha^5 + \alpha^2 = \alpha^3 + \alpha^2 + \alpha + 1$	1111
α^{7}	$\alpha^2 + \alpha + 1$	1110
α^{8}	$\alpha^3 + \alpha^2 + \alpha$	0111
α^{9}	$\alpha^2 + \alpha$	1010
α^{10}	$\alpha^3 + \alpha$	0101
α^{11}	$\alpha^3 + \alpha^2 + 1$	1011
α^{12}	$\alpha + 1$	1100
α^{13}	$\alpha^2 + \alpha$	0110
α^{14}	$\alpha^3 + \alpha^2$	0011

Нулевой элемент поля принято обозначать как α^{∞} – 0000. Начиная с $\alpha^{15}=1$ и дальше цикл повторяется. Заметим, что кодовый n–разрядный (компонентный) вектор $C = (c_0, c_1, \ldots c_{n-1})$ имеет номера разрядов, совпадающих с показателем степени примитивного элемента из таблицы 1.

Возьмём первое уравнение $\alpha^i + \alpha^j = S1$ из выше приведенной системы и запишем его в виде $\alpha^i = S1 - \alpha^j$. Обратим внимание, что в таком виде это уравнение справедливо не для любых всевозможных пар α^j, α^i. Найдём эти пары. В поле Галуа сложение его элементов осуществляется суммированием его дво-

ичных эквивалентов по модулю 2. В этом случае операция вычитания заменяется операцией суммирования, и поэтому запишем $\alpha^i = S1 + \alpha^j$. При конкретной паре ошибочных элементов значение $S1$также будет конкретным и определённым элементом поля. Например, при ошибке в 5-ом и 11-ом разрядах кода, получим $\alpha^5 + \alpha^{11} = 1101 + 1011 = 0110 = \alpha^{13}$, то есть $S1 = \alpha^{13}$. Аналогично, из второго уравнения системы находим $S2 = 1001 = \alpha^4$. найдём все пары элементов, удовлетворяющих условию $\alpha^i = \alpha^{13} + \alpha^j$. Вместо α^j станем поочерёдно подставлять все по порядку элементы поля $GF(2^4)$, и получим соответствующие значения элементов α^i.

Целесообразно подстановку начать с первого элемента поля $\alpha^i = \alpha^{13} + \alpha^0 =$ 1101+1000=0101=α^{10}. В результате получаем первую пару α^0, α^{10}. Аналогично получим все остальные пары. Каждому элементу α^i соответствует только один элемент α^j. Учтём, что пара, например, α^0, α^{10} и α^{10}, α^0 это одна и та же пара. Всего различных пар для рассматриваемого 15-разрядного кода будет 7. То есть в общем случае число пар равно (n–1)/2, учтено, что оптимальная длина кода всегда нечётная.

Оставшаяся 13 позиция кода не будет иметь пары. Это может означать, что в коде имеется только одиночная ошибка, и находиться она на 13 позиции. Чтобы удостовериться в этом, необходимо найти $(\alpha^{13})^3$. Если выполниться условие $(\alpha^{13})^3 = S2$, то ошибка именно одиночная и находиться на 13 позиции. Её можно исправить. Если бы одиночная ошибка была не другой позиции, то другими были бы $S1$ и $S2$.Если ошибка окажется не одиночной, то оставшийся без пары элемент не будет поражён ошибкой.

Пару двойных ошибок находят поочерёдной подстановкой найденных пар во второе уравнение $(\alpha^3)^i + (\alpha^3)^j = S2$, которое целесообразно записать в виде Уравнение $\alpha^{i3} + \alpha^{j3} = S2$ будет справедливым только для одной пары, соответствующей искаженным ошибкой разрядам кода. Для рассматриваемого примера эта пара будет соответствовать 5 и 11 разрядам кода.

В n-разрядном коде число h всевозможных пар определяется числом сочетаний из n по 2, которое обозначим как $C(n,2)$, $h = C(n,2) = n(n–1)/2$. Из них в рассмотренном методе используем только $(n–1)/2$ пар. Выигрыш p в числе пар определим отношением числа всевозможных пар кода к числу учитываемых пар $p = (n(n–1)/2) / (n/2) = n–1$. Видим, что перебор существенно сокращён. Чем больше длина кода, тем больше будет выигрыш. Так, для рассматриваемого 15-ти разрядного кода $p = 14$.

Вероятности $P1$ и $P2$ того, что в принятой n-разрядной кодовой последовательности неправильно принят только один или только два символа, соответственно, определяются как $P1= P(1 – P)^{n-1}$; и $P2= P^2(1 – P)^{n-2}$, где P – вероятность неправильного приёма одного символа кода. Учтено, что искажения символов кода происходят независимо, поэтом $P1$ и $P2$ определяются как произведение вероятностей приёма всех импульсов кода. Обычно системы приёма символа кода строятся так, чтобы $P = 10^{-3}$ или 10^{-4} или 10^{-5}. При этих значениях P величина $(1–P)$ в практически любой степени примерно равна единице. При указанных условиях можно записать $P1\approx P$, $P2\approx P^2$, то есть $P2$ на несколько

порядков меньше $P1$. Иначе, вероятность возникновения одиночной ошибки в принятой кодовой комбинации на несколько порядков больше вероятности возникновения в ней двойной ошибки.

Это можно трактовать и следующим образом. Если применять код, исправляющий одиночные ошибки, то вероятность ошибочного приёма в такой системе будет равна примерно P^2, а для кода исправляющего двойные ошибки – P^3. Учтено, что вероятность наличия большего числа ошибок в рассматриваемой комбинации кода пренебрежимо мала.

Процесс декодирования БЧХ–кода, позволяющего исправлять двойные ошибки, следует начинать, после нахождения системы локаторов ошибок, и предположения о наличии одиночной ошибки. Чаще всего ошибка будет именно одиночной и её следует исправить. Если ошибка не одиночная, а двойная, то необходимо начать нахождение «подходящих» пар элементов и каждую найденную пару проверять на её соответствие второму уравнению локаторов ошибок. Чаще всего при таком подходе отпадёт необходимость находить все возможные пары, что ускорит процесс декодирования. Видим, что предложенный метод перебора, проще, чем находить решение квадратного уравнения для всех элементов кода, необходимое для нахождения решения системы локаторов ошибок.

Рассмотрим применение метода для кода (15,5), исправляющего трёхкратные ошибки. Получим систему локаторов ошибок

$\alpha^i + \alpha^j + \alpha^k = S1$,

$(\alpha^3)^i + (\alpha^3)^j + (\alpha^3)^k = S2$,

$(\alpha^5)^i + (\alpha^5)^j + (\alpha^5)^k = S3$.

Решение системы следует начать с предположения о наличии только одиночной ошибки в элементе $\alpha^x = S1$. Если $S2 = (\alpha^x)^3$, то ошибка одиночная в x- том разряде. Далее делаем предположение о наличии только двойной ошибки. В этом случае решаем систему из первых двух уравнений, исключив из них слагаемые с α^k и $(\alpha^3)^k$. После нахождения искажённых i,j - разрядов, вычисляем сумму $(\alpha^i)^5 + (\alpha^j)^5$. Если она окажется равной $S3$, то ошибка двойная в найденных разрядах, если не равной $S3$, то это будет означать наличие в принятом кодовом слове тройной ошибки.

В этом случае, введя обозначение $\alpha^b = \alpha^i + \alpha^j$, из первого уравнения системы находим $\alpha^b = S1 + \alpha^k$, изменяя k от 0 до n–1. Получим возможные пары (α^b, α^k). Таких различных пар будет $(n–1)/2$. Остальные пары получаются простой заменой индексов найденных пар. После этого для каждой найденной пары поочерёдно находим элементов α^i, α^j. Их, вместе с образующим элементом α^k соответствующей пары, подставляем в третье уравнение. Те три элемента, которые удовлетворяют третьему уравнению, и будут указывать на искажённые разряды кодов. Использование рассмотренного метода перебора для решения систем 2-го и 3-го порядков локаторов ошибок позволяет существенно упростить построение декодирующего устройства этих кодов, что позволит расширить их области применения.

Литература
1. Mytsko E., Malchukov A., Ryzova S., Zoev I., Kim V. Fast decoder of BCH code (15, 7, 5) structure development based on cyclic decoding method. Prikladnaya informatika -Journal of Applied Informatics, 2017, vol. 12, no. 2 (68), pp. 72–78 (in Russian)
2. Разработка структуры быстродействующего декодера бчх-кода (15, 7, 5) на основе метода циклического декодирования Мыцко Е.А., Мальчуков А.Н., Рыжова С.Е., Зоев И.В., Ким В.Л.
Прикладная информатика. 2017. Т. 12. № 2 (68). С. 72–78. https://elibrary.ru/item.asp?id=29155306
3. Кудряшов Б.Д. Основы теории кодирования: учеб. для вузов /Б.Д.Кудряшов – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 400 с.
4. Реализация комбинированного метода декодирования на примере декодера полиномиального кода (17,9) Рыжова С.Е., Мыцко Е.А. Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. 2018. Т. 1. № 3. С. 180–183. https://elibrary.ru/keyword_items.asp?id=16139063

А.В. Гуляев, маг.; рук. С.П. Курилин, д.т.н., проф.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ НА УРАВНЕНИЯХ КОЛМОГОРОВА

Повысить эффективность парка электрооборудования можно, использовав определенную стратегию. Для того, чтобы эта стратегия была технически обоснованной, необходимо знать показатели надежности электродвигателей.

Множества электродвигателей имеют определенные статистические интенсивности отказов и ремонтов. На основе этих интенсивностей создаются математические модели и проводятся исследования эксплуатационной надежности электродвигателей в целом и их отдельных узлов. Вместе с тем, подобный подход к оценке надежности имеет ряд недостатков:

- во-первых, он характеризует некоторое множество электродвигателей, а не конкретных его представителей;
- во-вторых, он не фиксирует текущее эксплуатационное состояние данного множества;
- в-третьих, он не решает прогнозную задачу эксплуатации.

По этим причинам статистический подход к оценке надежности не позволяет разрабатывать и осуществлять стратегии эффективной эксплуатации электрооборудования.

Метод моделирования показателей надежности, основанный на уравнениях Колмогорова, также использует статистические данные определенного характерного множества, но он позволяет затронуть вопросы прогнозной эксплуатации электродвигателя. Уравнения Колмогорова [1] применяются в таких системах, в которых существует два потока случайных событий. На асинхронный электрический двигатель (АД) можно посмотреть, как на электромеханическую систему, в эксплуатации которой существуют два пуассоновских потока случайных событий. Под первым потоком случайных событий понимается поток отказов основных узлов электродвигателя. Под вторым потоком случайных событий понимается поток ремонтов узлов электродвигателя. Так как АД имеет два потока случайных событий, при оценке его надежности можно опереться на уравнения Колмогорова. Их использование имеет то преимущество, что статистика по отдельным узлам АД известна. Так, относительная частота отказов узлов опубликована в справочной литературе [2], а относительная частота ре-

монтов узлов выбирается техническим менеджментом эксплуатирующего предприятия.

Обычное применение уравнений Колмогорова к системы массового обслуживания дает результат в виде вероятностного множества состояний системы, одно из которых вероятность безотказной работы. При этом множество текущих вероятностей выражает баланс между потоком отказов и потоком ремонтов. Когда мощность обоих потоков равна, система перестает двигаться. Коэффициенты уравнений, определяющих интенсивность отказов и ремонтов, играют роль параметров, которые ускоряют или замедляют процесс приближения предельного состояния. Для систем с эксплуатационным старением, в том числе АД, достижение баланса практически невозможно из-за постоянного изменения технических характеристик объектов. Для них остановку движения можно интерпретировать единственным образом - как достижение предельного состояния и вывод АД из эксплуатации.

Асинхронный электродвигатель можно представить, как систему, состоящую из трех узлов: обмотка статора, подшипниковые узлы и обмотка ротора. Состояния системы представлены на рисунке 1. Здесь: S0 - состояния без отказов, S1 - с отказом обмотка статора, S2 при выходе из строя подшипников и S3 - выходе из строя обмотки ротора. $\lambda_{01}, \lambda_{02}, \lambda_{03}$ – интенсивность отказов соответствующих узлов, $\mu_{10}, \mu_{20}, \mu_{30}$ - темпы ремонта соответствующих узлов.

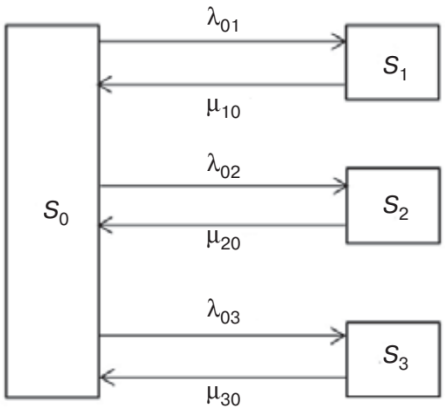


Рисунок 1 – Граф электромеханической системы

Уравнения Колмогорова, записанные на основе графа на рис. 1 для вероятностей p0 (t), p1 (t), p2 (t) и p3 (t) соответствующих состояний системы приведены ниже.

$$\frac{dp_0(t)}{dt} = -(\lambda_{01} + \lambda_{02} + \lambda_{03}) \cdot p_0(t) + \mu_{10} \cdot p_1(t) + \mu_{20} \cdot p_2(t) + \mu_{30} \cdot p_3(t)$$

$$\frac{dp_1(t)}{dt} = \lambda_{01} \cdot p_1(t) + \mu_{10} \cdot p_1(t)$$

$$\frac{dp_2(t)}{dt} = \lambda_{02} \cdot p_2(t) + \mu_{20} \cdot p_2(t)$$

$$\frac{dp_3(t)}{dt} = \lambda_{03} \cdot p_3(t) + \mu_{30} \cdot p_3(t)$$

На начальный момент эксплуатации вероятности событий равны:

$p_0(0) = 1 \;\; p_1(0) = 0 \;\; p_2(0) = 0 \;\; p_3(0) = 0$

Среднестатистические значения интенсивностей отказов узлов в 1 час равны:

$\lambda_{01} = 0.5 \cdot 10^{-4} \;\; \lambda_{02} = 0.71 \cdot 10^{-4} \;\; \lambda_{03} = 0.103 \cdot 10^{-4}$

Среднестатистические значения частот ремонтов узлов в 1 час равны:

$\mu_{10} = 10 \cdot 10^{-4} \;\; \mu_{20} = 20 \cdot 10^{-4} \;\; \mu_{30} = 1 \cdot 10^{-4}$

Составим систему уравнений в Matchad 14 с двумя векторами. В одном векторе находятся начальные условия, когда вероятность безотказной работы была равна 1, а во втором векторе находятся правые части системы уравнений Колмогорова. Решение сформированных уравнений было получено в среде моделирования Matchad 14.

На рисунке 2 представлена зависимость вероятности безотказной работы АД от времени эксплуатации. Зависимость вероятности от времени близка к экспоненциальной функции и выходит на значение около 0,85 за 20000 часов эксплуатации.

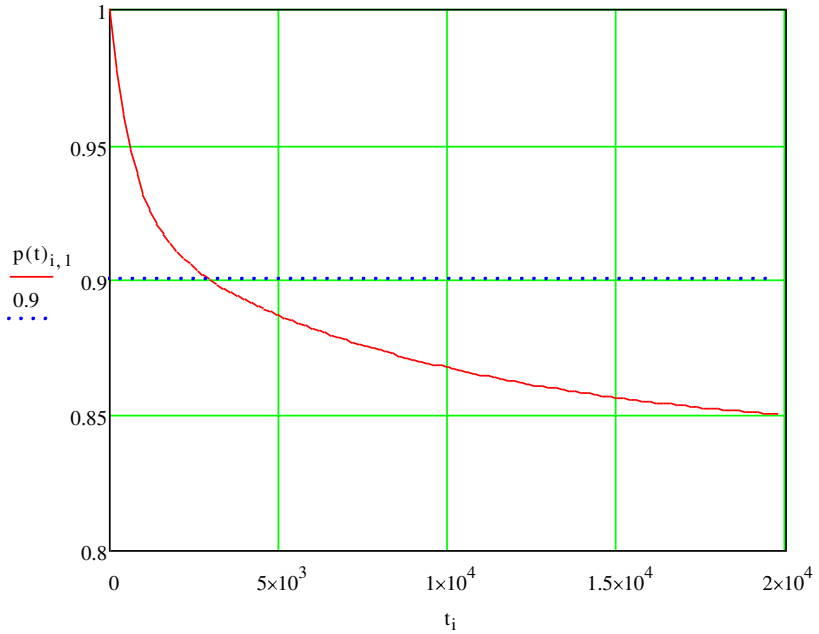


Рисунок 2 – Вероятность безотказной работы АД

Вероятность безотказной работы 0,9 за 10 тыс. часов эксплуатации считается нормальным значением для АД. График показывает, что если интенсивность ремонтов обмотки статора будет равна $\mu_{10} = 10 \cdot 10^{-4}$, подшипниковых узлов $\mu_{20} = 20 \cdot 10^{-4}$, а обмотки ротора $\mu_{30} = 1 \cdot 10^{-4}$, то вероятность безотказной работы опуститься ниже 0,9 приблизительно за 3000 часов эксплуатации.

Увеличим частоту ремонта каждого узла по-отдельности в два раза, до значений: $\mu_{10} = 20 \cdot 10^{-4}$ $\mu_{20} = 40 \cdot 10^{-4}$ $\mu_{30} = 2 \cdot 10^{-4}$

Вероятности безотказной работы каждого узла изменилась по-разному. Среди всех рассмотренных узлов наибольшее внимание следует уделять обмотке статора. При увеличении частоты ремонтов обмотки статора время эксплуатации, при котором вероятность безотказной работы дойдет до значения 0,9, возрастет в два раза с 3000 часов до 6000 часов.

Второй по значимости ремонтов узлов АД - это ремонт подшипниковых узлов. Время, при котором вероятность безотказной работы дойдет до значения 0,9, выросло приблизительно на 70% - до 5000 часов.

И третье - это частота ремонтов стержневой обмотки. Время, при котором, вероятность безотказной работы доходит до значения 0,9, увеличилось на 10%.

Вместе с тем, ремонт статорной обмотки – это очень затратное и сложное действие [3]. Не всегда замена обмотки может оправдать ожидания. А ремонт подшипникового узла гораздо проще в реализации и не такой дорогой. Поэтому с точки зрения практической реализации ремонт подшипниковых узлов следует поставить на первое место.

Выводы

1. Одним из новых способов моделирования надежности АД, реализующим прогнозную функцию эксплуатации электрооборудования, является метод основанный на использовании уравнений Колмогорова.

2. Асинхронная электрическая машина - это электромеханическая система, в которой встречаются два пуассоновских потока случайных событий. Первый поток случайных событий – это поток отказов основных узлов. Второй поток случайных событий – это поток ремонтов основных узлов некоторого статистического множества электродвигателей.

3. В данной работе граф представляет собой АД как систему, состоящую из трех узлов. обмотки статора, подшипниковых узлов и обмотки ротора.

4. Следует уделять наибольшее внимание ремонтам статорной обмотки. Второе по значению - это ремонты подшипниковых узлов и третье – это ремонты стержневых обмоток ротора.

Литература

- Кремер, Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика : учебник и практикум для вузов / Н. Ш. Кремер. — 5-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 538 с.
- Кацман М. М. Справочник по электрическим машинам: Учеб.пособие для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования / М. М. Кацман. — М.: Издательский центр «Академия», 2015. — 480 с.
- Копылов И. П. Проектирование электрических машин: Учеб.для вузов / И. П. Копылов, Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев // под ред. И. П. Копылова. — 3-еизд., испр. и доп. — М.: Высшая школа, 2010. — 757 с.: ил.

И.А. Иванова, маг.; рук. А.Ю. Пучков, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Электроэнергетика является одной из базовых отраслей российской экономики, обеспечивающей энергией внутренние потребности страны, а также осуществляющая ее экспорт за рубеж. Надежное функционирование и устойчивое развитие отрасли определяют энергетическую безопасность страны и являются значимыми факторами ее успешного экономического развития.

Электроэнергетическое оборудование составляет основу технологического процесса получения электроэнергии и от его бесперебойного функционирования во многом зависит как прибыль энергетических компаний, так и благополучие других промышленных социальных объектов. Поэтому задача повышения точности достоверности прогнозирования состояния электроэнергетического оборудования является актуальной, а результаты ее решения востребованы менеджментом компаний [1].

Новые возможности при решении задач прогнозирования состояния электроэнергетического оборудования возникают в результате внедрения Интернета вещей (*IoT, Internet of Things*) в системы сбора данных, что, в свою очередь, является проявлением наблюдаемой в настоящее время четвертой промышленной революции, обозначаемой обобщенным термином «Индустрия 4.0». Массовое применение *IoT* в информационном обеспечении современного производства привело к обособлению промышленного Интернета вещей (*IIoT, Industrial Internet of Things*), под которым понимается подсоединенные к Интернету оборудование и платформы расширенной аналитики. Такой подход к сбору и обработке данных от различных источников – от миниатюрных датчиков погоды до сложных промышленных роботов, обеспечивает оперативность поступления необходимой информации и значительное расширение каналов поступления данных. Это дает возможность применения новых методов и подходов к проведению аналитических исследований поступающей информации, которые, в свою очередь, способны обеспечить более точные оценки состояния различных промышленных систем и оборудования.

Целью проведенного исследования была разработка метода прогнозирования состояния электроэнергетического оборудования на основе данных, агрегируемых в электроэнергетической компании.

Автором предложен метод прогнозирования состояния электроэнергетического оборудования, в основе которого лежит применение глубоких рекуррентных нейронных сетей *LSTM* (*Long short-term memory*) для обработки данных, имеющихся в распоряжении электроэнергетической компании.

Использование *IIoT* дает возможность значительного расширения каналов сбора данных без каких-либо серьезных капиталовложений, чем и пользуются многие компании, в частности, широко внедряются устройства, которые непосредственно связываются с Интернет. Такая модернизация систем сбора ин-

формации приводит к формированию «больших данных» (*Big Data*), требующих специальных методов обработки, в частности глубоких нейронных сетей, к которым относятся и *LSTM*, способные извлекать скрытые шаблоны из данных в процессе обучения.

Применение рекуррентных нейронных сетей указанного вида обосновано их хорошей обобщающей способностью исторических данных и построению на этой основе качественных прогнозов для разных предметных областей, значительно превосходящих по точности известные статистические подходы и более простые архитектуры нейронных сетей [2].

Сеть *LSTM* применялась для решения задачи классификации состояния, которое применительно к электрооборудованию и в соответствии с Приказом Минэнерго РФ №676 определяется следующими значениями: «очень хорошее», «хорошее», «удовлетворительное», «неудовлетворительное», «аварийное» [3].

Метод прогнозирования состояния электроэнергетического оборудования заключается в выполнении нескольких этапов: получение актуальных данных от электроэнергетической организации; подготовка обучающих наборов данных; формирование архитектуры сети *LSTM*, задание гиперпараметров, относящихся как к архитектуре сети, так и к процедуре обучения сети; обучение сети и оценка его результатов; применение обученной нейронной сети для рабочих наборов данных.

При выборе программной среды реализации представленного метода был изучен отчет о развитии сфер машинного обучения и науки о данных за 2020 год, подготовленный Международной системой организации конкурсов по исследованию данных *Kaggle*. В соответствии с ним самой популярной средой разработки среди датасаентистов стал *Jupyter* (74% респондентов). На втором месте *Visual Studio Code* (43%), третье место делят *PyCharm*, и *RStudio* (по 30%). В десятку входит и *MatLAB* (6%), бессрочная лицензия на который была недавно приобретена Московским энергетическим институтом (техническим университетом) для проведения исследований и обеспечения учебного процесса. Кроме того, в отличие от других систем, указанных в отчете, *MatLAB* позволяет подготовить решения для различных платформ, используя удобные инструменты для развертывания приложений и алгоритмов. Все сказанное обусловило выбор среды разработки *MatLAB* 2020*b*.

При построении архитектуры *LSTM* были использованы инструменты *Deep Learning Toolbox*, входящие в состав *MatLAB* 2020*b*.

Для апробации метода прогнозирования был проведен модельный эксперимент – имитировалась обработка данных о состоянии оборудования с 13.12.2019 по 10.01.2020. Количество входных каналов в применяемой нейронной сети может быть различным и задается параметром *number_of_inputs* в процессе работы программы. На рис. 1 представлен состав применяемой *LSTM* при *number_of_inputs=10.*

ANALYSIS RESULT

	Name	Type	Activations	Learnables
1	sequence Sequence input with 10 dimensions	Sequence Input	10	-
2	lstm LSTM with 128 hidden units	LSTM	128	InputWeights 512×… RecurrentWe… 512×… Bias 512×1
3	fc 5 fully connected layer	Fully Connected	5	Weights 5×128 Bias 5×1
4	softmax softmax	Softmax	5	-
5	classoutput crossentropyex	Classification Output	-	-

Рисунок 1 – Состав применяемой сети *LSTM*

Сейчас во многих электроэнергетических компаниях поступающая информация заносится в таблицы *Excel*, поэтому, для применения предложенного метода, в его программной реализации предусмотрена загрузка данные из *Excel* в *MatLAB*.

В современных версиях *MatLab* существует удобный интерфейс, обеспечивающий эту связь. Импорт данных из электронных таблиц осуществляется нажатием кнопки *ImportData*на вкладке *HOME*, после чего выбирается нужный файл. Далее появляется интерактивный инструмент, в котором задается диапазон загружаемых значений. *MatLab* позволяет загрузить данные как колонку векторов, матрицу, массив ячеек или контейнер. Задав все необходимые параметры, останется нажать выпадающий список *ImportSelection* и выбрать *GenerateScript*. После всех проделанных манипуляций *MatLab* сгенерирует программный код для импорта данных из *MSExcel*.

Для оценки точности прогноза, полученного с помощью *LSTM*, было проведено его сравнение со встроенными в *Excel* методами прогнозирования: функция «Лист прогноза»; линия тренда; оператор ПРЕДСКАЗ; оператор ТЕНДЕНЦИЯ; оператор РОСТ; оператор ЛИНЕЙН; оператор ЛГРФПРИБЛ.

На рисунке 2 представлен фрагмент данных с результатами прогнозирования с помощью *LSTM* и *Excel* (использовалась функция «Лист прогноза»). Визуальный анализ результатов прогнозирования показывает, что с увеличением числа интервалов прогноза сеть *LSTM* ожидаемо и значительно превосходит по точности результаты, полученные с помощью функции «Лист прогноза».

В ряде организаций электроэнергетики контрольно-измерительная информация хранится в базах данных, но так как в *MatLab* предусмотрен набор инструментов для удобной работы с популярными форматами баз данных, в предложенном методе измениться лишь методика загрузки информации в *MatLab* и потребуется применение *SQL*-запросов для выбора данных.

В результате проведенных исследований разработан метод прогнозирования состояния электрооборудования на основе применения рекуррентных нейронных сетей, обладающий хорошей точностью прогноза и который может

быть применен в организациях различного профиля для прогнозирования состояния объектов на основе многоканальных входных данных.

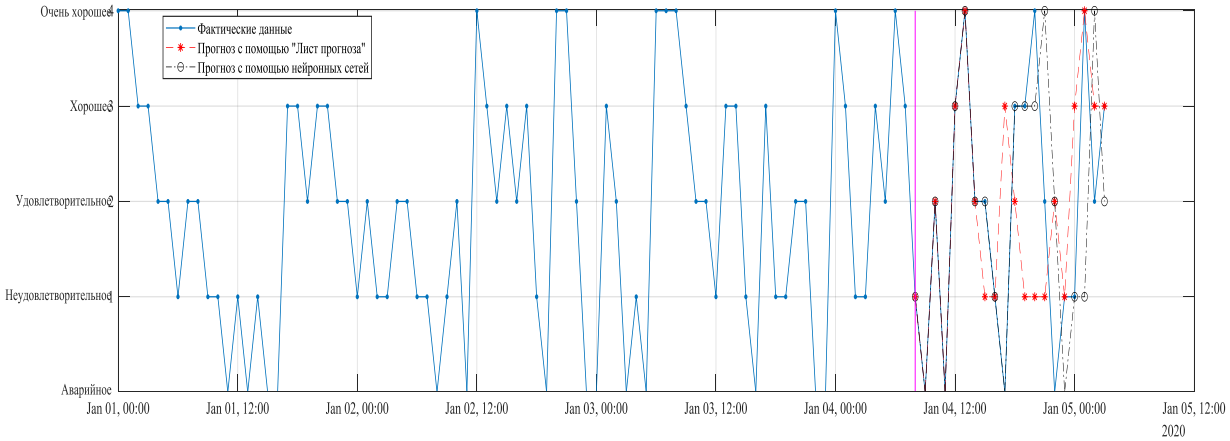


Рисунок 2 – Прогнозирование состояния электроэнергетического оборудования

Литература

1. Пучков А.Ю., Иванова И.А. 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 Межд. науч.-техн. конф. В 3 т. Т 1. 2020. С. 395-398.
2. Abdel-Nasser, M.; Mahmoud, K. Accurate photovoltaic power forecasting models using deep lstm-rnn. Neural Comput Appl 2019, 7, 2727–2740.
3. Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей (с изменениями на 17 марта 2020 года) [Электронный ресурс] : Приказ Минэнерго РФ от 26 июля 2017 года №676. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

М.В. Круглякова, студ.; рук. А.Ю. Пучков, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

НОВЫЕ СЕРВИСЫ В ОБЛАСТИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Системы искусственного интеллекта (ИИ) сейчас являются одним из главных трендов в развитии информатики во всем мире. Важность этого направления для успешного технологического развития страны подчеркивается в Указе Президента РФ от 10.10.2019 № 490 "О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации”, в котором отмечается необходимость подготовки квалифицированных кадров, способных разрабатывать и внедрять системы ИИ в различные производственные отрасли, медицину, сферу услуг, военные приложения и другие. В основе большинства современных систем ИИ лежат методы машинного обучения, в частности, аппарат глубоких нейронных сетей (ГНС), архитектуры которых постоянно совершенствуются [1]. Поэтому актуальной является задача выявления наиболее передовых и перспективных решений в области ИИ, в том числе новых программных платформ и инструментов, позволяющих эффективно создавать и внедрять системы ИИ в различные сферы жизни общества.

Известно множество прикладных решений на их основе: перевод текста и речи; распознавание изображений; генерация тестового описания по представленным изображениям; имитация стиля (как рисунков, так и текста); системы автопилотирования; различные виды диагностики в медицине и технике и многие другие. Широко применяются ГНС в системах управления сложными технологическими процессами, что позволяет проводить качественную оценку их состояния на основе выявления с помощью ГНС скрытых закономерностей в имеющихся данных, то есть, без необходимости построения аналитических зависимостей параметров таких процессов [2].

Существует множество программных пакетов для построения нейросетевых моделей, а также созданы библиотеки для работы с ГНС на таких языках программирования, как *C++*, *C#*, *Python*, *MatLAB*, *Java* и других. Но несмотря на многообразие подобных программ, их универсальность и широту применения для большинства прикладных задач возникают общие проблемы, такие как выбор подходящей архитектуры ГНС, подбор гиперпараметров сети (то есть параметров, определяемых пользователем до начала обучения сети), подготовка датасетов и другие. Все это приводит к тому, что постоянно появляются новые решения указанных проблем и не всегда разработчики успевают их отслеживать, применяя не эффективные на настоящий момент программные решения.

Целью данного исследования являлся анализ новых программных решений, появившихся в 2020 году, применение которых для разработки ГНС способно повысить эффективность разработки нейросетевых моделей.

Давно пользуется популярностью среди разработчиков ГНС программная библиотека для машинного обучения *TensorFlow*, созданная компанией *Google* и предоставленная в открытый доступ в 2015 году. Другой известной средой для машинного обучения стала *PyTorch*, используемая для решения таких задач, как обработка естественного языка, компьютерное зрение. Для упрощения работы с *TensorFlow* и создания ГНС часто применяется фреймворк *Keras*. Данная среда глубокого обучения легка в освоении и удобна в использовании. Кроме этого применяют и другие не менее популярные решения, такие, как *MXNet*, *XGBoost*, *Darknet*.

Несмотря на широкий спектр возможностей программных средств для реализации нейронных сетей, для них характерен ряд не решенных проблем:

– возникают проблемы при подготовке обучающего материала, в частности, необходимость проводить обучение при ограниченности набора тренировочных данных;

– большинство подходов к проектированию нейросетей не приводят к однозначному решению;

– для построения модели объекта требуется длительная настройка внутренних элементов и связей между ними,

– обучение нейронной сети требует большого количества времени.

Автором проведен обзор новых программных продуктов, появившихся в 2020 году в сфере разработки систем машинного обучения, в том числе ГНС,

представлен анализ их возможностей и способности решить некоторые из указанных проблем.

Для снижения влияния первой проблемы в 2020 году на ресурсе *Papers With Code* появился раздел, в котором можно найти обработанные наборы данных для различных прикладных задач. Осуществлять среди них поиск удобно с помощью таких критериев как: частота упоминаний, тип данных, поддерживаемый язык, сфера применения нейронной сети. Сам ресурс *Papers With Code* – это бесплатный и открытый сервис, который предоставляет пользователю различные проекты из сферы машинного обучения, подкрепленные кодом их реализации. Исследователь может также выложить там свои работы, внести изменения в существующие решения, поделиться знаниями о новинках в области машинного обучения. Кроме того, в этом сервисе присутствует библиотека с предварительно обученными моделями классификации изображений, которые можно использовать в своих проектах и дополнительно тренировать на собственных подборках данных.

Когда разработчик только приступает к созданию нейронной сети, ему приходится решать ряд задач, связанных с архитектурой будущей модели. Например, определить глубину и количество слоев в нейросети, которые наиболее точно подходят под цель и задачи проекта. Компанией *Google* в 2020 году была представлена платформа *Model Search*, которая реализует алгоритмы *AutoML* (*Auto Machine Learning*) для масштабного поиска архитектуры модели. Он направлен на то, чтобы помочь исследователям ускорить процесс конфигурации и написания кода, а также уменьшить количество затрачиваемых вычислительных ресурсов.

В настоящее время, благодаря потребностям в области навигации и в работе самоуправляемых автомобилей в реальном мире, возрастает необходимость более глубокого анализа 3*D*-данных и понимания трехмерной сцены. Поэтому ресурсы, способные решить данные задачи, постоянно находятся в процессе развития. Еще одна платформа, недавно представленная *Google* – *TensorFlow 3D*. Это высокомодульная и эффективная библиотека, которая упрощает создание, обучение и развертывание моделей обнаружения 3*D*-объектов, 3*D*-семантической сегментации и 3*D*-сегментации экземпляров.

Еще одной проблемой, с которой сталкиваются программисты, является сложности с переносом программы на разных этапах разработки в производственную среду. Пользователям трудно определять версию продукта, кода, конфигурации модели. Кроме того, возникают препятствия при воспроизведении экспериментов в разных средах разработки. Новый ресурс *ZenML* – это *MLOps* фреймворк, который упрощает перенос рабочих процессов машинного обучения в производственную среду. Он объединяет инструменты, которые способны решить вышеперечисленные проблемы в одной среде и показывает простой путь к запуску любой модели машинного обучения.

Интересным для разработчиков систем компьютерного зрения может стать современный проект *NeRViS*, предоставляющий новый алгоритм полнокадровой стабилизации видео. До этого существующие подходы имели такие недостатки

как сильное обрезание границ кадра или создание артефактов и искажений на видеоматериалах. Проект *NeRViS* предварительно оценивает плотные поля деформации и для синтеза полного стабилизированного кадра использует соседние кадры. Новшеством в этом направлении стало обучение нейросети на гибридном пространственном синтезе, который устраняет артефакты, вызванные неточностью оптического потока и быстро движущимися объектами. Результаты экспериментов демонстрируют преимущества такого подхода по сравнению с существующими методами.

Представленный обзор и анализ возможностей программных сервисов в области машинного обучения и ГНС, появившихся в 2020 году, показывает, что инструментарий ИИ постоянно совершенствуется, появляются решения, облегчающие процесс разработки и преодолевающие проблемы создания систем ИИ. Данная работа позволит сделать обоснованный выбор современных программных средств для создания приложений ИИ на основе современных подходов, что позволит избежать ненужных затрат на самостоятельное преодоление трудностей в разработке систем машинного обучения за счет применения уже существующих решений.

Литература

1. Khan, A., Sohail, A., Zahoora, U. et al. A survey of the recent architectures of deep convolutional neural networks. Artif Intell Rev 53, 5455–5516 (2020). https://doi.org/10.1007/s10462-020-09825-6
2. Пучков А.Ю., Дли М.И., Лобанева Е.И. Применение глубоких нейронных сетей в моделях сложных технологических объектов // Известия СПбГТИ, 2020. № 52(78). С. 104 – 110.
3. Василькова М.А. Выбор архитектуры рекуррентной нейронной сети для прогноза параметров технологического процесса // Информационные технологии, энергетика и экономика (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве). Сб трудов XVII-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 3 т. Т 1. – 2020. – 358 с. С. 279 – 283.

А.И. Лазарев, студ.; рук Е.И. Лобанева, асс.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АЛГОРИТМ ПРИКЛАДНОЙ ОБРАБОТКИ ПАТТЕРНОВ В НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ НА ПРОЦЕССОРАХ СЕМЕЙСТВА ARM

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

Существующее развитие искусственных нейронных сетей (ИНС) глубокого обучения на основе использования совокупности методов машинного обучения различных вариаций позволяет решать ряд задач аппроксимации, классификации, кластеризации данных, включая возможности оптимизации и взаимодействия с ассоциативной памятью. Наибольшее распространение с последующей коммерциализацией в сфере решения задач оптимизации и принятия решений занимают сети, именуемые как «обучение с учителем», предполагающие работу с обособленным набором входных данных и модификацией результата в случае наличия отклонений при сравнении с эталонной моделью [1]. Немаловажной функциональной особенностью работы ИНС можно выделить возможность ра-

боты с мультиплатформенными операционными системами, аппаратную основу которых могут составлять как десктопные, так и мобильные процессоры. Для решения задач с использованием мобильных процессоров существующие решения в большей степени базируются на программных библиотеках tensorflow, pytorch, keras [2]. Данное развитие решений в области мобильных процессоров позволяет выполнять обработку как текстовой, так и графической информации без необходимости в доступе к персональному компьютеру.

Основная проблема, выделяемая в данном случае – неэффективность процесса обучения нейронной сети для последующего обеспечения работы систем принятия решений. Рассматриваемая проблема возникает вследствие наличия ограниченных аппаратных ресурсов – повышение эффективности обучения нейросети осуществляется за счёт обработки ресурсов как на центральных процессорах, так и дискретных видеоадаптерах. Также важно учесть необходимость в использовании библиотек визуализации процесса обучения нейросети для оценки эффективности разрабатываемого алгоритма – существующие решения предполагают возможным использование встроенного пакетного комплекса для решения данной проблемы, однако ограниченная поддержка для устройств на базе процессора ARM не позволяет визуализировать процесс обучения в режиме реального времени.

Для решения рассматриваемых проблем был разработан алгоритм распределения ресурсов, основанный на генерации модели из паттернов на десктопных процессорах. Реализация данного алгоритма позволяет «на лету» использовать данные, получаемые в ходе работы нейросети на портативном устройстве с мобильным процессором.

В качестве устройства, осуществляющего обработку процесса ИНС используется одноплатный компьютер Raspberry Pi 4B, а в качестве сервера для обработки используется персональный компьютер с операционной системой Windows 10 и установленными пакетами ИНС в среде разработки Python [3]. Для взаимодействия с пользователем, представляемый код интерпретируется в среде Visual Studio с возможностью представления вывода в интерактивном виде на основе локального сервера Jupyter Notebook.

В качестве примера имплементации алгоритма был разработан проект обнаружения термических отклонений в различных аппаратных устройствах. Основу проекта составляет инфракрасная камера MLX90640 для захвата изображений и одноплатный компьютер Raspberry Pi, который осуществляет процесс захвата, обработки и принятия решений. Процесс обучения нейронной сети осуществляется на устройстве с процессором x86-64, при этом для оптимизации доставки паттернов и выходной обученной модели используются прикладные пакеты протокола ftp (рисунок 1).

Как можно увидеть на рисунке 1, алгоритм работы рассматриваемого проекта сводится к реализации системы с несколькими независимыми модулями. На первом этапе осуществляется захват изображений (паттернов) в разных временных интервалах для составления эталонной модели (рисунок 2). Затем выполняется передача паттернов на устройство-сервер, где выполняется обучение

нейронной сети с целью генерации модели. После данного шага выполняется реверсивная передача модели на устройство-клиент, где выполняется последующее сравнение эталонной модели с захватываемыми паттернами.

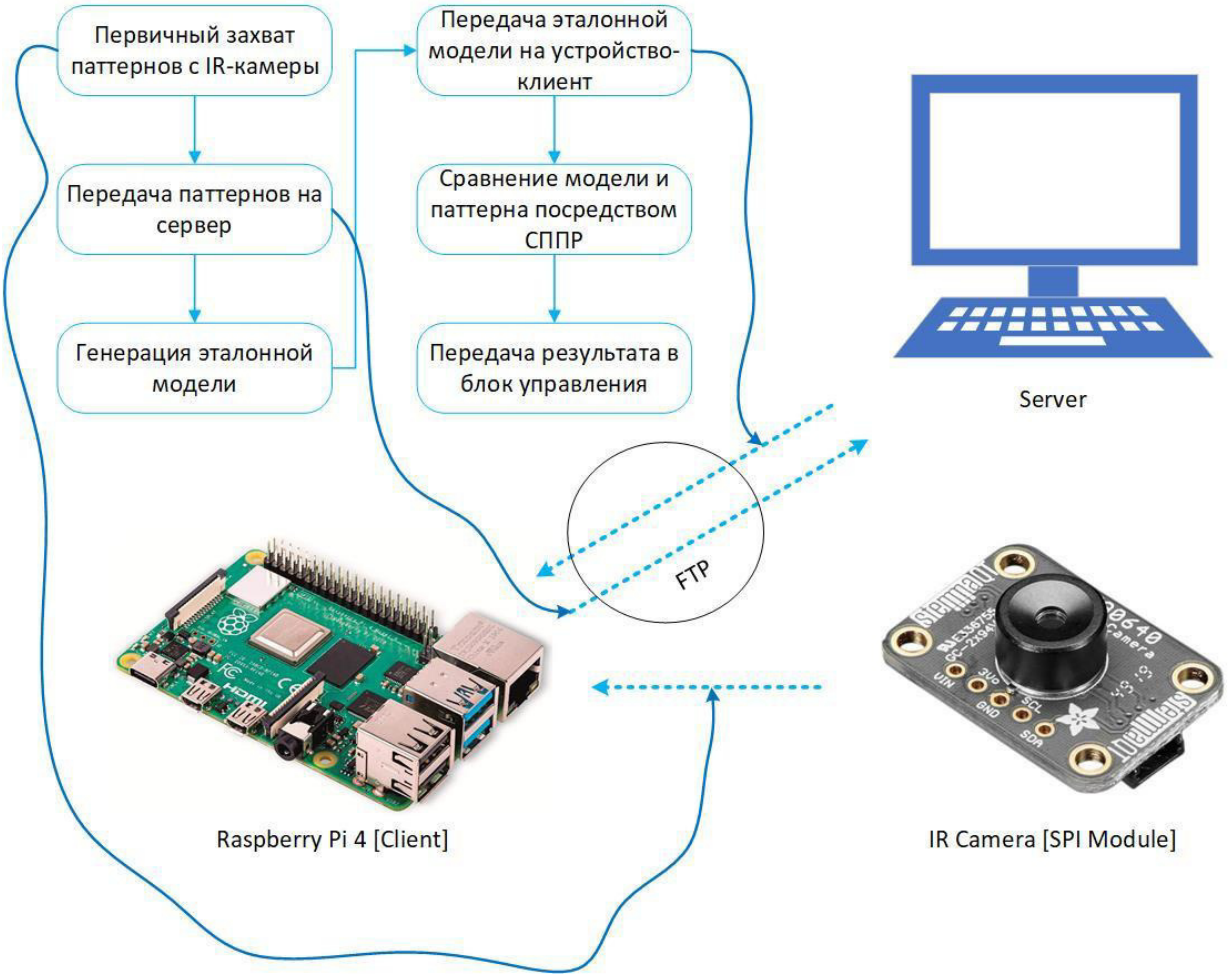


Рис. 1. Алгоритм обработки паттернов

Реализуемый алгоритм является оптимизированным, так как процесс обучения моделей является единоразовым, и применяется в случаях кардинальной замены входного паттерна.

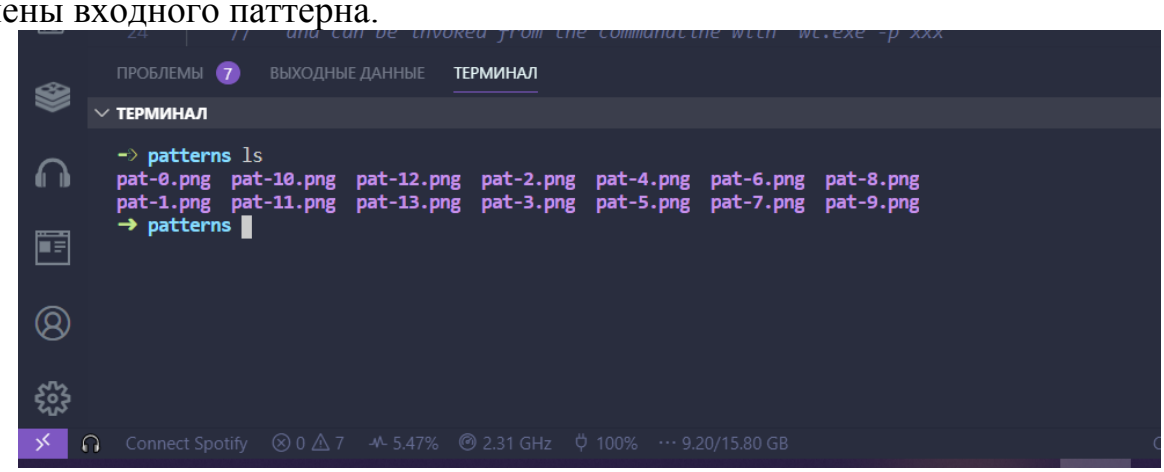


Рис. 2. Пример захватываемых паттернов

Помимо прочего, следует выделить возможность модификации алгоритма для реализации системы гибкой работы в рассматриваемом проекте. Есть воз-

можность подключения и синхронизации нескольких устройств-клиентов с одним сервером для расширения функционала. Модификация алгоритма предполагает возможность использования как удалённого, так и локального сегмента сети (рисунок 3).

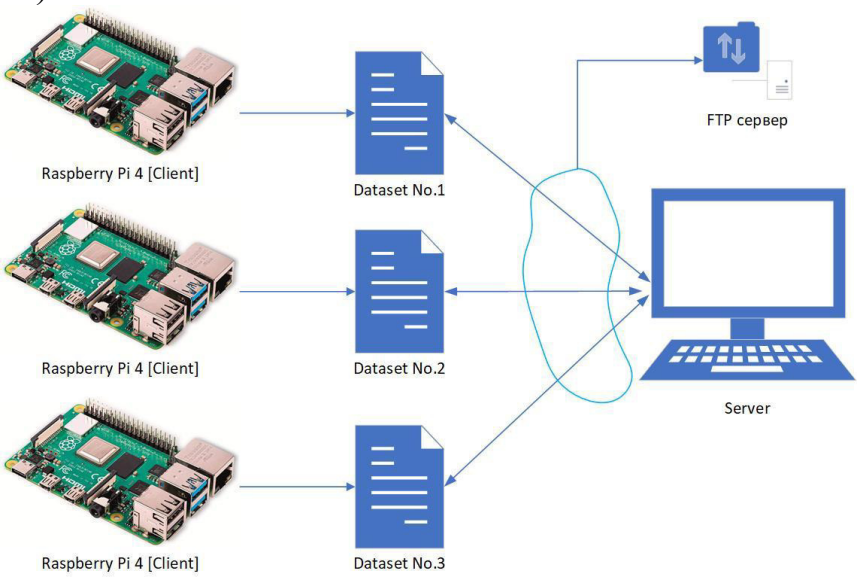


Рис. 3. Реализация алгоритма для оптимизации работы нескольких устройств-клиентов

Таким образом можно сказать, что реализуемый алгоритм позволил оптимизировать алгоритм обучения моделей с использованием прикладной системы и дополнительных пакетов для передачи данных между устройствами. Кроме того, следует выделить возможность использования ИНС в малопроизводительных устройствах, где требуется обеспечить стабильное выполнение функционала, основанного на использовании единичной модели.

Литература

1. Ali Kattan The Harmony Search Algorithm for Supervised Training of Neural Network: Design & Implementation. 1 изд. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. 260 с.
2. Vinita Silaparasetty Deep Learning Projects Using TensorFlow 2. 1 изд. New York: Apress, 2020. 421 с.
3. Wim Vanderbauwhede, Jeremy Singer Operating Systems Foundations with Linux on the Raspberry Pi: Textbook. 1 изд. US: ARM Education Media, 2019. 344 с.

Е.И. Лобанева, асп.; рук. А.Ю. Пучков, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРАГМАТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ

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

Системы поддержки принятия решений (СППР) сейчас широко применяются в бизнесе, производстве, медицине, социологии, сельском хозяйстве, управлении, юриспруденции и многих других областях деятельности. Их применение обосновано при наличии достаточного объема сведений об

окружающей среде и анализируемом процессе, что, с учетом алгоритмического обеспечения СППР, позволяет достигать требуемого качества управленческих решений. Переход к повсеместной цифровизации процессов в производственной сфере и всех общественных институтах приводит к ситуации, когда объемы такой информации резко возрастают и она все больше отвечает характеристикам *Big Data* (так называемые «три *V*»): *volume* – большой объём, *velocity* – высокая скорость прироста; *variety* – многообразие, заключающееся в присутствии полимодальных и полуструктурированных данных. Особенно процессу увеличения объема данных способствует Интернет, в том числе Интернет вещей (*IoT*) и промышленный Интернет вещей (*IIoT*). Закономерности, скрытые в таких данных, могут дать ценную информацию для работы СППР.

Необходимость обработки больших данных породила создание целого стека технологий *Big Data*, ключевую роль в которых играют методы искусственного интеллекта. Они позволяют автоматизировать извлечение признаков из имеющихся данных на основе процедуры обучения, но в этом случае они весьма требовательны к ресурсам, как аппаратным, так и временным.

В этой связи актуальной является задача предварительного анализа имеющихся данных с точки зрения оценки их прагматической ценности для целей применения СППР, что даст возможность использовать при обучении наиболее релевантные источники и выборки данных, а на этой основе осуществить выбор технологии их обработки [1]. Прагматическая мера информации характеризует ее ценность для получателя (информации) с точки зрения достижения поставленной цели и может выражаться через изменение вероятности достижения цели до и после получения информации. Однако определение этой вероятности происходит уже апостериори, после получения информации, поэтому желательно уже на этапе отбора источников и видов информации иметь возможность их анализа с точки зрения прагматической ценности.

Целью исследования являлась выработка критериев и системы оценок информации для осуществления обоснованного выбора модели интеллектуальной обработки данных в СППР на основе оценки ее прагматической ценности.

Автором проведен системный анализ задачи определения прагматической ценности информации о сложных технических и социально-экономических объектах, поступающей в СППР и имеющей характеристики Big Data. На этой основе предложена системы оценок, применяемая для рекомендаций по выбору технологии их обработки на основе методов искусственного интеллекта.

Под сложным понимался объект, в котором протекает множество взаимосвязанных процессов, распределенных как во времени, так и в пространстве, взаимодействующий с внешней средой. Это приводит к появлению полимодальной информации о функционировании объекта и необходимости применять многомасштабные модели процессов. Все это является отличительными признаками сложных объектов, которые необходимо

учитывать при проведении системного анализа прагматической ценности информации о них.

Проведение системного анализа предполагает определение границ системы или перечня ее элементов. В данном случае система была определена как совокупность трех элементов – внутреннее содержание информации, лицо, принимающее решение (ЛПР) и цель, стоящая перед ЛПР.

Основными процедурами системного анализа являются декомпозиция, анализ и синтез. Декомпозиция реализовывалась в построении функциональной модели задачи определения прагматической ценности информации о сложных технических и социально-экономических объектах. Для этого в модели анализируются имеющиеся данные о предметной области и информационном обеспечении объекта, включающем, в том числе, характеристики источников информации о нем и окружающей среде.

Декомпозиция проводилась на основе функционального подхода, который предполагает наличие морфологическое описания объекта и онтология предметной области. Морфологическое описание структуры системы задается кортежем $S=< A, B,R,V,Q >$, где A – множество элементов и их свойств; B – множество отношений с окружающей средой; R– множество связей в A, V – структура системы, тип этой структуры, Q – описание представления системы на каком-либо языке. Формальная запись онтологии также задается кортежем: $O=<T,R,D>$, где T – иерархия терминов (классов) обозначающих объекты (экземпляры), R – отношения между терминами; D – определения этих понятий и отношений.

Иерархия онтологий по цели создания включает онтологии представления, верхнего уровня, предметных областей, прикладные онтологии. Для системного анализа задачи оценки прагматической ценности информации наибольшую значимость имеет прикладная онтология, наиболее полно отражающая особенности конкретного объекта и позволяющая более точно использовать ее для окончательного решения по выбору технологии обработки данных об объекте.

Формальный аппарат представления морфологии объекта и онтологии предметной области вместе с характеристиками информационных потоков, связанных со сложным социально-экономическим или техническим объектом, составляют элементы функциональной модели задачи определения прагматической ценности информации. Для построения указанной функциональной модели была использована нотация IDEF0, декомпозиция контекстной диаграммы которой показана на рисунке 1.

Входными данными для данной модели является информация об объекте исследования, а также сведения о предметной области – и те и другие могут быть представлены в различных формах и объемах, что должно учитываться при построении прикладной онтологии предметной области и проведении морфологического анализа объекта исследований.

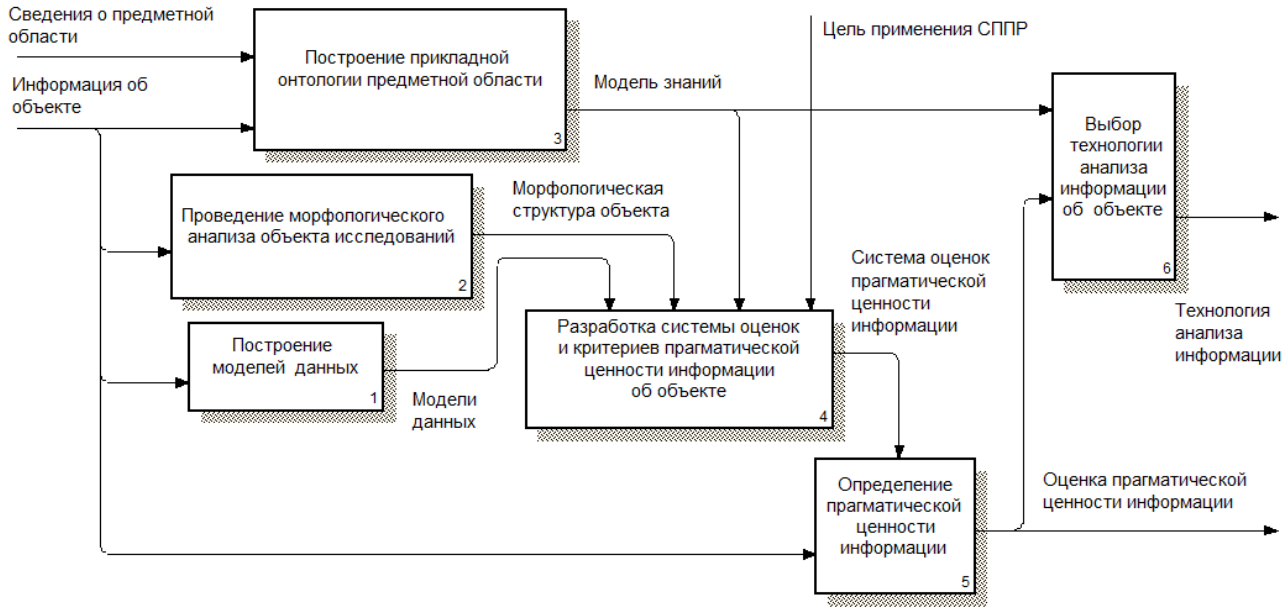


Рисунок 1 – Функциональная декомпозиция задачи оценки прагматической ценности информации

Получаемые в результате модель знаний, отражающая особенности предметной области и форму представления информации об объекте, а также морфологическая структура объекта определяют процедуру разработки системы оценок и критериев прагматической ценности информации. Для социально-экономических объектов такие критерии базируются на максимизации прибыли и минимизации издержек, а также учете социальных последствий принимаемых решений. Для технических объектов, учитывая, что СППР применяется на высших уровнях управления производством, это будут критерии, обеспечивающие энергоресурсоэффективность производственных процессов [2].

С учетом модели знаний и данных, морфологической структуры объекта исследований и целей применения СППР разрабатывается система оценок прагматической ценности информации, а также формируется критерий, который агрегирует предложенные оценки. На его основе и непосредственно информации об объекте рассчитывается оценка ее прагматической ценности. Эта оценка оказывает влияние на выбор технологии анализа данных, которая будет применяться при работе СППР. Влияние прагматической ценности информации на выбор технологии заключается в формировании требований, которые предъявляются к технологии – чем выше ценность данных, тем, очевидно, целесообразно применение более сложных и ресурсозатратных методов их обработки. С прагматической точки зрения ценной будет та информация, которая содержит необходимые сведения для принятия решения, но ещё в недоступной для понимания форме и применение интеллектуальных методов должно обеспечить их отображение в понятную человеку форму.

При разработке системы оценок и критериев прагматической ценности информации учитывается ее объем, структурированность, а также наличие в

данных нечеткости и лингвистических характеристик. В последнем случае обосновано применение шкалирования на основе бальной системы экспертных оценок прагматической ценности, формализуемая с помощью аппарата нечеткой логики. Окончательное определение ценности информации проводится по формуле, отражающей ее многоплановость и предложенной советским биофизиком, членом-корреспондентом М. В. Волькенштейном [3]: $V=AIT\ e^{-CT/}/(B+I)$, где I – количество поступающей информации, T – тезаурус, A, B и C – константы. Максимальная ценность достигается при тезаурусе, пропорциональном количеству получаемой информации.

Таким образом, для определения прагматической ценности необходимо наличие собственно информации, тезауруса рецептора и условия рецепции, а также цели, для которой информация применяется. Наиболее изменчивая часть обозначенной тройки – тезаурус и условия рецепции субъекта, так как формирование цели достаточно прозрачно и чаще всего предполагает минимизацию затрат и максимизацию прибыли для экономических приложений или энергоресурсоэффективность – для сложных технических объектов. В этой связи при выборе технологии анализа данных следует отдавать предпочтение методам на основе искусственного интеллекта, которые обеспечивают формирование оптимального тезауруса за счет обучения (в случае применения аппарата нейронных сетей, деревьев принятия решений) или наполнения базы знаний (при использовании систем логического вывода), организации цифровых репозиториев и рекомендаций экспертов [4].

Проведенный системный анализ прикладных областей показал, что внедрение *IoT* делает нейронные сети и особенно такую их разновидность, как глубокие нейронные сети, практически безальтернативной технологией анализа данных для сложных социально-экономических и технических объектов. Это обусловлено, с одной стороны, большим количеством каналов поступления информации, ее объемом, а с другой – возможностью автоматизации извлечения глубинных закономерностей из данных, которые могут применяться для достижения целей СППР.

Для оценки прагматической ценности информации сформирован критерий, позволяющий осуществлять обоснование выбора модели обработки данных в виде системы нечеткого вывода Мамдани, содержащей набор правил вида:

$$if\ Ot = OT_i\ and\ Md = MT_j\ and\ Vd = VdT_k,\ and\ Tr = TrT_n,\ then\ L = LT_m,$$

где Ot – экспертная характеристика прикладной онтологии; OtT_i – термы онтологии прикладного уровня; Md – экспертная характеристика модели данных; MT_i – термы, отражающие особенности модели данных; Vd– экспертная характеристика объема данных, VdT_k – термы объема данных; Tr– экспертная характеристика цели применения СППР; TrT_n – термы, отражающие особенности цели применения СППР; L – нечеткая переменная «модель анализа данных»; LT_m – термы, отражающие модели анализа данных.

В предложенном критерии используется система оценок $<Ot, Md, Vd, Tr>$, являющихся нечеткими переменными, значения которых формируются

экспертами, так как однозначную количественную характеристику для них определить не удалось ввиду многомасштабности и разнообразия структур данных, отражающих сведения об объекте и окружающей среде.

Представленные результаты системного анализа задачи определения прагматической ценности информации, в том числе предложенная ее декомпозиция на основе функционального подхода, могут служить инструментом для первоначального выбора технологии обработки данных при разработке СППР.

Литература

1 Bulygina O., Kozlov P., Kakatunova T. Analysis of short unstructured documents using fuzzy signifcance scales and special procedures for economic information integration. Prikladnaya Informatika – Journal of Applied Informatics, 2019, vol. 14, no. 6 (84), pp. 138–143. DOI: 10.24411/1993-8314-2019-10055

2 Мешалкин В. П., Дли М. И., Пучков А.Ю., Бобков В. И. Обобщенная модель инжиниринга и управления сложной многостадийной химико-энерготехнологической системой переработки отходов апатит-нефелиновых руд / Теоретические основы химической технологии. 2019, т. 53 (4), с. 363–371.

3 Чернавский Д. С. Синергетика и информация: динамическая теория информации / Изд. 5-е. – М.: ЛЕНАНД, 2017. — 304 с.

4 de Siqueira, G.O., Canuto, S., Gonçalves, M.A. et al. A pragmatic approach to hierarchical categorization of research expertise in the presence of scarce information. Int J Digit Libr 21, 61–73 (2020). https://doi.org/10.1007/s00799-018-0260-z

Е.И. Лобанева, асс.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ ОБРАБОТКЕ РАЗНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ

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

Искусственный интеллект (ИИ) – это область знаний, направленная на развитие компьютерных систем для решения проблем наделяя их интеллектуальными способностями для выполнения задач, которые обычно требуют интеллекта. Следовательно, моделирование человеческого интеллекта с помощью компьютерного программирования и технологий является основной задачей ИИ. В то время как машинное обучение является одной из ветвей ИИ, в которой компьютерные системы программируются на основе данных и типа ввода. Машинное обучение дает возможность ИИ решать задачи на основе имеющихся данных. Аналогичным образом, искусственная нейронная сеть (Deep Neural Networks, DNN) представляет собой метод алгоритмов машинного обучения, разработанный на основе концепции имитации человеческого мозга.

В данном исследовании проведен анализ опыта применения методов интеллектуального анализа для анализа сложных технических и социальноэкономических объектов, описываемых большими массивами разноструктурированных данных в виде аудио-видеосигналов, временных рядов, матриц физических и социально-экономических показателей.

Актуальность применения нейронных сетей возрастает в тех областях, где человеческий интеллект малоэффективен, а вычисления трудоёмки. Основными областями применения нейросетей являются: автоматизация прогнозирования,

автоматизация процесса классификации, автоматизация процесса принятия решений, автоматизация процесса распознавания и другие.

Применение DNN базируется, в основном, на инженерных методах исследования, когда под конкретную задачу осуществляется построение новой архитектуры сети или используется уже известная, хорошо зарекомендовавшая себя в данной проблемной области. Такое положение дел обусловлено отсутствием адекватного математического аппарата для аналитического анализа глубоких архитектур и предсказания качества их работы, так как количество изменяемых параметров сети может превышать миллиард, что делает не целесообразным их анализ в пространствах столь большой размерности. Наиболее известные базовые архитектуры DNN и области применения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Базовые нейронные сети и области их применения

	Наименование	Особенности архитектуры	Области применения
1	DBN (Deep belief networks) – сети глубокого убеждения	Сети формируются путем объединения RBM (Restricted Boltzman Machine – ограниченная машина Больцмана или автоэнкодер) и внедрения «умного» обучения (решает проблему исчезающего градиента).	Автоматическая сортировка данных; реконструкция входных данных; экстракция признаков для распознавания объектов.
2	GAN (Generative adversarial networks) – генеративные состязательные сети	Состоят из двух сетей: сеть-генератор создает новые экземпляры данных, а сетьдискриминатор оценивает их на подлинность	Имитация изображений, музыки, речи, прозы.
3	RNN (Recurrent neural network) – рекуррентные нейронные сети	Связи между элементами сети образуют направленную последовательность, что позволяет обрабатывать серии событий во времени. Разновидности LSTM – сеть с долговременной и кратковременной памятью; GRU – управляемый рекуррентный блок.	Прогноз временных рядов, распознавание речи
4	RNTN (Recursive Neural Tensor Network) – рекурсивные тензорные нейронные сети	Обобщенная разновидность RNN, сигнал в которой проходит через структуру в виде дерева (обычно бинарного) с тензорными функциями узлов.	Обработка естественного языка
5	CNN (convolutional neural network) – сверточные нейронные сети	Однонаправленная многослойная сеть, использующая принципы локального восприятия, разделения весов и уменьшения размерности.	Распознавание изображений

6	CapsNet (Capsule Networks) – капсульные нейронные сети	Содержат нейроны, объединенные в капсулы, которые формируют векторный выходной сигнал (в отличии от скалярной формы выхода одного нейрона). Обучается с помощью динамической маршрутизации. Требуют существенно меньший объем выборки для обучения.	Распознавание изображений при изменяющихся ракурсах, иерархической структурой
7	DNN (Deconvolutional Neural Network) или инверсные графические сети (IGN)	Структура сети является обратной по отношению к CNN, что позволяет генерировать входной сигнал в виде суммы сверток карт признаков с учетом применяемых фильтров.	Исследование CNN с целью более полного понимания процессов происходящих при их обучении
8	VAE (Variational auto-encoders) –вариационный автоэнкодер	Нейронная сеть, дополненная памятью: в классической компьютерной архитектуре фон Неймана процессор заменяется на RNN, которая изучает, когда и что читать из оперативной памяти	Поиск сходства поступающей информации с данными из памяти
9	Нечёткие сети		Классификация, прогнозирование

Если не рассматривать исследовательские проекты по так называемым «развлекательным направлениям» (синтез музыки, текстов, имитация стилей художников и т.д.), а сосредоточится на прикладных областях, связанных с производством, бизнесом, то можно выделить следующие перспективные направления использования DNN:

– реидентификация объектов и процессов при переходе их из одной производственной зоны в другую в соответствии с принятыми технологическими и логистическими цепочками;

– поиск и прогноз неисправностей оборудования для снижения вероятности возникновения аварийных ситуаций;

– автоматизированный контроль выполнения требований техники безопасности;

– решение транспортных задач в условиях большой размерности исходных данных, когда методы линейного программирования приводят к значительным временным затратам;

– реализация многомерного машинного зрения на основе обработки информации с большого числа датчиков с целью наблюдения за технологическими процессами (ТП) в реальном времени и прогнозирования их поведения;

– бизнес-аналитика на основе генерации интеллектуальными видеокамерами метаданных о состоянии производственного процесса, а также извлечения скрытых закономерностей в визуализированной информации о результатах коммерческой деятельности организации;

– методологии обнаружения и устранения вредоносных угроз для приложений ИИ, таких как периферийные системы машинного зрения, которые основаны на сверточных нейронных сетях;

– развитие маркетинговых решений на основе ИИ-технологий - deepfake-технология, набирающая популярность с каждым днем. Её особенность состоит в создании и работы с видео, аудио и прочим медиа контентом с помощью алгоритмических манипуляций и др.

DNN способны выявлять высокоуровневые абстракции в данных. Среди DNN широкое распространение для распознавания образов получили сверточные нейронные сети, ключевыми принципами которых являются локальное восприятие фрагментов изображения, раздельное обучение весов сети для карт признаков и уменьшения размерности по мере продвижения вглубь сети. Наиболее известные архитектуры CNN: LeNet-5, AlexNet, VGG, Goog-LeNet, ResNet, Mask R-CNN и другие.

Автоматизация процесса обнаружения глубинных закономерностей особенно ценное свойство DNN (так как исключает необходимость проведения рутинной предварительной обработки данных, на которую тратится более 70% времени исследований), которое инспирирует их применение в системах видеоаналитики (поиск закономерностей в информации, представленной в форме изображений) и интеллектуального мониторинга.

Системы интеллектуального мониторинга используют различные каналы поступления информации о состоянии сложных технических и социально-экономических объектах. Данные представлены чаще всего в форме временных рядов, матриц, статистических отчетов, других видов разнородной информации. Количество контролируемых показателей может быть достаточно велико. Например, показателями для социальноэкономического сектора являются: индекс производства, объем выполненных работ, оборот розничной торговли, индекс физического объема платных услуг населению, инвестиции в основной капитал, индексы производства продукции, общая площадь жилых домов; индекс потребительских цен, стоимость фиксированного набора потребительских товаров и услуг; среднемесячная номинальная начисленная заработная плата; реальная заработная плата: реальные денежные доходы; просроченной задолженностью по заработной плате; уровень безработицы; сведения о рождениях, смертях; величина прожиточного минимума и другие. Анализ этих показателей за различные промежутки времени по регионам, отраслям, организациям, применение разноформатного представления данных приводит к необходимости рассматривать их как Big Date и применять методы машинного обучения, к которым относятся и DNN.

Эти методы тесно связаны с математической статистикой, но имеет несколько важных отличий: машинное обучение обычно имеет дело с большими

и сложными наборами данных, к которым практически невозможно применить методы статистики.

Исходя из рассмотренных видов нейронных сетей, можно сделать вывод, что для анализа разноструктурированных данных необходимо использование нейронных сетей, различных типов. Однако, данные нейронные сети используют разные шаблоны, что приводит к возможному несоответствию выводных данных для обобщенного анализа.

Литература

1 Лобанева Е.И., Дли М.И., Пучков А.Ю. Применение глубоких нейронных сетей в моделях сложных технологических объектов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2020, № 52(78). С.104-110.

2 Искусственный интеллект на предприятии: прогнозы-2021 [Электронный ресурс] // itWeek: официальный сайт. URL: https://www.itweek.ru/ai/article/detail.php?ID=216440 (дата обращения: 25.02.2021)

3 Okunev B., Shurykin A. Solving the problem of calendar data preprocessing during the implementation of Data Mining technology. Prikladnaya informatika=Journal of Applied Informatics, 2020,vol.15, no.6, pp.27-41 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-6-27-41

К.С. Маслова студ., рук. А.В. Борисов, д-р. физ.-мат. наук, проф.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск)

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНЫХ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ НА ТРЕБОВАНИЯ К ИСТОЧНИКАМ ПИТАНИЯ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Смоленской области в рамках научного проекта № 19-48-670002 р_а

Развитие проектирования экзоскелетов является одной из современных областей электронно-вычислительной техники, способствует решению многих задач, связанных с опорно-двигательными функциями человека. Экзоскелеты это механизмы, работающие в непосредственной связи с частями тела, на усиление которых они направлены, позволяющие увеличивать физическую силу человека, возвращать утраченные по разным причинам двигательные функции [1].

Слабые стороны человеческого тела благодаря механизмам экзоскелетов, могут быть скомпенсированы, а в ряде случаев значительно улучшены. Высокотехнологичные инструменты позволяют человеку справляться с жизненными задачами касающимися опорно-двигательного аппарата при помощи внешнего каркаса, направленного на усиление мышц, увеличение амплитуды движения и других двигательных функций.

В движение экзоскелеты приводит система, состоящая, как правило, из электродвигателей, рычажных механизмов и гидравлики, возможны и другие технологические решения, в зависимости от внутреннего устройства и целей использования проектируемого экзоскелета [2].

Первые функционирующие системы экзоскелетов были созданы в 1960-х годах двадцатого века, они были основаны на пружинных системах, которые позволяли увеличить силу, имевшую вертикальное направление и поднимать грузы весом до 110 кг. Первоначально экзоскелеты рассматривались как устройства для использования в военной промышленности, однако со временем перешли и в мирную жизнь. В настоящее время экзоскелеты применяются в

медицине, для восстановления и поддержания опорно-двигательных функций человека, в различных отраслях промышленности, для реализации основных технологических процессов, связанных с перемещением грузов, в строительной промышленности для обеспечения проведения строительных работ.

Внедрение технологии экзоскелетов в производственный процесс машиностроительных предприятий является актуальным направлением для повышения их эффективности и интенсификации. Дополнительный экономический эффект для производства принесёт облегчение рабочих условий сотрудников посредствам применения экзоскелетов, так как функциональность возможно будет направить на решение рабочих задач.

Важным аспектом при рассмотрении данной технологии является исследование энергопотребления различных экзоскелетов и источники питания, приводящие систему в движение. Различают активные и пассивные экзоскелеты. Пассивные не имеют источников питания, управление происходит при помощи оператора, активные экзоскелеты оснащаются электродвигателями с возможностью получать энергию извне, управление осуществляется минимальным физическим усилием человека.

В ходе исследования характеристик моделей экзоскелетов, используемых в различных отраслях (рис.1) могут быть определены основные параметры, исходя из которых происходит оценка и анализ конструкции конкретного экзоскелета.

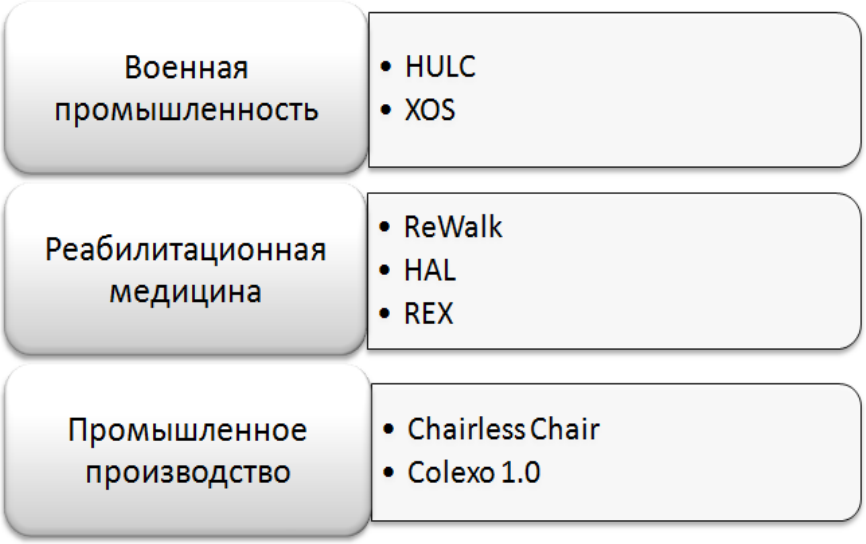


Рисунок 1 – Основные отрасли применения экзоскелетов

Основной проблемой, которую необходимо решить в настоящее время является создание новых источников энергии или возможность совершенствования аспекта оперативной подзарядки существующих элементов питания. Важные технические характеристики, определяющие требования к источникам питания это масса конструкции количество выполняемых операций и применяемые материалы

Активные экзоскелеты особенно широко распространены в военной промышленности [3]. В целях перемещения большой массы груза с меньшими физическими затратами был разработан экзоскелет HULC. Масса устройства 25 кг из которых больше всего масса батарей, необходимых для работы экзоскелета и обеспечивающих работоспособность в течение двух часов. Конструкция дает возможность быстрого поднятия и перемещения груза по местностям разной степени пересеченности, однако ее недостаткам является ограниченность климатических условий, в которых она может быть использована, а также необходимостью обслуживания специалистами.

Разработан экзоскелет XOS, рассчитанный на пехотные войска. Он также имеет переносной внешний источник питания, но его вес оставляет 70 кг, что является существенным недостатком модели и значительно ограничивает мобильность. Описанные экзоскелеты обеспечивают увеличение силы и выносливости всего тела здоровых людей, но являются тяжелыми по массе и в эксплуатации.

В настоящее время компании, работающие над оптимизацией устройства, продолжают экспериментальные исследования с целью создания источника, отвечающего поставленным требованиям. Компания Protonex Technology Corporation, занимается совершенствованием аккумуляторной батарей для роботизированного экзоскелета HULC. Цель разработки – обеспечение бесперебойной работы механизма в течение 72 часов. В данный момент в качестве источников питания экзоскелетов используется литий-ионные батареи, способные обеспечить передвижение на 20 км, присутствует ограничение по скорости в 4 км/ч, что является серьезным недостатком данной технологии. В разрабатываемой аккумуляторной батарее будет использована система топливных ячеек, располагающаяся в самом каркасе экзоскелета, в данный момент продолжаются исследования для повышения эффективности данной технологии.

Подбор источника питания для экзоскелета это актуальная задача современных разработчиков, к бесперебойной работе и габаритным размерам предъявляют высокие требования. Особенное значение имеет возможность подзарядки или замены аккумулятора и обеспечение наименьшего веса батареи. Разработка и совершенствование источников питания для активных экзоскелетов являются важной технической конструктивной задачей.

Литература

1. Борисов А.В. Пассивно-активный экзоскелет со звеньями переменной длины и пружинными элементами двух типов / Борисов А. В., Волкова Ю.Е., Кончина Л.В., Маслова К.С. // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2020. № 9. С. 54 – 64. DOI: 10.14489/hb.2020.09.pp.054-064
2. Борисов А.В. Моделирование движения человека в защитном пассивном экзоскелете с пружинными элементами двух типов. / Борисов А.В., Кончина Л.В., Куликова М.Г., Маслова К.С. // Вопросы оборонной техники. Научно-технический журнал. Технические средства противодействия терроризму. Серия 16. Вып. 9-10 (147-148). – 2020. – С. 23-31.
3. Proud J.K., Lai D.T.H., Mudie K.L., Carstairs G.L., Billing D.C., Garofolini A., Begg R.K. Exoskeleton Application to Military Manual Handling Tasks / Proud J.K., Lai D.T.H., Mudie K.L., Carstairs G.L., Billing D.C., Garofolini A., Begg R.K. // Hum Factors. 2020 Nov 18:18720820957467. doi: 10.1177/0018720820957467. Epub ahead of print. PMID: 33203237.

И.А. Новиков, студ.; рук. М.И. Зернов, д.в.н., проф.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ВЕКТОРНОМУ ПРЕДСТАВЛЕНИЮ ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

Введение

Обработка естественного языка является актуальной и представляет огромный интерес для многих сфер человеческой деятельности, среди которых социология, лингвистика, психология и другие. Данная сфера быстро развивается благодаря расширению сети Интернет, доступности больших данных, мощных вычислений и улучшенных алгоритмов.

К основным направлениям обработки естественного языка относят [1]:

- Анализ тональности текста. Он подразумевает под собой определение эмоциональной окраски текста и выявление отношения автора к объекту обсуждения.
- Машинный перевод текста с одного естественного языка на другой.
- Кластеризация и классификация текста. Их суть заключается в распределении множества текстовых документов по группам на основании схожести их содержания.
- Распознавание речи и ответы на вопросы. К ним относятся чат-боты, имитирующие реальное общение с людьми посредством передачи текстовых сообщений, и специальные программы, которые сперва анализируют некоторый текст, а после – отвечают на вопросы, связанные с его содержанием.
- Извлечение информации. Оно представляет собой разновидность информационного поиска, при которой из неструктурированного текста выделяется структурированная информация. Извлечение информации из текста прежде всего связано с поиском сущностей и отношений, а также построением структурированной базы данных. Использование такой базы данных с объектами какого-либо типа существенно упрощает последующий анализ текстов.

Для того, чтобы автоматизировать процесс обработки текстовой информации, ее необходимо представить в виде некоторой числовой модели. Чаще всего при решении этой задачи используется векторное представление слов, которое позволяет представлять текст как последовательность векторов, соответствующих словам текста. Вектор для каждого слова строится так, чтобы встречающиеся в схожих контекстах слова имели схожие вектора.

Существует достаточно большое количество методов векторного представления текстов. Традиционными являются методы машинного обучения, обученные на лингвистических корпусах, размеченных экспертами. К ним относятся нейросетевые модели Word2Vec, FastText, Doc2Vec и GloVe. Рассмотрим подробнее каждую из них, выделив основные достоинства и недостатки, а также особенности применения.

Word2Vec

Word2Vec – это двухслойная нейронная сеть, используемая для распреде-

ленного представления слов в корпусе. Такой подход моделирования языка был предложен командой исследователей Google.

Модель обучается сопоставлять слова и контексты их употребления, причем она позволяет предугадывать как контекст слова по заданному слову при помощи метода Skip-Gram, так и наоборот, предугадывать слово по заданному контексту посредством метода CBOW (Continuous Bag Of Words) [2]. При этом она полагается на дистрибутивную гипотезу, заключающуюся в том, что языковые единицы с похожими распределениями имеют похожий смысл.

В процессе обучения на вход модели Word2vec поступает большой корпус текста. На выходе модель выдает векторное пространство для всех слов, встреченных в процессе обучения.

Преимуществами модели являются низкая разреженность итоговых векторов и возможность задания их размерности. Однако интерпретировать значение координат некоторого вектора невозможно. Модель также не очень хорошо обрабатывает неизвестные и редкие слова.

FastText

FastText – это метод векторного представления слов, созданный исследовательской лабораторией Facebook. Он является расширением модели Word2Vec, однако вместо изучения векторов слов непосредственно, FastText представляет каждое слово как комбинацию символьных n-грамм. То есть каждое слово представляется композицией нескольких последовательностей символов определенной длины. Например, слово «they» в зависимости от гиперпараметров может состоять из «th», «he», «ey», «the», «hey». Вектор слова получается как сумма всех его n-грамм.

Такой способ представления помогает изучить значение коротких слов и позволяет векторным представлением понимать суффиксы и префиксы. Недостатком является то, что модель не учитывает разное значение слова в различных контекстах.

Результаты работы классификатора хорошо подходят для слов с небольшой частотой употребления, например, редких и устаревших. Также за счет применения n- грамм модель способна генерировать векторы для неизвестных слов.

Doc2Vec

Doc2Vec – это нейросетевой алгоритм, также построенный на основе Word2Vec и предназначенный для векторного представления больших структур, таких как предложения, абзацы, или же целые документы. Архитектура модели аналогична Word2Vec и так же является двухслойной нейронной сетью. В результате обучения она выдает векторы целых текстов. При этом для ранее не встреченных документов вектор может быть сгенерирован на основе входящих в документ слов.

Модель имеет две реализации, основанные на методах работы Word2Vec [3]. Вариант DM (Distributed Memory) работает аналогично CBOW, то есть моделирует условные вероятности появления различных слов в окружении рас-

сматриваемых контекстов. Единственным отличием является то, что к векторам слов добавляется еще один, в котором закодировано ID текста, то есть вектор является уникальным для каждого текста.

Вариант DBOW (Distributed Bag Of Words) основан на skip-gram, и в процессе его работы моделируются условные вероятности появления различных контекстов внутри заданного текста.

Учитывая принцип работы, Doc2Vec подходит для получения векторных представления текстов любой длины без каких-либо дополнительных действий. В свою очередь для получения векторного представления целого текста в моделях Word2Vec, FastText, GloVe необходимо объединить векторные представления отдельных слов, например, взяв средние значения векторов.

GloVe

GloVe – это модель, сочетающая в себе особенности методов Word2Vec и сингулярного разложения [2]. В Word2Vec частота совместной встречаемости слов не имеет большого значения, она только помогает генерировать дополнительные учебные выборки. GloVe учитывает общую встречность, а не полагается только на контекстную статистику. Векторы слов группируются вместе на основе их глобального сходства.

В результате работы для каждого слова модель генерирует два вектора: вектор слова как основного и вектор слова как контекста. Полученные векторы отражают важные линейные подструктуры векторного пространства слов. В качестве векторного представления можно использовать как один из этих векторов, так и их сумму.

Основное достоинство заключается в простой архитектуре без нейронной сети. Недостатком является то, что GloVe плохо обрабатывает неизвестные и редкие слова.

Заключение

Можно сделать вывод, что все четыре рассмотренные модели имеют много общего, но каждая из них должна использоваться в нужном контексте. FastText подходят для слов с небольшой частотой употребления за счет использования n-грамм. Doc2Vec применяется для получения векторных представления текстов любой длины, например предложений, абзацев и документов полностью. Word2Vec является универсальной моделью, так как именно на ее принципах основаны все вышеперечисленные методы. GloVe расширяет возможности Word2Vec за счет добавления частоты встречаемости.

Литература

1. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика: учеб. пособие / Большакова Е.И., Клышинский Э.С., Ландэ Д.В., Носков А.А., Пескова О.В., Ягунова Е.В. – М.: МИЭМ, 2011. – 272 с.

2. Лыченко Н.М., Сороковая А.В. Сравнение эффективности методов векторного представления слов для определения тональности текстов // МСиМ – 2019. – №4 (52). – с. 97-110.

3. Mikolov T., Chen K., Corrado G., Dean J. Efficient Estimation of Word Representations in Vector // Computing Research Repository (CoRR) – 2013. – №1. – p. 1-12.

Ю.В. Павлова студ.; рук. М.А. Свириденкова к. т. н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске»)

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ BIG DATA

В современном мире все большую популярность набирают «большие данные». Эта относительно новая технология все чаще применяется в различных сферах жизни общества и приносит значительные положительные изменения. Поэтому представляет интерес анализ развития этой технологии и рассмотрение вопросов возникновения термина «большие данные».

Рассмотрим основные этапы развития информации, которые способствовали формированию интереса к способам хранения и обработки информации.

Таблица 1 – Основные этапы в формировании отношения к информации и большим данным

Этапы	Годы	Комментарий
Первобытное общество	Около 2 млн лет назад – 4-е тысячелетие до н. э.	Появление первобытных племен, развитие торговли привели к увеличению объема информации и необходимости вести записи.
Древний мир	5-е тысячелетие до н. э. – середина 1-го тысячелетия н. э.	Информация записывалась и собиралась в библиотеки (например, Библиотеки Вавилона и Александрии). Проблема хранения, распространения и обработки информации.
Средние века	476 г. – середина XVII в.	В середине XVII в. на основе анализа и обработки информации начали выводить статистику. Подготовлены научные труды. (Пример: труд Джона Гранта «Наблюдения за смертностью»)
Новое время	Середина XVII – начало XX в.	1865 г. – введен термин Business Intelligence (бизнес-аналитика). 1881 г.- создано первое устройство (табулятор), которое используя перфокарты вело подсчет данных.
Новейшая история	1918 г. – начало XXI в.	С 1950-х годов начался бурный рост технологий хранения информации. 1982 г. - появление интернета, который позже дал возможность людям со всего мира добавлять все больше информации в сети. Проблема поиска в интернете требуемых данных и обработки запросов из-за стремительного увеличения количества информации. 2001 г. – Описание проблемных зон, связанных с повышенными требованиями к центральным хранилищам данных (Meta Group); изменение стратегии IT-компаний. 2008 г. – появление термина «большие данные». С 2009 г. – использование термина «большие данные» в статьях и научных исследованиях.

В результате к началу 2000-х годов сформировался повышенный интерес к хранилищам данных, обработке и анализу больших объемов разных видов информации. Было выделено три главных направления, на которые необходимо обратить внимание для решения вопросов управления данными: **V**olume (объем), **V**elocity (скорость) и **V**ariety (разнообразие). Позже эти понятия стали основой для описания модели Big Data, названных 3V (VVV), затем стали выделять Value (ценность данных) и Veracity (достоверность).

Big Data – это система с возможностью горизонтального масштабирования, которая использует методы и технологии, позволяющие обработать структурированную и неструктурированную информацию, которая после окончания обработки не утратит свою ценность для поставленных целей и задач. Эта система способна строить связи, которые необходимы для получения актуальных данных, которые человек способен однозначно интерпретировать.

Инструмент	Преимущества
Apache Hadoop	• высокая масштабируемость для анализа данных; • возможность хранить данные в любом формате (структурированные, частично структурированные и неструктурированные форматы); • редкий отказ узлов в кластере; • возможность взаимодействовать с другой приоритетной платформой анализа данных; • открытая платформа функционирует на сравнительно недорогом оборудовании.
X-plenty	• легкое преобразование данных; • гибкость в использовании; • превосходная безопасность; • различные источники данных; • клиентоориентированный подход.
Spark	• производительность; • удобный программный интерфейс; • неявная параллелизация; • отказоустойчивость.
Cassandra	• возможность функционирования на не очень мощном оборудовании; • архитектура Cassandra, которая реализует систему базы данных с использованием ключей; • язык запросов Cassandra; • развернутое распределение и высокая масштабируемость применения; • отказоустойчивость и децентрализованная система; • оперативная запись и считывание данных; • настраиваемая совместимость и поддержка фреймворка MapReduce.
Talend	• Agile DevOps для ускоренной обработки Big Data; • упрощение работы Spark и MapReduce за счет генерации собственных кодов; • более качественные данные благодаря машинному обучению и обработке информации на естественном языке; • упрощение процессов ELT (Extract, Load и Transform) и ETL (Extract, Transform и Load) для Big Data; • оптимальная настройка всех процессов в DevOps.

Рисунок 1 – Возможности инструментов для работы с Big Data

Одна из наиболее важных задач, стоящая перед Big Data: получить на выходе данные, которые будут доступны для структурированного или полуструк-

турированного анализа, выстроить связи между ними из имеющегося на входе большого массива разнотипных данных.

Для хранения, анализа и обработки больших данных были разработаны новые методы и алгоритмы. В настоящее время среди лучших инструментов для работы с Big Data выделяют Apache Hadoop, X-plenty, Spark, Cassandra, Talend. Возможности данных инструментов представлены на рисунке 1.

В настоящее время рынок технологий, предназначенных для обработки больших данных – это один из самых быстроразвивающихся сегментов IT-технологий во всем мире. Big data применяются во множестве разных областей. Например, для обучения умных домов, увеличения доходов банков и торговых сетей, повышения эффективности самых разных производств, в развитии технологии облачного хранилища и обучения искусственного интеллекта.

На рисунке 2 представлено изменение объемов рынка Big Data за период 2015-2019 гг. По прогнозам IDC в 2022 году размер больших данных станет равен 274,3 млрд долларов, что в 1,45 раза больше, чем в 2019 г. К 2025 году мировой объем цифровых данных вырастет до 175 зеттабайт, в 2020 году он составил 40 зеттабайт. Большая часть этих данных будет непрерывно изменяться в реальном времени. В настоящее время к крупнейшим по выручке рынкам Big Data относят: США (53% от мирового рынка), Японию (5,1%) и Великобританию (4,9%). Российский рынок занимает незначительную часть, он оценивается в 45 млрд рублей.

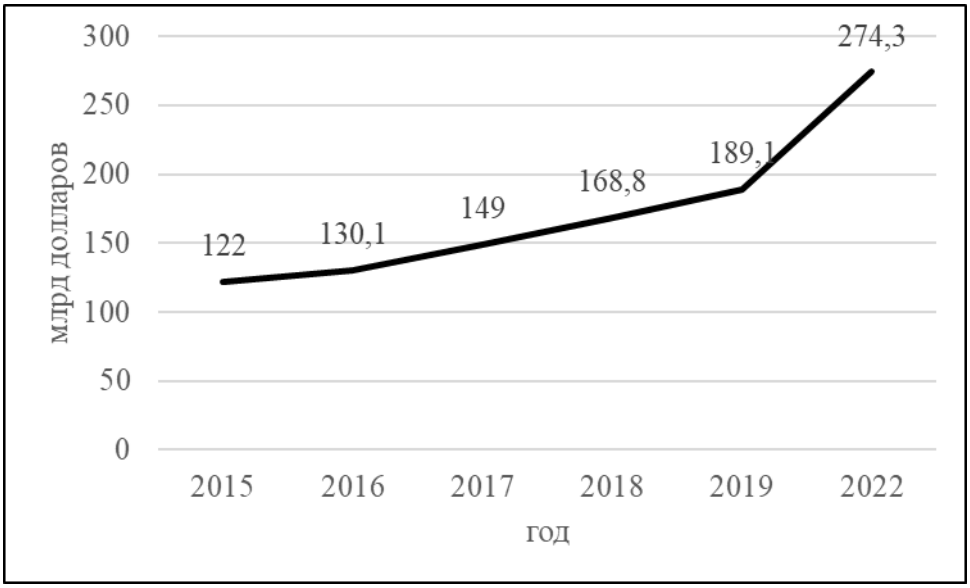


Рисунок 2 – Динамика мирового рынка больших данных в 2015 -2022 гг.

По данным, собранным в результате исследования ИСИЭЗ НИУ ВШЭ в 2019 году, в результате опроса в России большие данные преобладают в добывающей промышленности (в бизнес-процессах) [1]. На рисунке 3 представлена диаграмма использования «больших данных» в России.

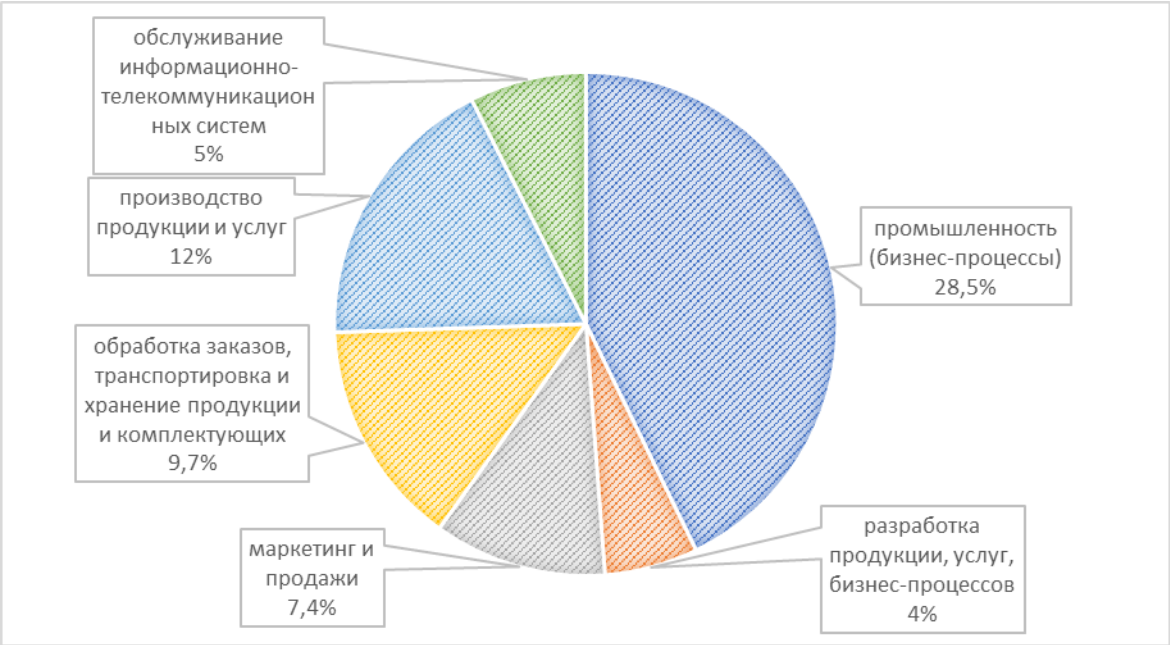


Рисунок 3 – Отрасли использования «больших данных»

По данным Ассоциации больших данных за 2019 год среди индустрий, использующих большие данные, на первом месте находятся телекоммуникации и IT (рисунок 4).

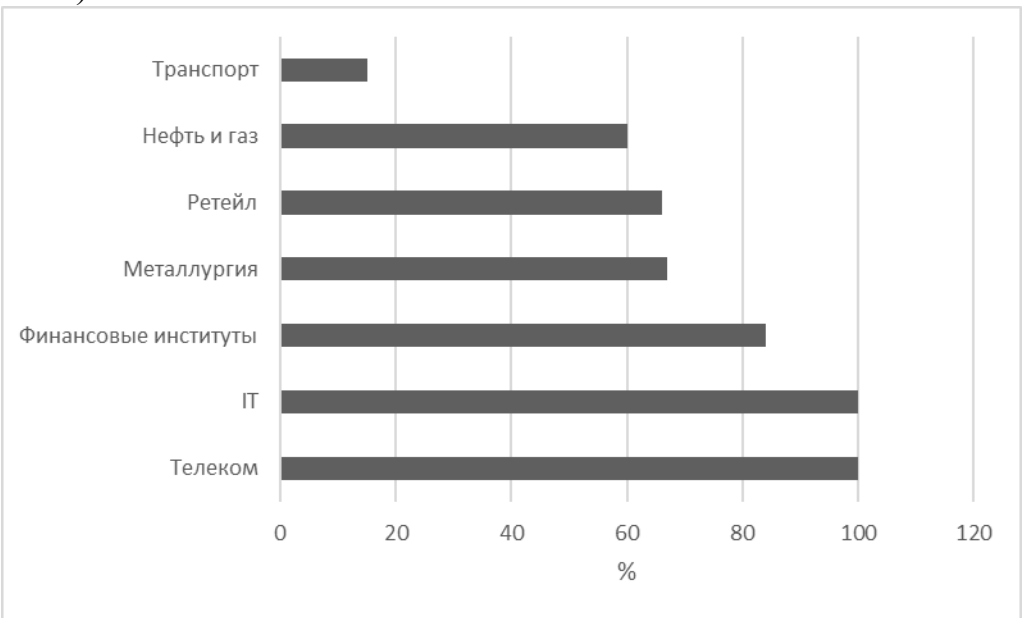


Рисунок 4 – Индустрии использования больших данных в России

Выделим проблемы использования «больших данных» в России:

1. Недостаток специалистов, которые необходимы для масштабного продвижения больших данных.
2. Недостаток недорогих изменяемых ресурсов для хранения и обработки информации.
3. Сложности в получении доступа, обработке и обмене различными типами данных.

4. Трудности в проведении исследований и внедрении новшеств в сфере больших данных.

5. Невозможность массовой реализации инноваций в рамках экономики в целом.

Данные проблемы возможно решить путем повышенного внимания к обучению и подготовке новых специалистов; повышению финансирования исследований в области Big Data. Это целесообразно. На основе исследования Ассоциации больших данных российского рынка данных можно сделать вывод о том, что применение этого метода в различных сферах приведет к значительному росту ВВП страны [2].

Таким образом, в ходе проведенных исследований были обозначены эффективность использования больших данных в различных областях жизнедеятельности человека, основные временные аспекты формирования отношения к информации и ее увеличивающимся быстрыми темпами объемам, развитие Big Data в мировом масштабе и России.

Литература

1. Мельникова Ю. В. Промышленность добывает Big Data [Электронный ресурс] // COMNEWS 2020. 18 июня. – Режим доступа https://www.comnews.ru/content/207663/2020-06-18/2020-w25/promyshlennost-dobyvaet-big-data (26.02.2021).
2. Сайт Ассоциации больших данных Стратегия развития рынка больших данных до 2024 года [Электронный ресурс] – Режим доступа https://rubda.ru/wp-content/uploads/2020/03/strategiya-bolshih-dannyh_srednyaya.pdf (26.02.2021).

А.Ю. Попрыгин, студ.; О.Е. Аверченков, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

МЕТОД ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ BLUETOOTH LOW ENERGY СОЕДИНЕНИЯ В БЕСПРОВОДНОЙ МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ

Система контроля и управления доступом (СКУД) – совокупность средств контроля и управления доступом, обладающих технической, информационной, программной и эксплуатационной совместимостью. СКУД предъявляют высокие требования к защищенности данных, передающихся внутри системы, и к помехоустойчивости.

Назначение систем контроля и управления доступом, их составные части, требования к самим системам и к их составляющим частям и др. описаны в ГОСТ Р 51241-2008 «Средства и системы контроля и управления доступом. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний». Согласно данному ГОСТу, контроллеры в СКУД с централизованным управлением и в универсальных СКУД должны обеспечивать [1]:

- обмен информацией по линии связи между контроллерами и средствами централизованного управления;
- сохранность данных в памяти системы, при обрыве линий связи со средствами централизованного управления, отключении питания и при переходе на резервное питание;

- контроль линий связи между контроллерами и средствами централизованного управления.
- протоколы обмена информацией должны обеспечивать необходимую помехоустойчивость, скорость обмена информацией, а также (при необходимости) имитостойкость и защиту информации (для систем повышенной и высокой устойчивости).

При использовании беспроводных технологий для обмена данными внутри системы полный контроль линий связи становится невозможным, поэтому протокол обязательно должен быть имитостойким и включать в себя шифрование данных.

В качестве примера беспроводной технологии, используемой в СКУД, рассмотрим Bluetooth Low Energy (BLE). BLE является одной из беспроводных технологий, наряду с Wi-Fi и NFC, которые используются в набирающих популярность СКУД с мобильным доступом (СКУД, в которой в качестве идентификатора используется смартфон). Устройства, использующие для обмена данными беспроводную технологию Bluetooth Low Energy, подвержены следующим типам атак [2]: Denial of Service (DoS-атака), fuzzing attacks, снифферинг (прослушивание), атака повторами, MITM-атаки (man-in-the-middle). Подробное описание приведенных типов атак на ble-устройства выходит за рамки данной статьи, главное то, что устройства, использующие данную технологию, являются уязвимыми в плане защищенности и подлинности передаваемых данных, поэтому при использовании рассматриваемой технологии необходимо реализовывать дополнительную программную защиту. Дополнительная защита должна обеспечивать конфиденциальность передаваемых данных (обеспечение невозможности получения полезной информации из перехваченного сообщения) и подтверждение их подлинности (подтверждения того, что сообщение полученное пользователем системы получено от другого пользователя системы), также алгоритм обмена должен быть имитостойким (защита от подмена и имитации сообщений).

Далее представлены основные способы защиты информации, передаваемой по незащищенному каналу связи [3]:

1. Шифрование. Обратимое преобразование информации в целях ее сокрытия от неавторизованных лиц. Различают следующие виды шифрования:
   - Симметричное шифрование (шифрование с использованием закрытых ключей):
     - Блочные шифры;
     - Поточные шифры.
   - Асимметричное шифрование (шифрование с использованием пары ключей – открытый и закрытый).
2. Хэширование. Контроль целостности передаваемых данных путем , подсчета хэш-функции входного массива и добавления полученного результата к передаваемому сообщению, также хэш-функции используются в процессе аутентификации.
3. Аутентификация. Проверка подлинности сообщения или пользователя.

На основе представленных способов защиты информации и требований к протоколу обмена в беспроводной СКУД, базирующейся на технологии Bluetooth Low Energy, можно предложить алгоритм защиты, суть которого представлена на рисунках 1 и 2.

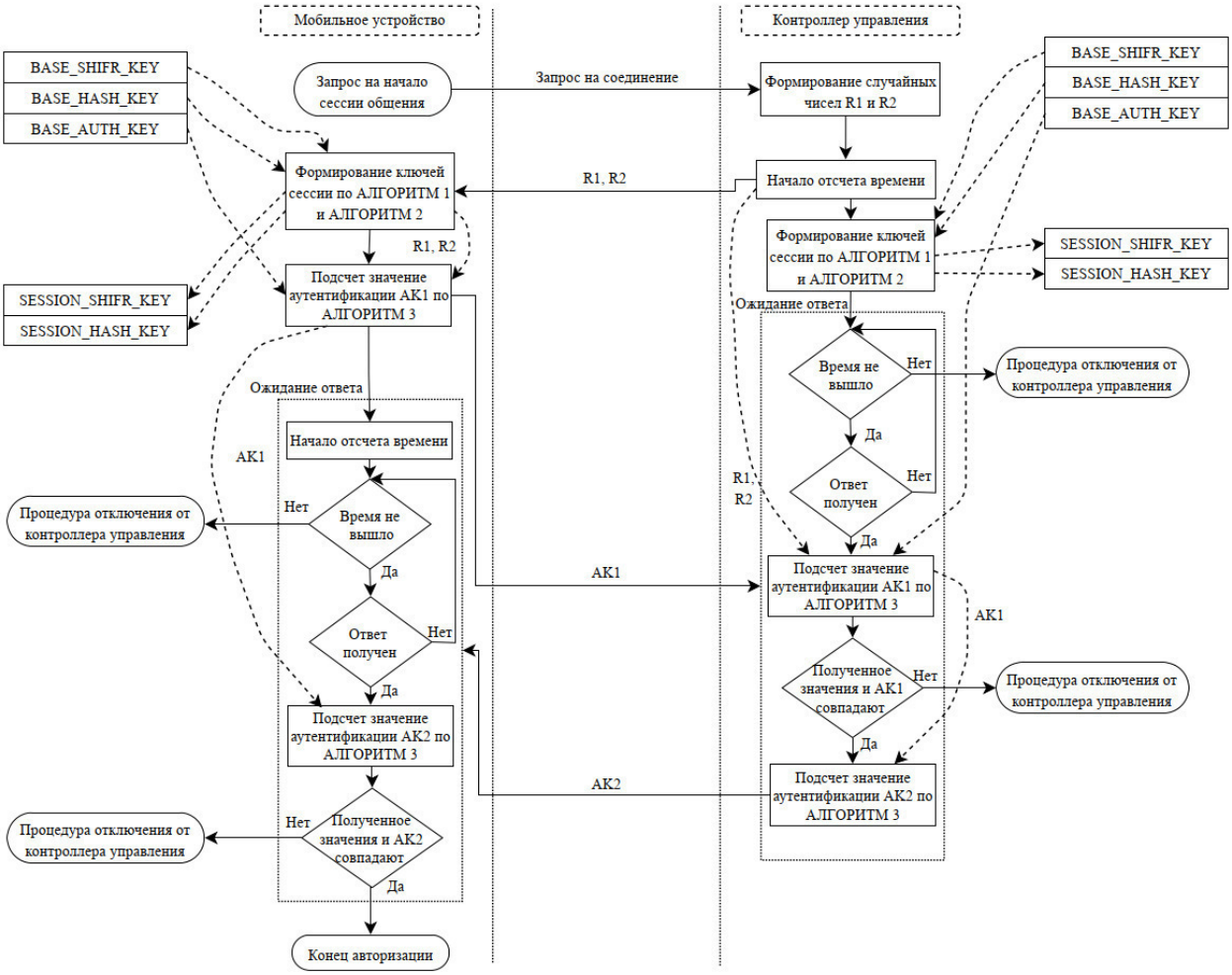


Рисунок 1 – Процесс авторизации при соединении пользователя с системой

Так как в беспроводной мобильной СКУД обмен информацией осуществляется сессионно, то есть от соединения пользователя с системой до его отключения, и требуется обеспечить имитостойкость и защиту от повторов сообщений, то в алгоритме защиты необходимо выделить процесс авторизации в начале каждого соединения пользователя с системой. Предлагаемый вариант авторизации изображен на рисунке 1. На рисунке 2 представлен предлагаемый вариант обмена данными между пользователем (мобильным устройством) и системой. Описан процесс управления пользователя системой механизмом команда-ответ.

Далее представлено краткое описание основных элементов предложенного алгоритма.

- BASE_SHIFR_KEY. Неизменный ключ, является общим для мобильного устройства и контроллера управления. Служит основой для формирования сессионного ключа SESSION_SHIFR_KEY, используемого при шифровании и расшифровки данных (в АЛГОРИТМ 5 и АЛГОРИТМ 6).

- BASE_HASH_KEY. Неизменный ключ, является общим для мобильного устройства и контроллера управления. Служит основой для формирования сессионного ключа SESSION_HASH_KEY, используемого при хэшировании данных (в АЛГОРИТМ 4).
- АЛГОРИТМ 1 – алгоритм формирования сессионного ключа SESSION_SHIFR_KEY из базового ключа BASE_SHIFR_KEY и случайных чисел R1 и R2, сформированного на контроллере управления.
- АЛГОРИТМ 2 – алгоритм формирования сессионного ключа SESSION_HASH_KEY из базового ключа BASE_HASH_KEY и случайного числа R2, сформированного на контроллере управления.
- АЛГОРИТМ 3 – алгоритм получения аутентификационного значения.
- АЛГОРИТМ 4 – криптографическая хэш-функция.
- АЛГОРИТМ 5, АЛГОРИТМ 6 – алгоритмы шифрования и дешифрования соответственно.

При формировании сессионных ключей (АЛГОРИТМ 1, АЛГОРИТМ 2) из базовых необходимо добиться наибольшего рассеивания случайной составляющей.

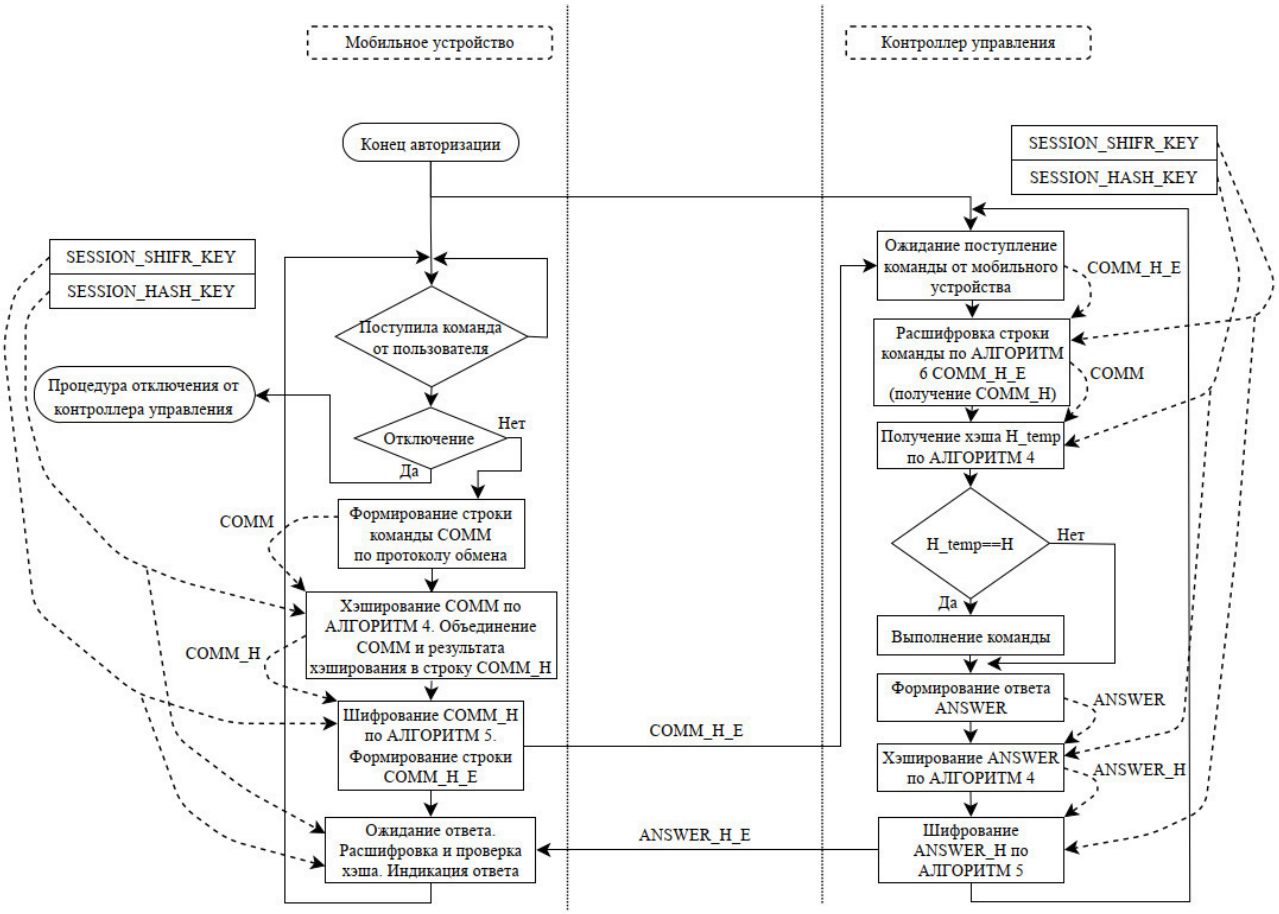


Рисунок 2 – Процесс обмена данными пользователя с системой после авторизации

В предложенном алгоритме защиты вместо аутентификации можно использовать блочное шифрования сообщения с результатом хэш-функции в AEAD-режиме (блочное шифрование с аутентификацией).

В результате исследований на основе требований, предъявляемых в беспроводных системах к защищенности обмена, был предложен алгоритм дополнительной программной защиты, формируемой поверх основного процесса передачи данных.

Литература

1. ГОСТ Р 51241-2008 Средства и системы контроля и управления доступом. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний / Национальный стандарт российской федерации средства и системы контроля и управления доступом – 2009 г.

2. John Padgette. Guide to Bluetooth Security. NIST, 2017. – pp. 40-41. Available at: https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-121r2.

3. Прохорова, О.В. Информационная безопасность и защита информации : учебник / О.В. Прохорова; Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2014. – 113 с.: табл., схем., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438331 (дата обращения: 24.02.2021). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9585-0603-3. – Текст : электронный

А.А. Семкина, ст.; рук. О.В. Булыгина, к.э.н.
(филиал ФБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОБЛАЧНЫХ, ТУМАННЫХ И ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Сегодня многие компании, работающие с огромными массивами данных, для функционирования своих IT-сервисов начинают активно использовать распределенную архитектуру, которая предполагает, что обработка информации осуществляется на собственных серверах, а ее хранение информации – на арендуемом оборудовании.

В первую очередь, появление таких тенденций обусловлено высокой стоимостью создания сложной ИТ-инфраструктуры, необходимой для функционирования корпоративных информационных систем. Это вызвано тем, что внедрение любого нового программного продукта требует дополнительных капитальных вложений, связанных с предоставлением помещений, аппаратных средств, подключением к локально-вычислительной сети организации и т.п.

В условиях же необходимости обеспечения слаженной работы большего количества программных продуктов широкую популярность получают облачные технологии, которые представляют собой услугу по предоставлению через сеть Интернет различных видов ресурсов (процессорное время, оперативная память, дисковое пространство и т.п.) для решения ИТ-задач.

В результате сегодня многие передовые организации начинают переход на облачные сервисы, которые обеспечивают возможности быстрого масштабирования информационных систем, их постоянного мониторинга, а также сокращения затрат на обслуживание [1].

С другой стороны, перед такими организациями остро встают проблемы, связанные с обеспечением информационной безопасности, причем как на стороне клиента, так и на стороне провайдера облачных технологий. Однако следует отметить, что на сегодняшний день уже существуют эффективные административные и технические средства защиты корпоративной информации, которые при правильном использовании обеспечивают надежную работу облачных сервисов и безопасность данных.

Начиная с 2013 года, популярность набирает новый ИТ-тренд, связанный с появлением туманных вычислений (*Fog computing*), которые представляют собой некоторое развитие облачных технологий.

Так, при использовании облачных технологий все вычисления выполняются концентрировано, в одном *data*-центре [3]. Для туманных вычислений характерно разбиение на множество взаимосвязанных компонентов, рассредоточенных по всей планете. В результате все вычисления, подобно «каплям», выполняются несколькими территориально разнесенными центрами, которые осуществляют непосредственную обработку и хранение больших данных.

Главным преимуществом туманных технологий по сравнению с облачными является существенно более высокая скорость вычислений, основанная на близком географическом расположении «капель» и отсутствии необходимости подключения к «облаку», которое может быть расположено на противоположенной стороне земного шара. В результате обработка и передача данных осуществляется в режиме реального времени.

Другим достоинством туманных вычислений является распределение нагрузок на «капли», т.е. отсутствует необходимость в приобретении одного сверхмощного устройства ввиду возможности одновременного использования нескольких, более слабых.

В результате при использовании туманных вычислений существенно реже возникают проблем непредвиденных временных задержек ввиду меньших сетевых нагрузок.

Недостатком же туманных вычислений является сложность их реализации. Например, на сегодняшний день недостаточно исследованы такие вопросы, как равномерное распределение мощностей, а также отслеживание отданного и полученного пакетов данных.

Исходя из особенностей построения и использования туманных вычислений, наибольшие выгоды они способны предоставить предприятиям топливно-энергетического комплекса и транспорта. Другими перспективными секторами развития туманных технологий могут выступать промышленное производство, здравоохранение, образование, торговля.

Еще одним популярным ИТ-трендом являются граничные вычисления (*Edge computing*), которые позволяют обрабатывать и хранить большие данные на конечном устройстве. То есть данная технология обеспечивает работу с данными, расположенными ближе чем при туманных, а тем более при облачных вычислениях.

Изучая преимущества и недостатки граничных вычислений, можно сделать вывод, что положительных аспектов больше, нежели отрицательных.

Одним из главных достоинств граничных вычислений является низкий уровень временных задержек при передаче данных (он практически равен нулю). Это происходит вследствие того, что нет необходимости преодолевать большие расстояния для совершения вычислений, так как они производятся непосредственно на самом устройстве.

Во-вторых, следует отметить высокую надежность вычислений, поскольку данные обрабатываются даже в отсутствии подключения к сети Интернет.

Третьим преимуществом граничных вычислений является высокая безопасность данных, которые хранятся и обрабатываются на устройстве, не проходя через публичное «облако».

Недостатком граничных вычислений считается высокий уровень затрат на приобретение сверхмощного оборудования, а также поиск и подготовку высококвалифицированного персонала. Поэтому нередко подключение к публичному «облаку» является более дешевым решением.

Перспективными сферами применения граничных вычислений могут выступать:

- сложные технологические процессы, требующие управления в режиме реального времени,
- обслуживание оборудования (например, обнаружение неисправностей оборудования в нефтяной отрасли),
- принятие кредитных решений или обнаружение мошенничества в банковской сфере,
- мониторинг логистических процессов (например, контроль условий хранения и транспортировки продуктов),
- сбор данных по продажам в торговой сфере.

Кроме того, граничные вычисления применимы для мониторинга сетевой безопасности, так как данная технология достаточно эффективна в плане предотвращения вирусных атак или распространения вредоносного программного обеспечения.

На основе вышесказанного, можно сделать вывод о том, что ключевым преимуществом граничных и туманных вычислений над облачными технологиями является высокая скорость передачи и обработки больших данных. Таким образом, эти технологии имеют высокие перспективы развития в тех отраслях, где важна обработка информации в реальном времени, поскольку они позволяют производить быстрые вычисления без существенных временных задержек [2].

В то же время следует отметить, что, несмотря на указанные преимущества, в ближайшие годы граничные и туманные вычисления не смогут полностью вытеснить облачные ввиду высоких аппаратных требований. Таким образом, корпоративная ИТ-инфраструктура будет строиться исходя мультиоблачной концепцией, согласно которой в основе «ядра» будет традиционное «облако», дополняемое и расширяемое возможностями туманных и граничных вычислений.

Литература

1. Облачные и граничные вычисления: в чем разница? // CNewsMarket [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://market.cnews.ru/articles/2019-12-24_oblachnye_i_granichnye_vychisleniya (Дата обращения: 01.03.2021)

2. Облачные, туманные и граничные вычисления: отличия и перспективы развития технологий // РБ.РУ [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rb.ru/story/edge-computing/ Дата обращения: 01.03.2021)

3. Туманные вычисления. Fog computing // TAdviser [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Туманные_вычисления_(Fog_computing) (Дата обращения: 01.03.2021)

О.Е. Силина, студ.; рук. Е.И. Лобанева, асс.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

МЕТОДЫ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ О СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

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

В условиях непрерывного роста объема данных по всему миру возникает необходимость в поиске новых решений в области обеспечения хранения и обработки всей поступающей информации. Данное обстоятельство обуславливает возникновение и повсеместное распространение термина big data «большие данные». Big data - это, в первую очередь, инструмент, предназначенный для поддержки принятия решений, работа которого базируется на технологии быстрого анализа данных различных типов и из разных источников с целью получения потока действительных значений [1]. Данное абстрактное понятие предполагает проведение операций над структурированными, неструктурированными и неопределенно структурированными данными больших объемов. Ключевым моментом при сравнении с привычными данными, объем которых варьируется в пределах 1 Гб - 1 Тб является модель хранения – большие данные обычно хранятся и организуются в распределенных и расширяемых файловых системах.

Следует отметить, что в настоящее время на территории Российской Федерации технологии обработки больших данных находятся на начальном этапе по сравнению с ситуацией во всем мире. Осознание возрастания значимости работы с big data приводит к повсеместной интеграции рассматриваемого феномена во многие сферы деятельности.

В общем случае для больших данных выделяют три определяющие характеристики: объем, скорость прироста и самого процесса обработки данных и многообразие, то есть осуществление единовременной работы с данными различных типов. В некоторых интерпретациях выделяют большое количество характеристик, которые и определяют специфику работы с большими данными.

Одной из ведущих проблем в осуществлении анализа big data является их физический объем, а также тот факт, что подавляющее большинство данных в настоящее время практически не обладает метаинформацией, что означает недостаточное раскрытие сведений о признаках и свойствах, которые могли бы поспособствовать осуществлению автоматического поиска и управления большими потоками данных. Наряду с этим ранее накопленный объем информации позволяет ставить абстрактные задачи по анализу данных, которые с успехом могут быть решены человеком-экспертом, в помощь которому эффективно применяются системы анализа численных данных [2, с. 242].

При проектировании big data учитываются ведущие принципы, на которых основаны все современные средства работы с большими данными:

- горизонтальная масштабируемость, включающая в себя увеличение числа вычислительных узлов без существенного влияния на производительность системы;

- отказоустойчивость, непрерывная работа без существенных потерь даже при условии поломки и износа оборудования;

- локальность самих данных, обеспечивающая сокращение расходов на их передачу.

С целью следования всем перечисленным принципам разрабатываются новые методы, позволяющие осуществлять обработку постоянно увеличивающихся в объеме данных. В разных источниках можно встретить несколько вариантов классификации известных на сегодняшний день методов работы с большими данными. Сущность, цели и случаи использования наиболее известных из них представлены в таблице 1[2].

Таблица 1 – Методы обработки big data

Название	Суть метода	Применение
Краудсорсинг (Crowdsourcing)	Классификация и обогащение данных широким и неопределённым кругом лиц без вступления в трудовые отношения	Уместно применять в случаях разовой задачи, решение которой не требует обеспечение обработки сложной системы искусственного интеллекта
Методы класса Data Mining (добыча данных, интеллектуальный и глубинный анализ данных)	Решение целого ряда задач: классификация; кластеризация; ассоциация; регрессионный анализ; анализ отклонений.	Для извлечения из больших данных определенных закономерностей (оценка рисков, прогнозирование спроса и т.д.)
Смешение и интеграция данных	Приведение данных к единому формату (заключается в распознавании текста с фотографий, конвертировании документов и др.), дополнение данных, исключение избыточных данных.	При наличии нескольких источников данных с целью проведения комплексного анализа данных
Машинное обучение и нейронные сети	Нейронные сети работают по единому алгоритму — получают на входе данные, «прогоняют» их через сеть своих нейронов и на выходе выдают результат	Выполнения задач, с которыми справляется человек: распознать лицо, отсортировать фотографии, определить мошенническую банковскую операцию и т.д.
Имитационное моделирование	Построение моделей, описывающих реальное протекание процессов. Представляет собой разновидность экспериментальных испытаний	Осуществление проверки гипотез, тестирование которых на практике не представляется возможным в связи с определенными рисками
Статистический анализ	Для получения точных статистических результатов используют разные методы: простой подсчет процентного соотношения; корреляционный анализ; метод динамических рядов и др.	Для подсчета данных с целью проведения анализа, часто используется как часть других технологий — для имитационного моделирования или предиктивной аналитики.

Визуализация аналитических данных	Представление информации в виде рисунков, диаграмм, с использованием интерактивных возможностей и анимации	Применяется как для получения результатов, так и для использования в качестве исходных данных для дальнейшего анализа.
Предиктивная аналитика	Выделение нескольких параметров, которые влияют на данные	Используется с целью составления прогноза: продаж и поведения клиентов в маркетинге; мошенничества в банковской и страховой сферах и т.д.

Каждый из методов имеет вполне конкретное назначение и способен обеспечить выполнение определенных действий над большими данными с целью проверки выдвинутых гипотез, вывода статистических данных в текстовом виде или графического представления результатов, составления прогноза и т.д., что видно из представленной таблицы. Как уже отмечалось ранее, рассматриваемая в текущей работе область стремительно развивается, что определяет острую необходимость в разработке и внедрении новых методов осуществления работы с большими данными, которые могли бы способствовать решению ведущих проблем рассматриваемой области. Исследования последних лет показали, что для проведения анализа больших данных может успешно использоваться многоуровневая архитектура, способная генерировать результат в кратчайшие сроки по сравнению с другими системами.

В текущей работе предлагается расширить спектр возможностей обработки информации за счет решения сразу нескольких задач при использовании только одного метода, осуществления работы с данными очень больших объемов без угрозы существенного снижения производительности.

Следует дать общее описание методу. Предполагается осуществлять поиск информации, в том числе и скрытой, по заданной тематике, сопровождающийся проведением перекрестного анализа данных из разных источников и их преобразованием в более удобные форматы. Далее будет проводиться отбор наиболее ценных сведений и вывод данных в виде рангового списка.

Так же, как и при использовании любого из ранее перечисленных методов, обработка данных начинается с выбора источника данных. Обычно, в качестве источника рассматриваются уже существующие БД, вокруг которых и строятся системы Data mining, однако данное понятие может включать в себя любой модуль, предоставляющий данные, достаточные для проведения комплексного анализа. В связи с отсутствием детального описания источников исходных данных на некоторых этапах работы могут возникать ограничения, поэтому обычно выделяют определенные способы получения данных. Наиболее простым и наглядным из них является прямое сканирование web-страниц. Данный способ получения информации и будет использоваться в рассматриваемом методе. Его выбор обуславливается не только простотой в реализации, но и наличием большого количества готовых систем, осуществляющих выборку не только по предварительно сформулированным правилам поиска, но и по вводимым ключевым словам.

После выбора исходных данных происходит определение основных характеристик имеющихся документов. Любой текст в исходном виде не может быть подвержен автоматическому проведению анализа. В связи с этим тексты из разных источников должны сначала пройти подготовку для дальнейшей их обработки. Важным моментом является определение этапов преобразования текста, которые напрямую зависят от дальнейшей работы по обработке больших данных и задачи, которые в итоге должны быть решены. Обязательным положением является соблюдение баланса количества рассчитываемых характеристик, поскольку при их недостатке или переизбытке возникает риск больших затрат на их расчет и использование вычислительных ресурсов. В соответствии с этим рассматриваемый метод предполагает проведение следующих этапов преобразования исходных текстов:

- определение некоторых характеристик документов таких, как положение слов в документе, частота их использования, количество ссылок на документ;
- проведение некоторых преобразований, которые включают в себя исключение шумовых слов, то есть слов, не несущих никакой смысловой нагрузки для алгоритмов анализа, устранение опечаток и имеющихся ошибок, а также стемминг или лемматизация (один из этих способов выбирается в зависимости от самой задачи), значительно упрощающие дальнейшее проведение анализа данных. При реализации стемминга проводится замена слов на их основную форму посредством усечения окончания или поиска основы в таблице, что способствует восприятию разных форм слова. Лемматизация же предполагает преобразование слов в принятую нормальную форму (начальную форму – для существительных, неопределенную форму – для глаголов и т.д.) [2].

Таким образом, вся информация, полученная из источника, преобразуется в необходимые для дальнейшей обработки форматы и собирается в централизованном хранилище данных.

На следующем этапе, на базе методов Data mining происходит извлечение информации, которая удовлетворяет всем предъявляемым требованиям и способствует решению поставленной задачи. Извлеченная информация также может храниться в структурированном хранилище.

Далее происходит оценка (автоматическая или проводимая специалистом) полезности выделенных сведений для решения поставленной задачи. Этап ранжирования включает в себя сортировку документов в списке по степени принадлежности заданной тематике и важности входящих в них сведений для решения поставленной задачи. Сортировка происходит на основе выделения конкретных параметров (в данном методе используются статические параметры (выделение текста, обладающего большим набором ключевых слов соответствующей тематики) и свойства ресурса, из которого был получен рассматриваемый документ). Каждый агент определяет и предоставляет сведения о ранге документов конкретной группы, с которой он осуществляет работу. Данная мера позволяет проводить сравнительный анализ рангов документов всех типов.

Подводя итог, следует еще раз отметить, что одной из наиболее актуальных проблем в настоящее время является решение задачи быстрой и корректной

обработки данных больших объемов. В рамках решения данной проблемы формируются новые методы, способствующие существенному упрощению проведения различного рода операций над большими данными. Разработка нового метода требует учета вариаций формулировки требований, предъявляемых к выходной информации, а также возможных рисков, связанных с практическим применением конкретного метода. Как правило риски связаны с большими затратами ресурсов на обработку данных, не являющихся ценными для достижения поставленной цели и ограниченностью бюджета. В текущей работе был рассмотрен метод, учитывающий данные риски. Во-первых, он сам по себе направлен на отбор и сортировку в соответствии с рангом существенной в конкретном случае информации. Во-вторых, на сегодняшний день уже создано большое количество инструментов, при помощи которых можно решить каждый из этапов обработки больших данных в рамках комплексной системы, что открывает возможности для создания аналитической системы в рамках относительно небольшого бюджета. Рассмотренный метод может применяться в Интернет-пространстве для поиска соответствующей запросам пользователей информации, а также для формирования клиентской базы в соответствии с вводимыми параметрами потенциальных клиентов посредством вывода списка наиболее подходящих пользователей.

Литература

1. Dlazquez D., Domenech J.. Big Data sources and methods for social and economic analyses // Technological Forecasting and Social Change. 2018. Vol. 130. P. 99-113.
2. Хашковский В.В., Шкурко А.Н. Современные подходы в организации систем обработки больших объемов данных // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 8 (157). С 241-250.

А.С. Федулова, асп.; А.С. Войцицкий, студ.; рук. Я.А. Федулов, к.т.н.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОБЗОР СРЕДСТВ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ПРОГРАММНОГО КОДА

В настоящее время в высших учебных заведениях активно развивается процесс внедрения параллельных высокопроизводительных вычислительных систем (ПВВС) различных типов (вычислительные кластеры, мультикомпьютеры, грид системы, гетерогенные параллельные вычислительные системы) с целью обучения студентов методам и технологиям распараллеливания программ, создаются соответствующие курсы и лабораторные занятия. Для национальных исследовательских университетов кроме обучения студентов также характерно задействование ПВВС в решении научных задач, как правило, требующих значительного количество ресурсов и времени на выполнение.

Среди факторов, которые способствуют развитию ПВВС, отмечается повышение роли их использования для решения слабо структурированных и трудно формализуемых задач, необходимости большого количества разнокачественных операций. Эти особенности существенно усложняют процесс выбора решений с использованием существующих методов и разработанных про-

граммных средств, но при этом поиск решений является наиболее актуальным вопросом для дальнейшего развития данных систем.

Анализ работ авторов, изучающих вопрос распараллеливания программ, показал, что перспективным направлением в данной области является применение различных языков параллельного программирования, разработанных для гибридных вычислительных систем.

При развертывании и сопровождении высокопроизводительных ПВВС одной из трудно решаемых проблем является сложность написания параллельных версий программ, наиболее эффективно использующих аппаратные и архитектурные ресурсы ПВВС [1]. Неэффективная программная реализация решаемых задач влечет за собой сложность настройки программ-планировщиков, которая, в свою очередь, характеризуется следующими особенностями:

аппаратная гетерогенность и неоднородность вычислительных узлов, и динамически изменяющаяся нагрузка требуют специального учёта;

разнородность заданий по характеристикам, взаимовлиянию характеристик, значимости и ресурсным требованиям;

требование учета предпочтений пользователя и достижения желаемых показателей качества выполнения заданий;

наличие неточной, неполной и трудноформализуемой информации о характеристиках выполняемых задач.

Данные проблемы могут быть учтены в гетерогенных ПВВС, которые имеют возможность выполнять параллельные программы как средствами одного или нескольких (как правило, многоядерных) центральных процессорных устройств (CPU), так и средствами графических ускорителей (GPU) изначально предназначенных для параллельного выполнения большого числа матричных вычислений.

Основным технологическим подходом для распараллеливания программ на данный момент является расширение возможностей последовательной версии программы, написанной на распространенном языке высокого уровня с использованием специальной разметки и инструкций. Альтернативным и менее удобным методом является использование встроенных средств отдельных языков программирования высокого уровня для работы с потоками (Multithreading). В случае центральных процессоров (CPU) лидирующими технологиями на данный момент выступают OpenMP, PVM, MPI, Multithreading. А в случае распараллеливания средствами графических ускорителей (GPU) наиболее распространены технологии расширяющей разметки CUDA и OpenCL.

Каждая из перечисленных технологий распараллеливания программ обладает своими сильными и слабыми сторонами, которые во многом зеркальны относительно соответствующей платформы. Кроме этого, технологии не являются взаимоисключающими, поскольку компиляторы поддерживают совместное использование перечисленных технологий в рамках одной разрабатываемой программы [3].

При работе с языками параллельного программирования есть два основных подхода: расширение последовательного языка с помощью использования специальных вставок для параллелизма, при этом сохраняется структура последовательной программы и использование отдельного языка параллельного программирования. При этом необходимо выбрать технологию наиболее подходящую для решения поставленной задачи.

Расширение для последовательных языков, использующих API средства для описания параллельных процессов: PVM, MPI и Multithreading [2]. В приведенных языковых средствах параллелизм описывается на уровне процессов, при этом необходимо выделить основные понятия процессных моделей: способы порождения, взаимодействия процессов, асинхронность, синхронизация, одновременность, строгое упорядочивание.

Системы, обладающие многопоточностью, позволяют приложениям ускоряться при работе с независимыми задачами, так как большое количество потоков имеет доступ к одним и тем же ресурсам и контекстам. Многопоточность в зависимости от технических характеристик системы может быть реализована двумя способами: делением времени и исполнением потока в отдельном процессоре или ядре. При наличии у вычислительной системы одного процессора многопоточность реализуется делением времени, при этом устанавливается операционная система, дающая возможность центральному компьютеру переключаться между программными обеспечениями, запущенными в разных потоках. Переключение между потоками осуществляется очень быстро, и пользователь воспринимает, что программное обеспечение запущено параллельно. Системы с несколькими процессорами или ядрами реализуют многопоточность, в них потоки исполняются одновременно в отдельных процессорах или ядрах.

К недостаткам многопоточных приложений относят: отказ работы всей программы из-за ошибки в одном потоке, синхронизация, блокировки, конкуренция, тупики.

Отметим преимущества многопоточных приложений по сравнению с последовательными: упрощение программы; время исполнения быстрее; меньшее время ожидания; эффективное потребление ресурсов; быстрое взаимодействие между потоками; повышение производительности процесса.

Языки со встроенной поддержкой параллелизма имеют ограничения, так как применяют конкретные модели, а некоторые языки (C++, C#, Java) позволяют объединять модели параллельного программирования. При изменении структуры приложения в данных языках необходимо только изменить библиотеки, которые будут соответствовать новому требованию.

Для систем с общей памятью разработан стандарт OpenMP с комплексом библиотек, использующий переменные окружения и директивы компилятора, необходимые чтобы реализовать многопоточные приложения в системах с множеством процессоров и процессорных ядер.

В системах с распределенной памятью обмен информацией осуществляется по стандарту MPI, что удобно при решении задач на нескольких узлах параллельной вычислительной системы.

Стандарт параллельного программирования PVM связывает гетерогенный набор компьютеров в единую сеть, чтобы использовать как единый высокопроизводительный параллельный компьютер для осуществления одновременной и параллельной обработки данных. PVM работает с моделями параллельного программирования MIMD и SIMD.

Среда PVM (Parallel Virtual Machine) является одной из первых систем программирования, которая строится на базе передачи сообщений и широко используется. Данная среда разрабатывалась для связи независимых компьютеров в виртуальную вычислительную машину, которая могла бы управляться как единый вычислительный ресурс. PVM используется для гетерогенных систем с распределенной памятью. Применяется для однопользовательских (мелко- и среднемасштабных) кластерных программ.

Для наиболее эффективного использования аппаратных и архитектурных ресурсов ПВВС предлагается совместное использование технологий OpenMP и MPI, они являются наиболее распространенными для ПВВС [4].

По результатам анализа представленных технологий, была построена сравнительная таблица 1, в которой выделены основные особенности каждой из рассмотренных средств распараллеливания программ.

Таблица 1 – Сравнение средств распараллеливания программ

Средства распарал-леливания / Особенности распараллеливания	OpenMP	PVM	MPI	OpenMP + MPI	Средства, использующие встроенные средства Multithreading
Поддержка гетерогенных вычислений	Нет	Да	Да	Да	Нет
Обеспечение межузловой связи	Нет	Да	Да	Да	Нет
Методика программирования	SSMP	SPMD с передачей сообщений	SPMD с передачей сообщений	SPMD с передачей сообщений	SSMP
Поддерживаемые языки программирования	C/C++, Fortran, C#	C/C++ и Fortran	C/C++ и Fortran	C/C++ и Fortran	C/C++, Fortran, C#, Java
Мобильность и переносимость	Да	Да	Да	Да	Да
Поэтапное (инкрементное) распараллеливание	Да	Нет	Нет	Частично	Да
Работа с общей памятью	Да	Нет	Нет	Да	Да

Сравнительный анализ существующих средств распараллеливания, отраженный в таблице 1, позволяет сделать вывод, что наиболее универсальным подходом является использование технологий распараллеливания OpenMP и MPI. Совместное использование данных технологий распараллеливания программ применяется в широком спектре ПВВС различных конфигураций, поскольку сильные стороны одной технологии дополняют слабые стороны другой.

Использование языков параллельного программирования обосновано тем, что с помощью последовательных языков невозможно осуществить моделирование работы сложных систем, в которых могут быть асинхронными события, необходимость решения многоаспектных вычислительных задач, а также одновременное выполнение нескольких процессов. Необходимо определить естественный параллелизм и выбрать языковые средства для написания параллельной программы, а также компиляторы, позволяющие получить исполняемый файл.

Литература

1. Волосова А.В. Параллельные методы и алгоритмы: учебное пособие. М.: МАДИ. 2020. 176 с.
2. Кутепов В.П., Фальк В.Н. Формы, языки представления, критерии и параметры сложности параллелизма // Программные продукты и системы. 2010. № 3. С. 2.
3. Сальников А.М., Ярошенко Е.А., Гребенник О.С., Спиридонов С.В. Введение в параллельные вычисления. Основы программирования на языке Си с использованием интерфейса MPI. М.: ИПУ РАН, 2010. – 124 с.
4. Федулов А.С., Войцицкая А.С., Федулов Я.А. совместное использование технологий распараллеливания OpenMP и MPI на гибридном вычислительном кластере // Энергетика, информатика, инновации – 2018. Сборник трудов VIII Международной научно-технической конференции. В 3-х томах. 2018. С. 305-309.

А.С. Федулова, асп.; А.С. Войцицкий, студ.; А.М. Тычинская, студ.; В.А. Якушев , студ.; рук. Я.А. Федулов, к.т.н.;
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ И АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ УЧЕТА ПАРАДОКСА СИМПСОНА

В настоящее время все большее значение приобретает применение различных методов обработки статистических данных, позволяющих осветить количественную сторону качественно определённых массовых организационно-технических, социально-экономических явлений и процессов. Применение статистических методов позволяет проводить оценку, описывать структуру и движение во времени исследуемых процессов, выявлять действующие количественные зависимости, тенденции и закономерности, в заданных условиях места и времени. Полученные при помощи статистических методов количественные оценки и выявленные закономерности применяются для принятия решений и прогнозирования развития во времени исследуемых процессов в экспертных системах, системах поддержки принятия решений (СППР) и интеллектуальных системах анализа данных, а модули и программные средства, реализующие методы статистической обработки, зачастую являются неотъемлемой частью данного типа систем.

Одним из основных и наиболее широко применяемых статистических методов, позволяющим подчеркнуть общие черты исследуемой совокупности

объектов по определенным характеризующим признакам исследуемого процесса, является метод получения средних величин или средних оценок.

Широта применения и популярность данного метода обработки статистических данных обуславливается его положительными чертами, к которым следует отнести следующие:

- наглядность предоставления и интерпретации полученных оценочных величин отражают удобство и прозрачность в применении данного метода;
- вариативность и гибкость применения статистического метода средних величин основываются на широком диапазоне вариантов применяемых формул в зависимости от требуемого вида получаемых средних оценок (средняя арифметическая, квадратическая, кубическая, гармоническая, мода, медиана и.т.д.);
- характер исходных данных, поставленная цель исследования, вид и взаимосвязи признаков влияют на форму, вид и методику расчета средней величины;
- поглощение отклонений по значениям признака для отдельных единиц совокупности, обусловленных действием случайных факторов и учет изменений, вызванных действием основных факторов на исследуемый объект, что отражает общую эффективность метода;
- характеризующие совокупность в целом *общие средние* величины в сочетании с отражающими особенности отдельных групп – *групповыми*, существенно расширяют границы и возможности анализа данных сложных систем;
- простота применения и программной реализации.

Несмотря на указанные положительные черты свойственные статистическому методу вычисления средних величин следует также отметить, что его применение имеет ряд существенных ограничений, выходя за рамки которых применение метода средних приводит к неверной трактовке ситуации и полученные на его основе статистические оценки искажают смысл исходных данных. К ограничениям в применении метода средних величин относят следующие:

- статистический метод средних значений следует применять только к качественно однородным совокупностям, что вынуждает совмещать его использование с методом группировок;
- средняя величина должна вычисляться только по достаточно большому числу единиц исследуемой совокупности, и неспециалисту в предметной области сложно определить возможность применения метода по данному критерию;
- каждая средняя величина должна характеризовать изучаемую совокупность только по одному признаку и для всесторонней оценки необходимо использовать систему взаимосвязанных средних значений.

Кажущаяся простота в применении метода средних величин в совокупности со сложностью определения правильности и целесообразности его использования

без привлечения экспертов в предметной области зачастую приводит к ошибкам в оценке исследуемых данных и различного рода парадоксам.

Парадокс Симпсона представляет собой феномен вероятности и статистики, в котором тренд появляется в нескольких различных группах данных, но исчезает или обращается вспять при объединении этих групп. Он был впервые использован в качестве примера, чтобы проиллюстрировать неспециалистам и общественности, какие вводящие в заблуждение результаты могут генерировать неверно применяемые статистические методы на основе средних величин. Графическое представление парадокса Симпсона представлено на рисунке 1.

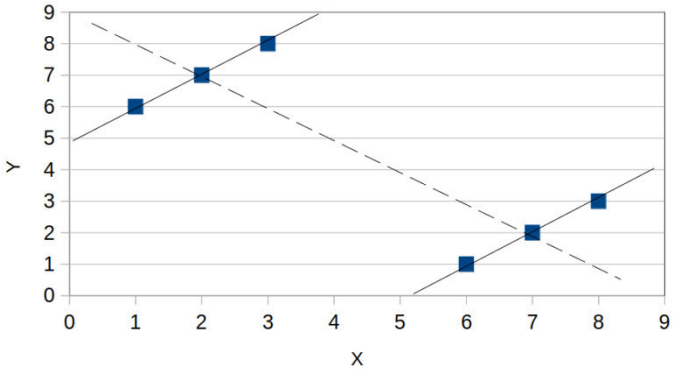


Рисунок 1 – Графическое представление парадокса Симпсона

На рисунке 1 положительная тенденция проявляется для двух отдельных групп данных, но при их объединении тенденция меняется на отрицательную.

В работе [1] упоминается о типичном случае возникновения данного парадокса на примере средних статистических показателей игроков профессионального бейсбола. Парадокс заключается в том, что один игрок по отношению к другому может иметь более высокий средний показатель результативности в год, каждый год в отдельности в течение ряда лет. Однако, этот же игрок будет иметь более низкий средний уровень за все эти годы, если средняя величина вычисляется на всем диапазоне времени. Парадокс был продемонстрирован на основе данных, иллюстрирующих количество успешных отбитий мяча на подаче, для двух профессиональных бейсболистов в течение двух лет игры. Эти данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Пример парадокса Симпсона в средних игровых статистических показателях профессиональных бейсболистов

Бейсболист	Первый год		Второй год		Комбинированный показатель за 2 года	
Игрок 1	12/48	0.250	183/582	0.314	$\frac{(12+183)}{(48+582)}=\frac{195}{630}$	**0.310**
Игрок 2	104/411	**0.253**	45/140	**0.321**	$\frac{(104+45)}{(411+140)}=\frac{149}{551}$	0.270

В таблице 1 средние показатели первого игрока за каждый год ниже, чем у второго, но комбинированный средний показатель результативности,

вычисляемый предложенным образом за эти два года выше. Таким образом, парадокс Симпсона на основе приведенных статистических показателей проявляется в том, что первый игрок за два года является более результативным игроком по комбинированному оцениваемому показателю, что не соответствует ожиданиям, поскольку второй игрок демонстрировал стабильно более высокую результативность по каждому году отдельно.

Несмотря на то, что данные представлялись по одному игровому показателю и число единиц исследуемой совокупности являлось достаточным для применения метода средних величин, при расчете комбинированного показателя был нарушен принцип однородности исследуемых совокупностей, что не является очевидным для неспециалиста в применении статистических методов и воспринимается как своего рода парадокс.

Распространенным способом, позволяющим вычислить комбинированный показатель, избежав искажения результатов, является выравнивание исследуемых совокупностей по общему числу оцениваемых единиц (в данном случае по знаменателю), что позволяет соблюсти принцип однородности. Вычисленный комбинированный показатель результативности за два года с учетом указанных корректировок представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Скорректированное вычисление среднего комбинированного показателя в игровых статистических данных профессиональных бейсболистов

Бейсболисты	Первый год		Второй год		Комбинированный показатель за 2 года	
Игрок 1	12/48	0.250	183/582	0.314	$\frac{(145{,}5+183)}{(582+582)}=\frac{328{,}5}{1164}$	0.282
Игрок 2	104/411	**0.253**	45/140	**0.321**	$\frac{(104+132{,}11)}{(411+411)}=\frac{236{,}11}{822}$	**0.287**

Тот же результат мог быть получен нахождением среднего арифметического от уже усредненных оценок по годам для каждого спортсмена.

Другим примером искаженного представления статистических данных с применением метода средних величин без учета парадокса Симпсона является анализ результативности киберспортсменов авторитетным рейтинговым агентством [2]. Спортсменам каждый месяц присваивается рейтинг, методика расчета которого основана на применении взвешенных средних величин по различным игровым параметрам, сведенным в одно значение. В качестве примера рассматривается данные Александра Костылева за 2020 год в киберспортивной дисциплине Counter-Strike: Global Offensive, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Статистические данные киберспортсмена в рейтинговом агентстве

	Месяц												**Год**
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	
Рейтинг	1.13	1.23	1.22	1.34	1.29	1.30	1.86	1.45	1.43	1.40	1.35	1.34	**1.36**

Общая рейтинговая оценка за 2020 год у данного спортсмена указана агентством равной 1.34, в то время как при расчете среднего арифметического по месяцам года выходит 1.36.Занижение оценки происходит, поскольку вычисление за год базируется на смешивании разнородных параметров без учета возможного эффекта парадокса Симпсона. К сожалению, авторы методики не приводят детальных формул расчета группового рейтингового показателя за месяц, но учитывая получившиеся расхождения, можно сделать вывод о возможных ошибках в применении метода средних величин.

К основным методам учета парадокса Симпсона следует отнести: визуализацию и удобное представление данных; возможность детализации данных для выявления смешивающих промежуточных переменных и причинно следственных связей; привлечение экспертов; применение корректирующих формул; кластерный анализ; соблюдение общих ограничений в применении метода средних величин.

Современные программные средства обработки статистических данных, как правило, имеют высокую стоимость и предназначены в основном для специалистов в данной области и не акцентируют свое внимание отдельно на выявлении парадокса Симпсона.

В рамках исследуемой темы на основе языка высокого уровня C# были разработаны программные средства отображения и анализа статистических данных для учета и устранения негативных эффектов парадокса Симпсона. Основное рабочее окно спроектированных программных средств представлено на рисунке 2.

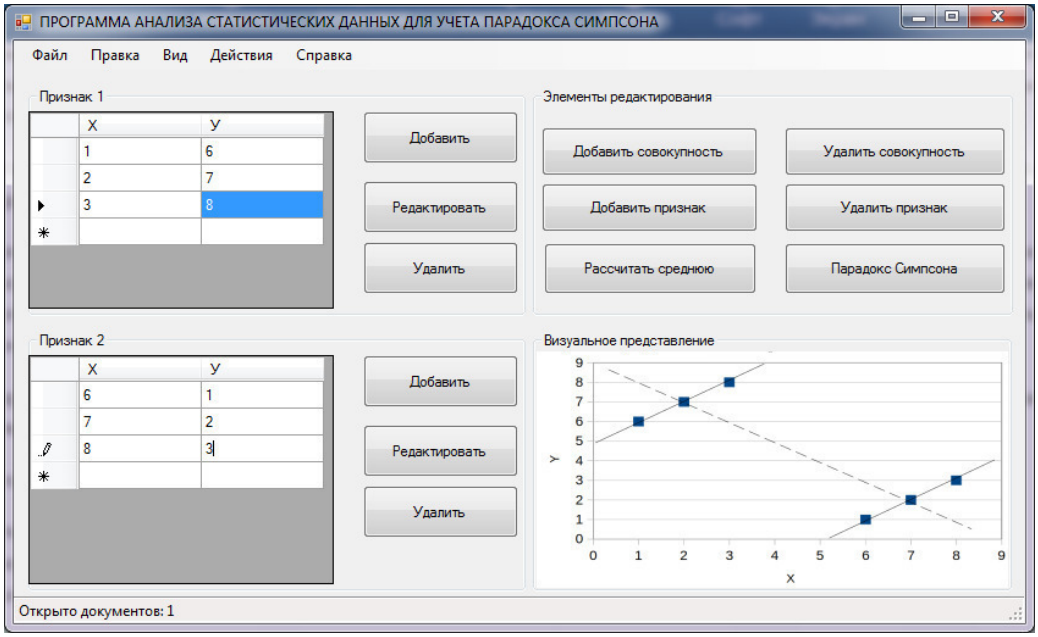


Рисунок 2 – Программные средства для учета парадокса Симпсона

Разработанные программные средства позволяют отображать в наглядном виде, хранить, изменять и обрабатывать статистическую информацию, разделенную по различным категориям и типам критериев. Представленные программные средства по выделенным в работе факторам позволяют определять наличие или отсутствие парадокса Симпсона в хранимых статистических данных

и предлагают наиболее подходящий метод получения усредненных оценок по ним. В дальнейшей работе планируется расширение функциональных возможностей разработанных программных средств, добавление методов кластерного анализа, способов обработки экспертных данных, наполнение банка примеров, отладка и тестирование модулей.

Литература

1. Ken Ross, A Mathematician at the Ballpark: Odds and Probabilities for Baseball Fans. Plume; Reprint Edition – 2007 – P. 224.
2. CS:GO News & Coverage | HLTV.org [Электронный ресурс], URL: hltv.org. Дата обращения: 10.03.2021.
3. Рудяга, А.А., Трегубова А.А., Федотова Э.А. Компьютерно-ориентированный практикум по применению статистических методов и моделей: учебное пособие. Ростовский государственный экономический университет (РИНХ). Ростов-на-Дону: Издательско-полиграфический комплекс РГЭУ (РИНХ), 2016. – 204 с.

А.С. Шурыкин, маг.; рук. Б.В. Окунев, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СХЕМА АУТЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ СМАРТ-КАРТ ДЛЯ ГЛОБАЛЬНЫХ СЕТЕВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Децентрализация во всех сферах жизни привела к развитию сетей Grid. Grid-вычисления включают в себя совместное использование разнородных ресурсов, которые расположены в географически распределенных местах, принадлежащих разным административным доменам. Обмен данными в сети − это не обмен файлами, а скорее доступ к компьютерам, программному обеспечению, данным и другим ресурсам. Grid предполагает создание динамической виртуальной организации. Каждая виртуальная организация состоит из пользователей и их ресурсов, а также любых других сервисов, объединенных общей целью. Каждый пользователь или ресурс доступен из разных административных доменов. Каждый пользователь / ресурс имеет свою собственную политику доверия, которая требует сопоставления политик доступа от локального к глобальному и от глобального к локальному.

Поскольку аутентификация является точкой входа в каждую сеть, была предложена новая схема аутентификации на основе смарт-карт. Предлагаемая схема аутентификации использует биометрические данные, встроенные в смарт-карту, вместе с идентификатором и паролем пользователя. Обсуждается экономия времени предложенной схемы по сравнению с существующей схемой аутентификации на основе Secure Socket Layer (SSL) (протокол защищённых сокетов) [1].

Существующие схемы аутентификации относятся к схеме двухфакторной аутентификации, которая включает имя пользователя / пароль и некоторые карты, подобные тем, которые используются в банках. Безопасность сетевой среды развернута в промежуточном программном обеспечении, которое используется для доступа к сети. Примерами промежуточного программного обеспечения Grid являются UNICORE (унифицированный интерфейс для вычислительных ресурсов), Globus, Legion и Gridbus [1].

Предлагаемая схема аутентификации оптимизирует безопасность сетевой среды за счет добавления дополнительных функций, таких как биометрические данные в смарт-карту, для оптимальной аутентификации.

Аутентификация пользователей уже давно обсуждается, чтобы повысить безопасность любой системы на самом начальном уровне. Были использованы многие методы, такие как системы на основе паролей, системы на основе идентификаторов и т.д. Во всех начальных системах аутентификации на удаленной основе таблица верификатора должна быть размещена на стороне сервера, что становится проблемой, если сервер скомпрометирован.

В этой статье рассматривается удаленная система аутентификации, которая очень хорошо подходит для Grid. На основе существующих систем удаленной аутентификации разработана усовершенствованная система. Чтобы избежать поддержки таблицы верификатора.

Грид-среда создается с помощью программных библиотек общего назначения, известных как промежуточное ПО. Среда Grid основана на многоуровневой архитектуре, как представлено на рисунке 1 [1].

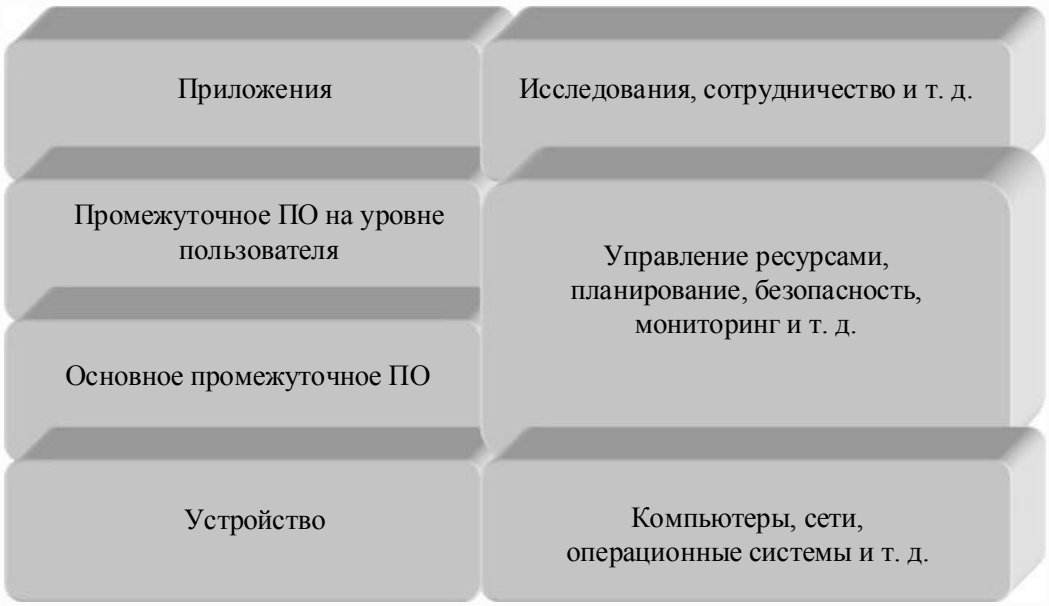


Рисунок 1 – Многослойная архитектура сетки

На рисунке 1 функции безопасности видны в промежуточной части уровня сетки. Существующее решение безопасности использует архитектуру Open Grid Services Architecture (OGSA). OGSA позволяет интегрировать ресурсы в распределенных, гетерогенных, динамических виртуальных организациях как внутри одного предприятия, так и поддерживая совместное использование внешних ресурсов и коммуникации с поставщиками услуг. OGSA использует GSI, который, в свою очередь, зависит от SSL на основе сертификатов для аутентификации и передачи сообщений WS-Secure Conversation и их конфиденциальности. Существующая система, основанная на OGSA и GSI, имеет несколько базовых решений безопасности для решения критериев аутентификации и авторизации [2].

Масштабируемость, неоднородность и увеличение числа атак привели к необходимости новой структуры безопасности, основанной на существующей архитектуре с дополнительными функциями для борьбы с повседневными атаками.

Предлагаемая схема аутентификации состоит из трех этапов, таких как этап регистрации, этап входа в систему и этап взаимной аутентификации. Добавлена дополнительная фаза смены пароля, чтобы пользователь мог изменить свой пароль при необходимости. На каждом этапе для пользователя и сервера определяются отдельные операции. Предлагаемая методология аутентификации показана на рисунке 2.

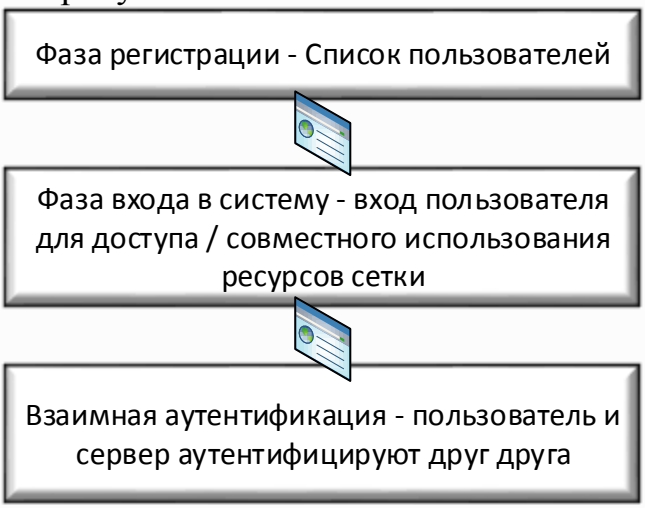


Рисунок 2 – Предлагаемая методология аутентификации

На этапе регистрации на основе сведений, предоставленных пользователем, а также входных данных, предоставленных сервером, данные смарт-карты сохраняются и передаются пользователю через защищенный носитель. Только во время входа в систему и фазы взаимной аутентификации пользователь и сервер аутентифицируются друг для друга. Как только взаимная аутентификация прошла успешно, пользователь может перейти к следующей операции, связанной с транзакцией данных [3].

На этапе инициализации сервер хранит в своей базе данных как асимметричный, так и симметричный ключ. Когда пользователь запрашивает регистрацию, сервер принимает хешированный пароль пользователя безопасным способом. Таким образом гарантируется, что сервер не знает фактических данных и что данные не хранятся открыто в какой-либо базе данных на сервере. Достоверность пользователя проверяется на основе сравнения хешированных данных, а не исходных данных. Этот метод хранения гарантирует, что данные пользователя не будут потеряны ни при каких обстоятельствах.

Все хешированные данные хранятся в базе данных сервера регистрации / аутентификации, а зашифрованные данные, необходимые для дальнейшего использования пользователем, хранятся на смарт-карте и отправляются пользователю. Затем пользователь использует смарт-карту для дальнейшего доступа к среде Grid. Смарт-карта выполняет первоначальную проверку пользователя, а

затем пересылает данные пользователя на сервер, где выполняется дальнейшая аутентификация. В предлагаемой схеме и пользователь, и сервер проверяют друг друга, и, следовательно, это полная взаимная аутентификация. Только тогда, когда и пользователь, и сервер удовлетворяют критериям проверки, происходит передача данных. Если проверка пользователя не удалась, она отклоняется или пользователю предлагается начать аутентификацию с начала фазы входа в систему [3].

Предлагаемая схема аутентификации обеспечивает повышенную безопасность с оптимальным общим временем, затрачиваемым на операцию. Схема аутентификации может быть сделана более безопасной, используя алгоритм DES (алгоритм для симметричного шифрования), он увеличивает критерии безопасности, но также увеличит общее время, необходимое для аутентификации. Повышая безопасность на этапе аутентификации, можно попытаться свести к минимуму любые другие злонамеренные внутренние атаки, а также уменьшить внешние атаки. Увеличение времени при регистрации носит разовый характер и поэтому не считается недостатком. Биометрические данные, используемые для аутентификации, также могут использоваться в процессе последовательной авторизации, тем самым уменьшая используемое пространство базы данных за счет повторного использования данных, используемых при аутентификации. Данные, используемые для аутентификации, также могут использоваться для авторизации пользователя для доступа к ресурсам.

Литература

1 Мейер Д., Лейш Ф., Хорник К. Анатомия сети: создание масштабируемых виртуальных организаций // Исследования атак, вторжений и защиты. 2019.№ 40(181). С. 37–49.

2 Фикко М., Рак М. Стратегия скрытого отказа в обслуживании в облачных вычислениях. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М , 2019. - 274 с.

3 Распределенное и совместное обнаружение вторжений в облачных сетях [Электронный ресурс]: URL: https://doi.org/10.1145/3009925.3009932 (11.10.2020).

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

1. *Ариненков Г.А., Гордиевский Д.Д. ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ВЕЛИЧИНУ ЕЕ ПОТЕРЬ* 3
2. *Баранов П.С., Иванова Т.В., Долецкая Л.И., МЕДОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4 кВ.* 8
3. *Баранов П.С., Долецкая Л.И. ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ ВЛ ПРИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРАХ* 10
4. *Бешта О.К., Мурашкин А.А., Красикова С.Н., Шунаев С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ КОМУТАЦИЯХ В СЕТЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА* 13
5. *Блакунова С.И., Долецкая Л.И. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ* 16
6. *Богданов А.Д., Долецкая Л.И. НОРМАТИВНЫЕ ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4 КВ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ* 20
7. *Бонадысев К.О., Матюшин М.Ю., Рыжкин Д.А., Андреенков Е.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУТАЦИИ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ»* 23
8. *Будехин А.Д., Кавченков В.П. НАДЕЖНОСТЬ ВЛ 110КВ И СПОСОБЫ ЕЁ ПОВЫШЕНИЯ* 28
9. *Голдесов И.Н., Голдесов Д.Н., Вайтеленок Л.В. АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, РЕАГИРУЮЩИЕЙ НА АВАРИЙНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИГНАЛОВ* 31
10. *Гурьянов Е.Д., Шанкеев В.И., Блакунова С.И., Долецкая Л.И. ОЦЕНКА ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ТОЧКЕ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ* 35
11. *Зайцева А.А., Вайтеленок Л.В. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В ПК COMSOL MULTIPHYSICS* 38
12. *Зирюкин В.И., Солопов Р.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В КОЛЬЦЕВЫХ СЕТЯХ 110 КВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «MATLAB»* 42
13. *Исаченкова Н.М., Новикова А.А., Гордиевский Д.Д. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ РЕЖИМОВ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 6-35 кВ* 47
14. *Исаченкова Н.М., Новикова А.А., Гордиевский Д.Д. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 10 КВ* 52

15. *Карпенко В.А., Долецкая Л.И. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕГАЗОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЯХ* 55
16. *Кудянова Д.В., Андреенков Е.С. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ МИКРОСЕТЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА* 59
17. *Макаров Е.А., Почечуев С.В. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ* 64
18. *Макаров П.П., Вайтеленок Л.В. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА RASTRWIN RUSTAB* 68
19. *Мартынов А.О., Трушаков Р.В. ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ В РАЗЛИЧНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ* 71
20. *Мерзлов М.М., Трушаков Р.В. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТАХ В УСЛОВИЯХ ОТСУТСТВИЯ ТОЧКИ ПОДКЛЮЧЕНИЯ* 73
21. *Могилев В.В., Новиков Г.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ АСПЕКТОВ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ* 77
22. *Моисеенкова Ю.В., Почечуев С.В. СТРУКТУРА ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ* 79
23. *Никишов Д.Е., Кавченков В.П. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ* 84
24. *Новикова Е.Г., Новиков Г.Ю. ПРОБЛЕМАТИКА ПРИМЕНЕНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ* 88
25. *Питерский Н.С., Шунаев С.А. DROP-КОНТРОЛЬ НА ШИНЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА* 92
26. *Протасова Е.А., Вайтеленок Л.В. МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ* 96
27. *Семенова В.С., Шунаев С.А. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПОДВЕСНОГО ИЗОЛЯТОРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ COMSOL Multiphysics 5.6* 100
28. *Тарасов Д.Ю., Ковженкин В.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ* 105
29. *Цыганова Е.А., Кавченков В.П. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ ПОЛЯРНОГО КРАНА* 108
30. *Шалаев И.А., Кавченков В.П. АНАЛИЗ НАДЁЖНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ 110 КВ И МЕТОДОВ ЕЁ ОБЕСПЕЧЕНИЯ* 110

СЕКЦИЯ 2
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

1. *Abdullo Majidov, Nurzat Kanybekova FEATURES OF THE MATHEMATICAL EQUATIONS OF ASYNCHRONOUS MOTORS IN THE TRANSIENT PROCESS* *116*
2. *Авдеев А.И., Рожков В.В. АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ПРОГРАММЕ FEMM* *121*
3. *Андреев Е.О.,.Петляк А.В, Кабанова И.А. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ УСТАНОВОК* *126*
4. *Безфамильная Е.В., Ульянова О.В., Кильяченко В.А., Кабанова И.А. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЕПЛА В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА* *131*
5. *Борминов А.А., Саватеева И.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДВУХЗОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ В MATLAB* *136*
6. *Вожлаков Д.И., Кулик Ю.Д. ОБЗОР ИНДУКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ВЕНТИЛЬНОЙ КОММУТАЦИЕЙ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ ОБМОТКИ* *140*
7. *Гавриленков Г.В., Осипов Д.А., Корнеева Н.В., Рожков В.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СТЕПЕНИ ПОДВИЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА* *145*
8. *Геращенков Н.Д., Мансуров Т.А., Мизеркин А.Г., Шибаев В.П., Курилин С.П., СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ПОЛЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ* *149*
9. *Геращенков Н.Д., Мансуров Т.А., Мизеркин А.Г., Шибаев В.П., рук. Божин Ю.М. АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В БЫСТРОХОДНЫХ ВЕНТИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРАХ С ТРЕХФАЗНОЙ ДВУХПОЛУПЕРИОДНОЙ СХЕМОЙ ВЫПРЯМЛЕНИЯ* *154*
10. *Гончаров Д.А., Карташина М.А., Кисляков М.А. РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ПОТЕНЦИОМЕТРА НА БАЗЕ ATMEGA8* *159*
11. *Громовой М.В., Поздняков А.И., Трушаков Р.В. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ НА НУЖДЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ* *162*
12. *Иванов М.И., Павлова Л.Ю., Галковский В.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ* *165*
13. *Калашников С.К., Кисляков М.А. ПРОБЛЕМЫ ПРИ РАСЧЁТЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА. АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ* *170*
14. *Кисляков М.А., Крутиков К.К. АНАЛИЗ РАБОТЫ МОДЕЛИ МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ, РАБОТАЮЩЕГО ГА СКОЛЬЗЯЩИХ РЕЖИМАХ* *175*

15. *Ковалёва А.С., Колденкова Т.А.,. Кабанова И.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ С ЦЕЛЬЮ ОБЕЗАРАЖИВАНИЯ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА* 181
16. *Ковальков М.П., Третьяков А.С. ВЫБОР ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ* 185
17. *Колденкова Т.А., Ковалева А.С., Кабанова И.А. ПРОЦЕССЫ УВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ* 189
18. *Коломыцев И.С., Иванов К.С., Пунтекин М.А., Галковский В.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ВОДЯНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ* 192
19. *Лаксаева У.С., Кабанова И.А. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОЗДУШНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН* 197
20. *Лыков К.И., Барышников В.А. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ* 202
21. *Маджидов А.Ш., Каныбекова Н.К. ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ ПО ПУСКОВЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ* 206
22. *Малофеев М.С., Кабанова И.А. БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ* 212
23. *Мансуров Т.А., Шибаев В.П., Курилин С.П. ПОЛЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ* 216
24. *Мизеркин А.Г., Геращенков Н.Д., Курилин С.П. ТЕПЛОВЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ СОВРЕМЕННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ* 219
25. *Мовсисян Т.Ж., Кабанова И.А. ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ* 223
26. *Моисеев Я.О., Саватеева И.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХМАССОВОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С МОДАЛЬНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ* 227
27. *Плешаков П.К., Мелкумова О.А., Елагина М.Д., Галковский В.А. СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ В ПОДЪЗЕМНЫХ ПАРКИНГЕ ЖИЛОГО ДОМА* 231
28. *Рубцова О.А., Филиппенков К.Д., Рожков В.В. РАЗРАБОТКА КОМПЕНСАТОРА ВЫСШИХ ГАРМОНИК СЕТЕВОГО ТОКА ДЛЯ ВЕТРОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ВЕНТИЛЬНО – ИНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА* 236
29. *Рубцова О.А., Филиппенков К.Д., Рожков В.В. СПОСОБ nОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА, НАСТРОЕННОГО НА СИММЕТРИЧНЫЙ ОПТИМУМ* 240
30. *Рубцова О.А., Филиппенков К.Д., Рожков В.В. РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ИДЕНТИФИКАТОРА МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ* 245

31. *Рябцев А.А., Емельянова Н.В., Кабанова И.А. РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ ВЫБОРА ПРОМЕЖУТОЧНОГО ХЛАДОНОСИТЕЛЯ В СИСТЕМАХ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ* 250
32. *Сёмин Д.В., Дронов С.А., Панарин В.Э., Федюхин А.В. АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ* 253
33. *Силкин И.В., Трушаков Р.В. АНАЛИЗ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ КАЧЕСТВА СЕТЕВОЙ ВОДЫ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ* 258
34. *Спиридонова А.А., Галковский В.А. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ДЕАЭРАЦИИ НА ВЕЛИЧИНУ РАСХОДА ТОПЛИВА В КОТЕЛЬНОЙ* 262
35. *Токмакова Е.Н., Введенский В.Ю. ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АМОРФНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА* 266
36. *Трофименко С.Р., Медведева Ю.А., Рожков В.В. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА СРЕДСТВАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ* 269
37. *Уткин А.А., Трушаков Р.В. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК* 272
38. *Федотов В.В., Трофименко С.Р., Рожков В.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ВАРИАНТА ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА* 275
39. *Федотов В.В., Ярочкин А.Ю., Рожков В.В. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ МПЧ ПРИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ БОРТОВОЙ СЕТИ* 279

СЕКЦИЯ 3
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

1. *Василькова М.А., Пучков А.Ю. СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТА В РОБОТОТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ* 285
2. *Василькова М.А., Пучков Ю.И. ДЕКОДИРОВАНИЕ БЧХ – КОДА, ИСПРАВЛЯЮЩЕГО ДВОЙНЫЕ И ТРОЙНЫЕ ОШИБКИ, МЕТОДОМ ПЕРЕБОРА* 289
3. *Гуляев А.В., Курилин С.П. РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ НА УРАВНЕНИЯХ КОЛМОГОРОВА* 294
4. *Иванова И.А., Пучков А.Ю. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ* 298

5. *Круглякова М.В., Пучков А.Ю. НОВЫЕ СЕРВИСЫ В ОБЛАСТИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ* *301*
6. *Лазарев А.И., Лобанева Е.И. АЛГОРИТМ ПРИКЛАДНОЙ ОБРАБОТКИ ПАТТЕРНОВ В НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ НА ПРОЦЕССОРАХ СЕМЕЙСТВА ARM* *304*
7. *Лобанева Е.И., Пучков А.Ю. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРАГМАТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ* *307*
8. *Лобанева Е.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ ОБРАБОТКЕ РАЗНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ* *312*
9. *Маслова К.С., Борисов А.В. ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНЫХ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ НА ТРЕБОВАНИЯ К ИСТОЧНИКАМ ПИТАНИЯ* *316*
10. *Новиков И.А., Зернов М.И. АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ВЕКТОРНОМУ ПРЕДСТАВЛЕНИЮ ТЕКСТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ* *319*
11. *Павлова Ю.В., Свириденкова М.А. АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ BIG DATA* *322*
12. *Попрыгин А.Ю., Аверченков О.Е. МЕТОД ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ BLUETOOTH LOW ENERGY СОЕДИНЕНИЯ В БЕСПРОВОДНОЙ МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ* *326*
13. *Семкина А.А., Булыгина О.В. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОБЛАЧНЫХ, ТУМАННЫХ И ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ* *330*
14. *Силина О.Е., Лобанева Е.И. МЕТОДЫ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ О СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ* *333*
15. *Федулова А.С., Войцицкий А.С., Федулов Я.А. ОБЗОР СРЕДСТВ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ПРОГРАММНОГО КОДА* *337*
16. *Федулова А.С., Войцицкий А.С., Тычинская А.М., Якушев В.А., Федулов Я.А. ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ И АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ УЧЕТА ПАРАДОКСА СИМПСОНА* *341*
17. *Шурыкин А.С., Окунев Б.В. СХЕМА АУТЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ СМАРТ-КАРТ ДЛЯ ГЛОБАЛЬНЫХ СЕТЕВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ* *346*

Научное издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА
(электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и совершенствование технических систем и технологических процессов.)
Сб. трудов XVIII Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов
Сборник трудов в 3-х томах
Том 1

Подписано в печать 16.04.2021 г.
Формат 60x84 1/16 . Тираж 100 экз. Печ. л. 22,25 Усл. печ. л. 20,69.

Издательство «Универсум»
Отпечатано в издательском секторе филиала МЭИ в г. Смоленске
214013 г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

ISBN 978-5-91412-466-0