



ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ-2017

***VII МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ***

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

23 – 24 ноября 2017 г. Смоленск

СБОРНИК ТРУДОВ ТОМ 1

СЕКЦИИ 1, 2, 3



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
АДМИНИСТРАЦИЯ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
*Смоленское региональное объединение работодателей «НАУЧНО-
ПРОМЫШЛЕННЫЙ СОЮЗ»*
Смоленское региональное отделение
СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ РОССИИ
БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ г. Могилев, Республика
Беларусь
РОССИЙСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА
ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЛИАЛ НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА «МЭИ» в г. Смоленске

ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2017

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

**VII МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

23-24 ноября 2017 г.

СБОРНИК ТРУДОВ **ТОМ 1**

СЕКЦИИ 1,2,3

СМОЛЕНСК
2017

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 Рожков В.В.

Доктор технических наук, профессор Панченко С.В.

Доктор технических наук, профессор Борисов В.В.

ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2017

(электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве). Сб. трудов VII -ой Межд. науч.-техн. конф. В 3 т. Т 1. – 2017. – 390 с.

ISBN 978-5-91812-360-1

В сборнике публикуются труды участников Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2017», состоявшейся 23-24 ноября 2017 г. в филиале ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, в которых изложены результаты оригинальных научно-технических работ в области энергетики, электротехники, теплоэнергетики, математического моделирования технических систем и информационных технологий в производстве.

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

ISBN 978-5-91812-360-1

©Авторы

© филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. 2017

СЕКЦИЯ 1 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

*Е. С. Андреенков, к.т.н., ст.преп.; С. А. Шунаев, асс.; В. А. Дрокин, студ;
А. Д. Хорошилов, студ;*

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

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХАРВЕСТРА НА ОСНОВЕ LiFePO_4 АККУМУЛЯТОРОВ

В статье рассматривается проблемы использования источников питания на основе LiFePO_4 аккумуляторов при подключении к первичным преобразователям возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Представлено решение проблемы в виде разработанного авторами источника питания на основе аккумуляторов LiFePO_4 .

Ключевые слова: портативный энергетический харвестр, балансир аккумуляторной батареи, триггер Шмитта.

На сегодняшний день одним из приоритетных развитий энергетики является развитие так называемых интеллектуальных электрических сетей или «*Smart Grid*». Концепция построения таких сетей несет в себе некоторую смену технологических приоритетов в электроэнергетике. При этом смена приоритетов касается как магистральных и распределительных сетей, так и отчасти затрагивает генерацию [1]. Характерной особенностью сетей «*Smart Grid*» является распределенная генерация электрической энергии (ЭЭ), т. е. участие в производстве ЭЭ не только генерирующих компаний, но и потребителей, способных воспроизводить электроэнергию за счет преобразования ВИЭ. Первичным источником питания таких сетей могут быть фотоэлектрические преобразователи, термоэлектрические (построенных на основе эффекта Пельтье) и ветрогенераторы. Следует отметить, что развитие подобных технологических решений важно не столько для увеличения генерирующих мощностей, сколько для развития собственных конкурентоспособных наработок в сфере ВИЭ и их экспорта на международные энергетические рынки.

Однако использование первичных преобразователей, основанных на ВИЭ сопряжено с определенными трудностями. Так неравномерное расположение ВИЭ на территории РФ приводит к возникновению проблемы использования первичных источников в качестве питания электрической нагрузки. Также ввиду нелинейных характеристик первичных преобразователей ЭЭ возникает проблема питания нагрузки потребителей непосредственно от ВИЭ. Данные проблемы требуют внедрения эффективных технологических решений.

В качестве решения поставленных проблем предлагается разработка устройства, с возможностью использовать различные первичные источники энергии. Важным вопросом также является учет нелинейного характера выдачи мощности на таких источниках. Кроме того, в отличие от солнечных электростанций, концепция данного устройства менее зависима от факторов, существенно влияющих на эффективность преобразования ВИЭ в электрическую энергию.

Данная работа посвящена портативной системе, преобразующей солнечную, ветровую и тепловую энергию в электрическую – энергетическому харвесту (от. англ. *Harvest* – «Собирать урожай»). Сборка данной системы производилась на кафедре ЭЭС филиала НИУ МЭИ в г. Смоленске. Структурная схема харвестра приведена на рисунке 1 [2].

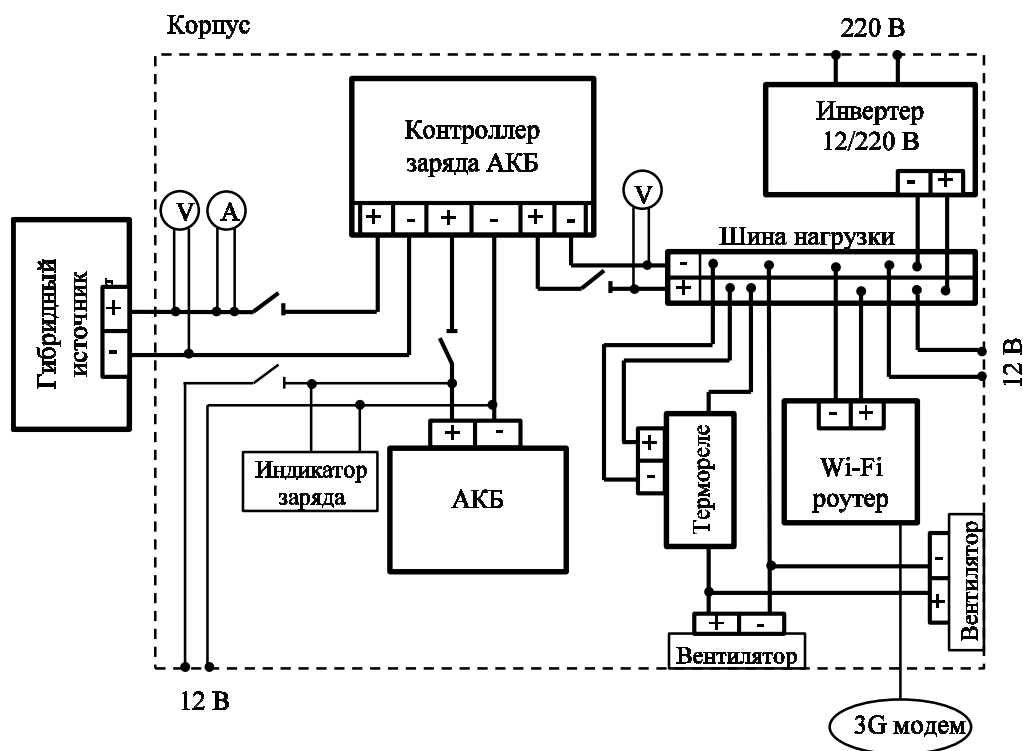


Рисунок 1 – Структурная схема энергетического харвестра.

Проблему использования различных первичных источников энергии и питания от них электрической нагрузки стало возможно решить за счет:

- использования универсального контроллера заряда аккумуляторных батарей, позволяющего варьировать первичные источники энергии;
- питания электрической нагрузки посредством сборки *LiPO4* аккумуляторов с использованием балансиров, не допускающих избыточного заряда АКБ.

В качестве логического элемента энергетического харвестра выступает контроллер заряда гибридной АКБ, созданный на основе аппаратной платформы *Arduino* (рисунок 2). Аппаратная часть предполагает выполнение контроллера по модульному принципу, подразделяя контроллер на подсистемы контроля заряда АКБ, приема, обработки и передачи информации, а также терморегуляции. Программная часть состоит из *IDE* оболочки для написания программного обеспечения, встроенного компилятора и программатора.

Контроллер заряда гибридной АКБ позволяет эффективнее использовать источник ЭЭ и ресурс АКБ, а также обладает возможностью вывода информации о входных и выходных параметрах устройства как на дисплее контроллера, так и на экране смартфона или ноутбука.

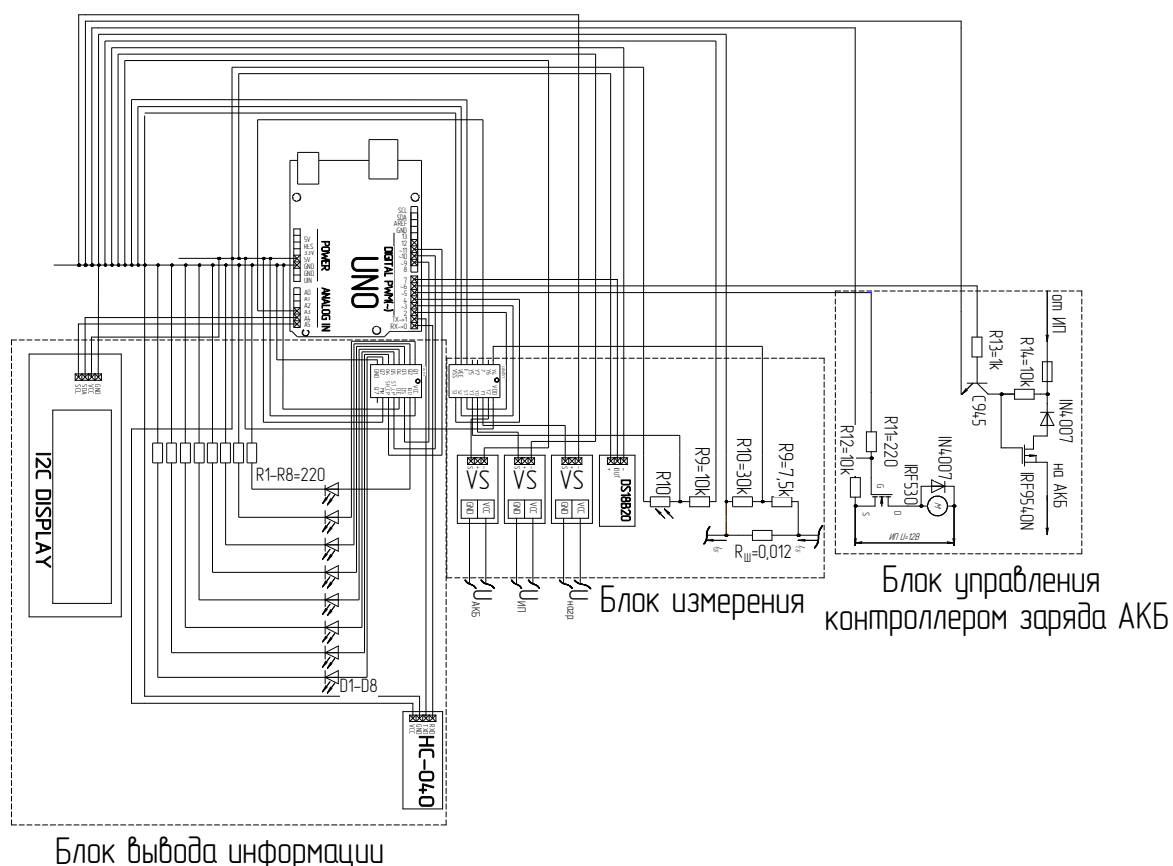


Рисунок 2 – Принципиальная схема контроллера заряда энергетического харвестра.

Питание электрической нагрузки от первичных преобразователей ВИЭ возможно осуществить посредством применения сборки 16 *LiPO4* аккумуляторов, способных выдавать напряжение на вводах не менее 12 вольт и имеющих емкость около 40 А*ч. Однако при питании сборки аккумуляторов нелинейная характеристика ВИЭ уменьшает срок службы АКБ. В результате этого возникает задача применения средств, не допускающих неравномерного заряда сборки АКБ.

Решением данной задачи является установка балансиров, предназначенных для более точного контроля заряда. Это достигается путем включения силового ключа на балластный резистор, параллельной подключаемой секции АКБ, при достижения заданного значения напряжения.

В качестве элемента контроля напряжения был принят регулируемый стабилизатор на базе микросхемы типа *TL431*. Однако при использовании данной микросхемы возникла проблема вывода четкой, однозначной команды на силовой ключ. При подходе к порогу, происходит переход силового ключа в полупроводящий режим, в следствие чего ключ начинает сильно греться.

Решение данной проблемы осуществлено путем использования микросхемы типа *TL431* как триггера Шмитта. В результате был разработан достаточно точный, термостабильный и простой балансир, с однозначной командой на силовой ключ. Преобразование микросхемы *TL431* в триггер Шмитта, было осуществлено путем добавки в схему транзистора Т1 типа *p-n-p* и резистора *R5*.

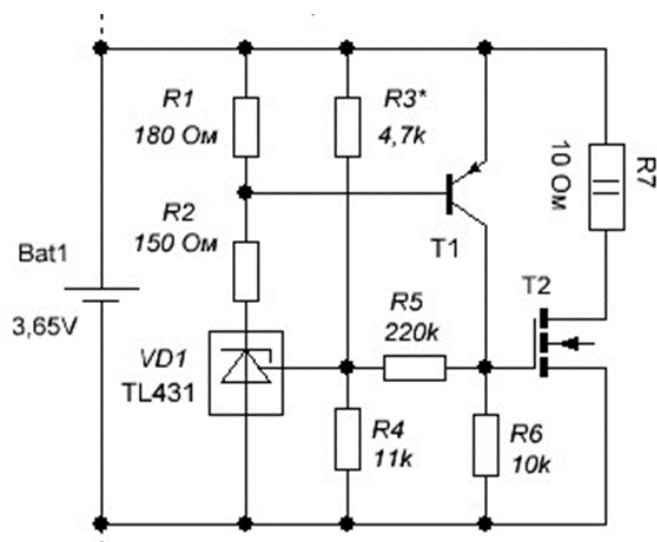


Рисунок 3 – Схема контроля заряда батарей.

Схема работает следующим образом. На делителе, состоящем из резисторов $R3$ и $R4$ настраивается порог контролируемого напряжения. В момент, когда напряжение на управляющем электроде $TL431$ достигает 2,5 В, открывается сам триггер, а также транзистор $T1$. При этом потенциал коллектора $T1$ повышается и через резистор $R5$ поступает в цепь управляющего электрода $TL431$. Формируется положительная обратная связь, $TL431$ входит в насыщение. В результате схема имеет выраженный гистерезис – включение происходит при 3,6 В, а выключение - при 3,55 В. При этом в затворе силового ключа формируется управляющий импульс с очень крутыми фронтами, и попадание силового ключа в полуоткрытый режим исключено. Величина максимального тока балансировки определяется резистором $R7$ и напряжением на секции аккумулятора.

Данная схема была реализована в виде макетного образца, общий вид которого представлен на рисунке 4.

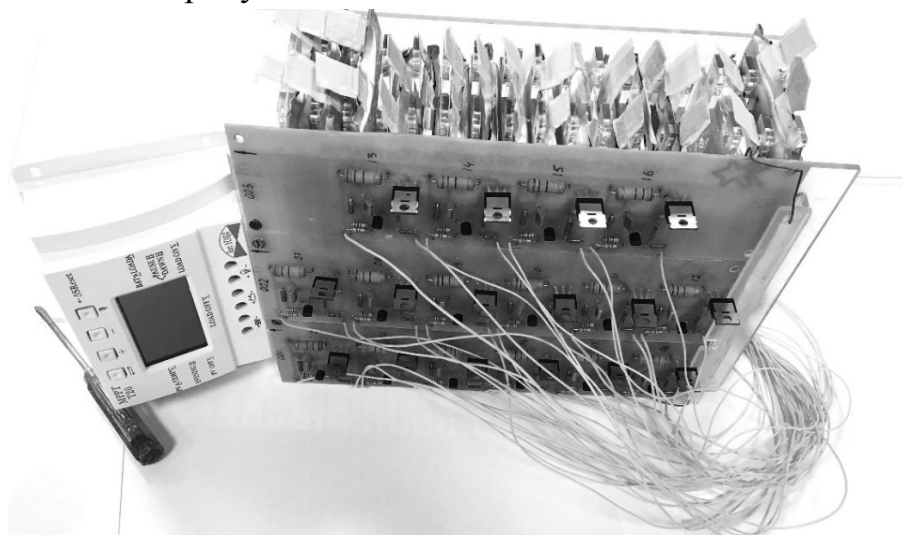


Рисунок 4 – Общий вид макетного образца.

Подводя итоги, следует отметить, что разработанное устройство представляет собой резервный источник питания с возможностью выбора источников ВИЭ. Использование АКБ с предложенной функцией контроля заряда и разра-

ботанной схемой контроля заряда АКБ, при использовании различных первичных источников ВИЭ, дает возможность решить проблему питания электрической нагрузки от альтернативных источников энергии. Такая концепция устройства будет менее зависима от факторов, существенно влияющих на производительность преобразования ВИЭ в электрическую энергию. Данная разработка позволит сократить затраты при резервировании части нагрузки и увеличит резерв мощности.

Литература

1. Бирюков А.Р. Использование альтернативных источников энергии. Солнечная энергетика, применение солнечных модулей. Проблемы и перспективы использования энергии солнца / А.Р. Бирюков, А.В. Саразов // Современная техника и технологии. 2014. N7(35). С.64-66.
2. Опыт конструирования и эксплуатации портативного источника электроэнергии на основе солнечных панелей / Д. Д. Гордиевский, С. А. Шунаев // В сборнике: ЛОГИСТИКА И ЭКОНОМИКА РЕСУРСОЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ (МНПК «ЛЭРЭП-9-2015») Сборник научных трудов по материалам IX Международной научно-практической конференции. 2015. С. 200-204.

*Л.В. Вайтеленок, асс; В.С. Ковженкин, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В статье рассматриваются альтернативные традиционным трансформаторам тока измерительные преобразователи – магнитные трансформаторы тока. Проведен анализ двух предложенных схем построения релейной защиты с использованием данных устройств.

Показано, что их применение возможно как для уже существующих устройств релейной защиты, так и для создания новых защит.

Ключевые слова: магнитные трансформаторы тока, измерительные преобразователи, релейная защита, преобразование сигналов, точность измерений.

Для питания токовых цепей устройств релейной защиты широкое применение нашли измерительные трансформаторы тока (ТТ), имеющие в своем составе ферромагнитный сердечник. В установившихся режимах данные устройства имеют относительно небольшую погрешность измерений. Однако при возникновении возмущений в первичной системе и появлении существенной апериодической составляющей в первичном токе, ТТ могут насыщаться, вследствие чего возможно ложное или замедленное срабатывание релейной защиты [1]. Помимо этого, в виду необходимости обеспечения требуемой изоляции данные ТТ имеют значительные габариты и стоимость.

Практически лишены указанных недостатков магнитные трансформаторы тока (МТТ), которые не врезаются в первичную цепь, а устанавливаются под контролируемым проводом на нулевом потенциале, вследствие чего исключается необходимость использования дорогостоящей изоляции [2]. Данные преобразователи представляют собой магнитный датчик в виде проволоочной катушки или рамки. На рис. 1 представлено расположение МТТ относительно проводов контролируемой установки.

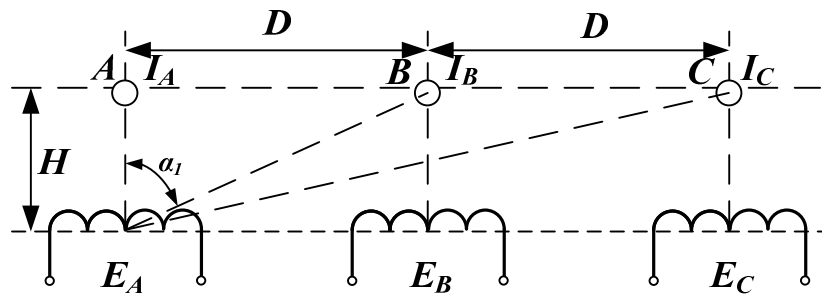


Рис. 1

Выходным сигналом такого датчика является ЭДС, индуцируемая под воздействием первичного тока i , например, для фазы А:

$$e_A = -M_d \frac{di_A}{dt},$$

где M_d - коэффициент взаимоиנדукции провода фазы А и датчика А, который также зависит от кратчайшего расстояния от провода до центра датчика H и угла ориентации оси датчика α_1 .

Влияние данных параметров, а также помех от токов соседних фаз на выходной сигнал было подробно изучено в работах [2,3], в результате чего были созданы конструкции МТТ, по точности измерений не уступающие традиционным трансформаторам тока. Но широкого практического применения они не нашли, поскольку выходная мощность МТТ значительно меньше требуемой мощности защит, реализованных на электромеханических реле.

С развитием техники в настоящее время представляется возможным построение схем релейной защиты с использованием данных МТТ с применением современных технологий обработки и передачи информации. Данная работа является начальным этапом создания релейной защиты на основе МТТ и представляет собой разработку возможных способов преобразования первичных сигналов без существенных углублений в вопросы логики защит.

Проанализировав работы [2,3], предлагается две схемы построения защиты с использованием МТТ (рис.2).

В первом варианте (рис. 2,а) измерительный преобразователь тока (ИПТ) представляет собой МТТ с сердечником 1 и вторичными обмотками 2 и блок 3 преобразования выходного значения ЭДС МТТ e_2 в аналоговый сигнал вторичного тока i_2 . Данный сигнал передается по каналу связи 4, в качестве которого в данном случае выступают контрольные измерительные кабели, как и в схемах с использованием обычных ТТ. Далее сигнал поступает на аналоговые входы 5 микропроцессорной релейной защиты (МРЗ), после чего сигнал оцифровывается в блоке аналого-цифрового преобразования (АЦП) 6, и только после этого в цифровой форме поступает в сигнальный процессор 7, где при необходимости производится дополнительная обработка сигнала, а также принятие решения о необходимости срабатывания.

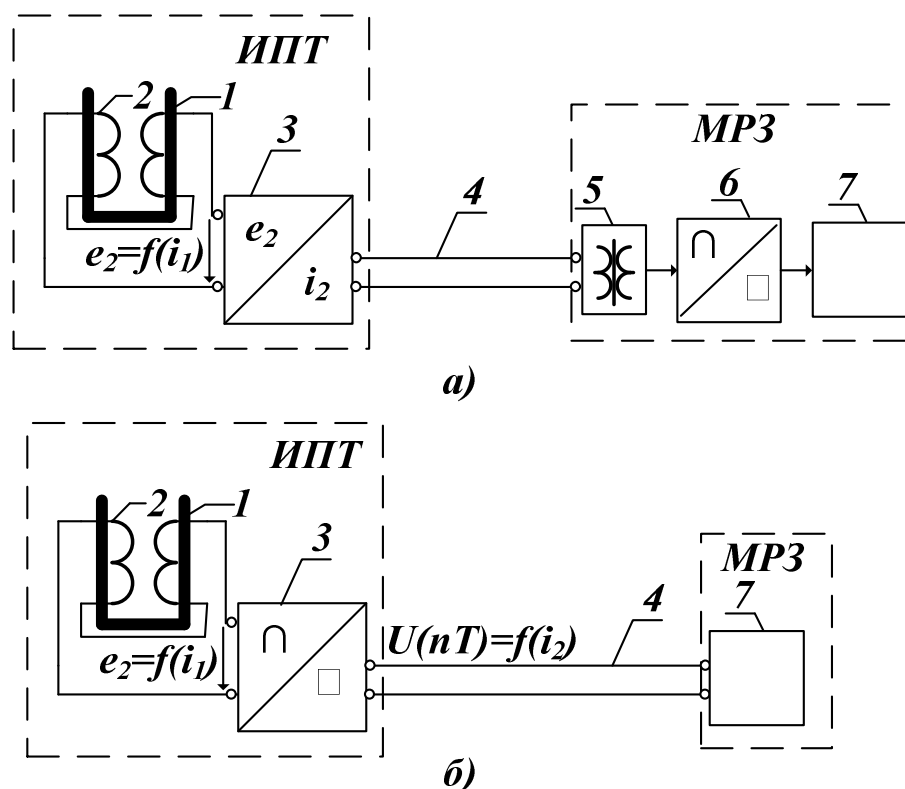


Рис. 2

Для данной схемы характерны следующие недостатки:

- сложность выполнения преобразователя 3, так как в его устройстве должен быть усилитель мощности сигнала, поскольку, как уже было сказано, выходная мощность МТТ невелика;
- увеличение кабельных связей на подстанциях, возможности наведения помех как от других аналоговых каналов, так и при грозовых перенапряжениях или коммутациях, вследствие чего искажается значение передаваемого сигнала;
- возможны повреждения вторичных цепей тока или аналоговых входов МРЗ и как результат, ложное срабатывание защиты.

Следовательно, применение данной схемы возможно для уже существующих объектов для организации либо вспомогательной защиты или контроля существующей, либо в качестве дублирующего комплекта измерительного тракта для получения информации в начальный период переходного процесса, когда традиционные ТТ могут насыщаться, и выходной сигнал у них отсутствует или существенно искажен.

Во второй схеме (рис. 2,б) в блоке 3 происходит преобразование аналогового сигнала e_2 в цифровую последовательность выборок $U(nT)$ с периодом дискретизации T . Полученный цифровой сигнал $U(nT)$ может быть представлен двумя способами:

- 1) в виде оцифрованного значения e_2 , то есть используется простое АЦП сигнала;
- 2) в виде оцифрованного значения вторичного тока i_2 , то есть помимо АЦП должен присутствовать блок функции преобразования e_2 в i_2 .

В зависимости от того, какой из данных способов будет использоваться, будет отличаться и схема построения логики защиты. Так, применение второго способа представления цифрового сигнала возможно для уже существующих устройств, выполненных с цифровыми входами по току, работающими по определенному протоколу и интерфейсу. В настоящее время проводятся испытания и внедрение подобных МРЗ, поддерживающих протокол передачи сигнала согласно международному стандарту МЭК 61850 [4].

При применении простого АЦП необходима разработка новых алгоритмов логики МРЗ, которые будут реагировать не на значение контролируемого параметра (то есть вторичного тока), а на значение функции от этого тока. Вид данной функции будет, в свою очередь, зависит от способа оцифровки сигнала:

1. при использовании времяимпульсного преобразования выходным сигналом является последовательность прямоугольных импульсов, длительность которых будет зависеть от величины e_2 , а передний фронт определяет фазу e_2 . В качестве измерительного органа в МРЗ для такого способа предлагается использовать счетчик времени, который выдает сигнал на действие защиты при превышении длительности выходного сигнала ИПТ заданной уставки по времени;

2. при использовании числоимпульсного преобразования выходной сигнал представляет собой также последовательность импульсов, но значение величины e_2 заложено в числе данных импульсов. Поэтому измерительный орган будет представлять счетчик импульсов, срабатывание которого происходит при числе импульсов больше или равном уставке.

Исходя из анализа возможных решений, становится ясно, что для второй схемы отсутствуют все перечисленные недостатки первой схемы, поскольку в качестве канала связи используются оптические кабели, которые обеспечивают высокую помехозащищенность. Помимо этого упрощается устройство МРЗ, следовательно, уменьшаются требуемые вычислительные ресурсы и стоимость МРЗ.

Литература

1. Кужеков С. Л., Дегтярев А. А., Сербиновский Б. Б. О требованиях к трансформаторам тока и устройствам релейной защиты в переходных режимах при наличии апериодической составляющей в первичном токе//Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем-2013//Сб. мат. межд. науч.-техн. конф., Екатеринбург, 2013.
2. Казанский В. Е. Трансформаторы тока в схемах релейной защиты. изд. 2-е переработ. М., «Энергия», 1969,-184 с.
3. Ковженкин В. С. Исследование дистанционных трансформаторов тока применительно к релейной защите линий напряжением 110-220 кВ: автореф. дис. канд. техн. наук. , Москва, 1997.
4. Аношин А. О., Головин А. Н. СТАНДАРТ МЭК 61850. Протокол передачи мгновенных значений тока и напряжения/А. О. Аношин, А. Н. Головин. - Новости Электротехники.-№2, 2013.

АНАЛИЗ РАБОТЫ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ НЕРЕКУРСИВНЫХ ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ

Статья посвящена изучению работы быстродействующих специализированных частотных фильтров микропроцессорных устройств релейной защиты. При помощи моделирования оценено быстродействие и точность выделения информационного процесса данными фильтрами и фильтрами Фурье. Получено, что специализированные фильтры имеют лучшие фильтрующие свойства.

Ключевые слова: микропроцессорная релейная защита, быстродействие, обработка сигналов, быстродействующие специализированные фильтры, фильтр Фурье

Одним из главных предъявляемых требований к устройствам релейной защиты является быстродействие. Чем быстрее защита выявит и отделит поврежденный элемент, тем меньший урон нанесется электроэнергетической системе. Показателем быстродействия является время срабатывания защиты, то есть интервал времени от момента возникновения повреждения до отключения соответствующего элемента. Данный показатель, в свою очередь, в существенной степени зависит от способа определения величины информационного параметра. В большинстве применяемых устройств используются алгоритмы, выделяющие действующее значение параметра за время равное длительности периода промышленной частоты [1]. Данные устройства предназначены для выполнения функций защит, действующих с выдержкой времени. Для защит без выдержки времени, таких как токовая отсечка или дифференциальная защита, а также для защит ответственных энергетических объектов необходимо применение алгоритмов фильтрации входных сигналов, длительностью менее периода промышленной частоты.

Одним из таких способов фильтрации являются специализированные быстродействующие программные нерекурсивные фильтры [2]. Данные фильтры не являются универсальными, то есть способны исключать только заранее известные составляющие.

Проанализируем работу быстродействующего фильтра, выделяющего амплитудное значение сигнала промышленной частоты из дискретного входного сигнала $X(nT)$, содержащего апериодическую составляющую $x_a(nT) = X_a \cdot e^{-nT/\tau}$ (здесь nT - дискретное время для n -ой выборки с периодом дискретизации сигнала T ; X_a - начальное значение апериодической составляющей; τ - постоянная времени затухания переходного процесса). При линеаризации апериодической составляющей на интервале времени $2T$ выполняется следующее соотношение:

$$X_a(nT) + X_a(n-2)T = 2X_a(n-1)T.$$

Таким образом, при суммировании текущего ($X(nT)$) и задержанного на два интервала дискретизации ($X(n-2)T$) значения входного сигнала и вычитания из

полученной суммы удвоенного значения $X(n-1)T$, аperiodическая составляющая практически полностью исключается из сигнала. Но при этом преобразуется и несущий сигнал. Для его восстановления используется выражение:

$$X1[(n-1)T] = X_{\text{преобр}}[(nT)] / 2(\cos(\omega_0 T) - 1),$$

где $X_{\text{преобр}}[(nT)]$ - дискретное значение преобразованного сигнала; ω_0 - угловая частота первой гармоники сигнала.

Амплитуда полученного сигнала вычисляется согласно следующей формуле:

$$X_m = X1[(n-1)T] \sqrt{\frac{[X1(nT) - X1[(n-1)T] \cdot \cos(\omega_0 T)]^2}{[X1[(n-1)T] \cdot \sin(\omega_0 T)]^2} + 1}.$$

В работе было проведено моделирование работы данного фильтра на примере выделения амплитуды X_m сигнала промышленной частоты из входного сигнала $x(nT) = X_m \sin(\omega_0 nT - \pi/2) + X_a \cdot e^{-nT/\tau}$ ($T = 0,001$ с, $X_m = X_a = 1$, $\tau = 0,02$ с). На рис. 1 приведены полученные результаты.

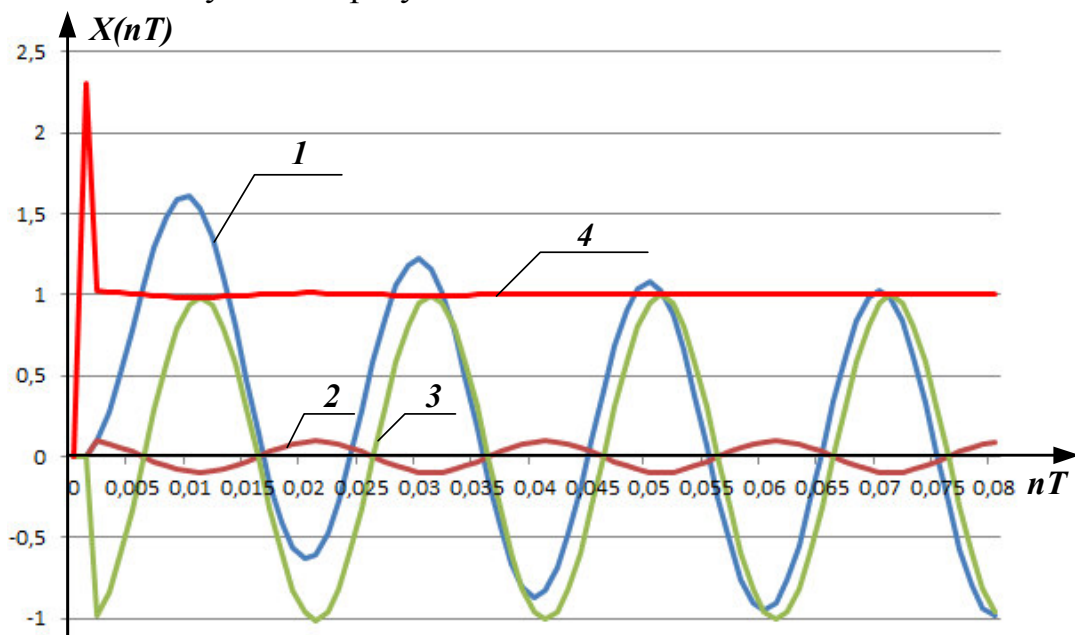


Рис. 1

После выполнения преобразований над выборками входного сигнала 1, амплитуда полученного сигнала 2 уменьшается практически в 10 раз. Помимо этого появляется опережающий угол сдвига $\Delta\psi = \pi + \omega_0\pi$. Восстановленный сигнал 3 имеет такие же параметры (амплитуду и фазу), что и составляющая промышленной частоты во входном сигнале. Установившееся значение амплитуды 4 вычисляется за время $t = 3T = 0,003$ с.

По аналогии с вышерассмотренным функционируют фильтры, исключющие колебательные составляющие известной частоты [2]. Так для исключения k -ой гармонической составляющей во входном сигнале необходимо сложить две выборки, отстающие друг от друга на два интервала

дискретизации, и вычесть из их суммы промежуточную выборку, умноженную на коэффициент преобразования $k_{\Pi k}$, то есть

$$X_{\text{преобр}}[(nT)] = X[(nT)] + X[(n-2)T] - k_{\Pi k} \cdot X[(n-1)T],$$

где $k_{\Pi k} = 2 \cos \omega_k T$.

Восстановление сигнала производится по формуле:

$$X1[(n-1)T] = X_{\text{преобр}}[(nT)] / (2 \cos(\omega_0 T) - k_{\Pi k}).$$

Если во входном сигнале присутствуют несколько гармонических составляющих, то их исключение производится последовательно с выборками полученного процесса.

В работе было смоделировано выделение сигнала промышленной частоты данным быстродействующим фильтром и фильтром Фурье, наиболее распространенным в современных устройствах защиты [3]. Для моделирования было приняты следующие исходные данные: входной сигнал содержит составляющие первой, второй и третьей гармоники промышленной частоты, амплитуда каждой гармоники равняется 1; период дискретизации сигнала $T = 0,001$ с. Результаты представлены на рис. 2.

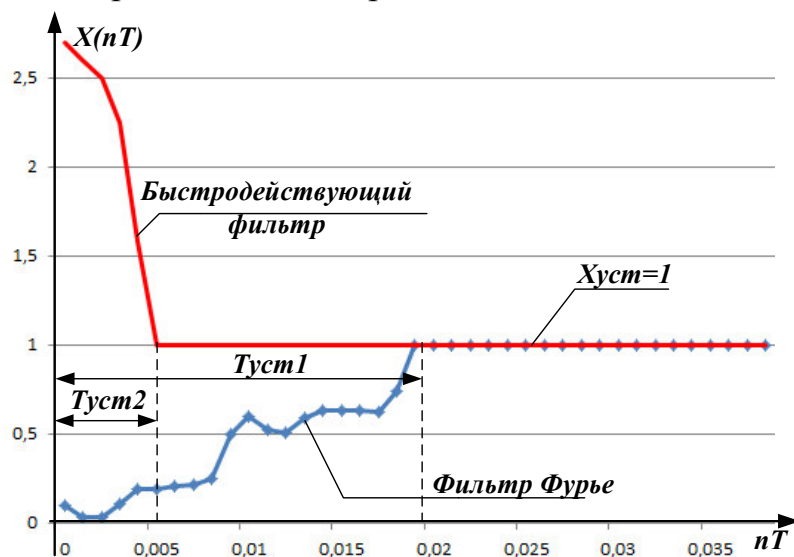


Рис. 2

Анализируя полученные зависимости можно сделать следующие выводы:

1) для обоих фильтров установившееся значение равняется истинному амплитудному значению составляющей промышленной частоты $X_{уст} = 1$;

2) время установления амплитудного значения для фильтра Фурье составляет период промышленной частоты $T_{уст1} = T_{\Pi} = 0,02$ с, при этом на интервале времени от нуля до $T_{уст1}$ выходное значение фильтра имеет тенденцию к возрастанию, но при этом оно меньше чем установившееся значение $X_{уст}$;

3) для быстродействующего нерекурсивного фильтра время установления составляет $T_{уст2} \approx T_{\Pi} / 3 = 0,006$ с, что практически в 3 раза меньше, чем $T_{уст1}$;

4) на интервале от 0 до $T_{уст2}$ выходное значение быстродействующего фильтра уменьшается, начиная со значения $X_{макс}(0) \approx 2,3 > X_{уст}$.

Таким образом, быстродействующий фильтр показывает значительно лучшие результаты в плане времени установления входного сигнала, но начальное выходное значение $X_{макс}(0)$ значительно превышает $X_{уст}$, что может негативно сказаться на правильности работы защиты. Поэтому при применении данного фильтра необходимо задаться временем принятия решения о срабатывании защиты большим, чем время установления выходного сигнала.

Также было проведено моделирование выделения данными фильтрами амплитуды составляющей первой гармоники сигнала, содержащего также аperiodическую составляющую с параметрами $X_a = 1$ и $\tau = 0,02$ с при периоде дискретизации сигнала $T = 0,001$ с. Полученные результаты представлены на рис.3.

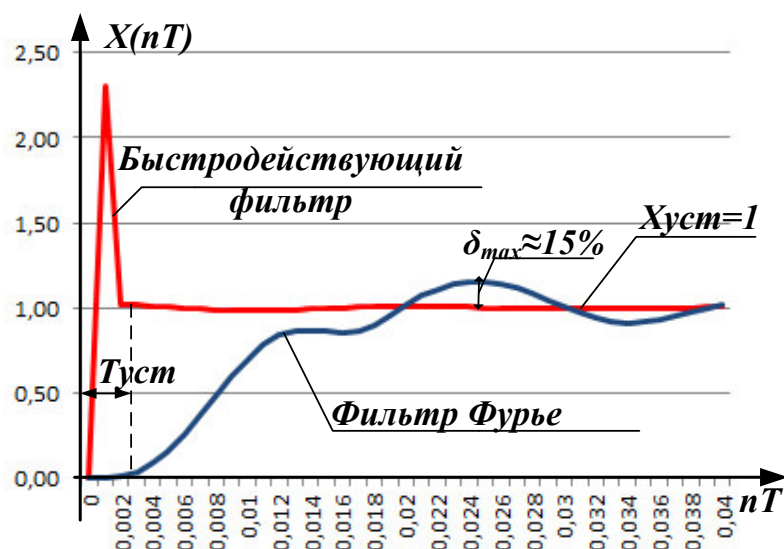


Рис.3

Было получено, что значение выходного сигнала фильтра Фурье начиная с момента времени $nT = 0,02$ с колеблется около истинного значения амплитуды сигнала и не достигает установившегося значения даже по прошествии двух периодов промышленной частоты, при этом максимальная погрешность определения амплитуды при $nT > T_{уст1}$ составляет около 15%. В свою очередь, выходной сигнал быстродействующего фильтра становится равным истинному уже через 0,003 с.

Исходя из полученных результатов моделирования, становится ясно, что время установления сигнала быстродействующего фильтра зависит как от количества исключаемых гармонических составляющих m , так и от периода дискретизации сигнала или числа выборок за период промышленной частоты $N = T_{п}/T$. На рис. 4 представлена полученная зависимость величины времени установления сигнала при изменении m от 1 до 5 и N от 1 до 80.

Можно сделать вывод, что время установления сигнала превышает длительность периода промышленной частоты только при наличии во входном

сигнале более четырех составляющих помех и использовании N менее 10. Учитывая, что в современных устройствах защиты используются значения $N \geq 20$, а согласно протоколу МЭК-61850-9-2 данное значение должно быть не меньше 80, то даже при фильтрации большого количества составляющих сигнала, применение специализированных фильтров значительно повышает быстродействие устройств релейной защиты.

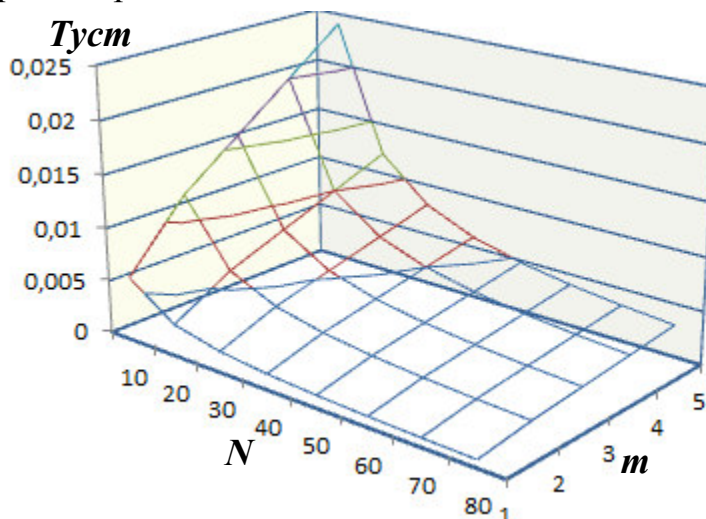


Рис.4

Помимо этого, как показали результаты моделирования, для таких фильтров практически отсутствует погрешность определения параметров информационного процесса, даже при наличии во входном сигнале апериодической составляющей или составляющих частот, не кратных промышленной частоте, в отличие от фильтров Фурье.

Кроме возможности выделения составляющих первой гармоники, применение специализированных фильтров возможно для устройств защиты, реагирующих на составляющие аварийного процесса [4], например, для выделения апериодической составляющей.

Таким образом, для современных условий развития техники релейной защиты применение специализированных нерекурсивных фильтров является перспективным направлением не только с точки зрения повышения быстродействия, но и точности определения параметров информационного процесса.

Литература

1. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007. 549 с.
2. Овчаренко Н.И. Цифровые аппаратные и программные элементы микропроцессорной релейной защиты и автоматики энергосистем. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2006. 120 с.
3. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем: учеб. пособие для вузов/ А.Ф. Дьяков, Н.И. Овчаренко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 336 с.
4. Лачугин В.Ф. Релейная защита объектов электроэнергетических систем, основанная на использовании волновых методов: автореф. дис. канд. техн. наук. , Иваново, 2016.

АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ АЛГОРИТМА ДВУХ ВЫБОРОК

В статье приведен анализ частотных свойств алгоритма двух выборок, применяемого в современных микропроцессорных релейных защитах для определения параметров сигнала. Рассмотрено влияние на результат фильтрации частоты дискретизации сигналов и числа используемых выборок. Предложены меры по совершенствованию данного алгоритма.

Ключевые слова: релейная защита и автоматика, обработка сигналов, алгоритм двух выборок, частотные характеристики, дискретизация.

В современных устройствах релейной защиты и автоматики (РЗА) для выделения информации о параметрах входных сигналов применяются различные цифровые алгоритмы фильтрации. Наиболее распространенным из них является цифровой фильтр (алгоритм) Фурье [1]. Но как показывают исследования [2,3], данный алгоритм дает хорошие результаты только, если входной сигнал является стационарным гармоническим сигналом заданной частоты.

При возникновении каких-либо возмущений, будь то изменение основной частоты, наличие высшей гармоники или появление апериодической составляющей, в результате фильтрации появляется значительная погрешность, влияющая на точность и правильность работы устройств РЗА [2]. Вносимую нестационарностью сигнала погрешность можно снизить, если применять алгоритмы, использующие, в отличие от вышеупомянутого фильтра, окно данных длительностью менее периода промышленной частоты, поскольку в этом случае будет отсутствовать погрешность, обусловленная инерционностью алгоритмов (то есть влиянием запоминания алгоритмом предыдущих выборок).

Одним из таких алгоритмов является так называемый алгоритм двух выборок, который обеспечивает точное измерение параметров векторов входных сигналов частоты $f_0 = 50$ Гц. В данном алгоритме используются две выборки сигнала $u(t) = U \sin(\omega_0 t + \varphi)$ (U - амплитуда сигнала, $\omega_0 = 2\pi f_0$ - угловая частота основной гармоники, φ - начальная фаза, t - время), взятых с частотой дискретизации T через m циклов:

$$\left. \begin{aligned} u(nT - mT) &= U \sin(\omega_0 nT + \varphi - \omega_0 mT), \\ u(nT) &= U \sin(\omega_0 nT + \varphi), \end{aligned} \right\}$$

где n - номер выборки.

Решая совместно данную систему уравнений, получается выражение для определения вектора входного сигнала:

$$\bar{U}(nT) = \frac{u(nT)e^{j\omega_0 mT} - u(nT - mT)}{|\sin \omega_0 mT|} = U_x(nT) + jU_y(nT),$$

где $U_x(nT)$ и $U_y(nT)$ - ортогональные составляющие вектора $\bar{U}(nT)$.

Соответственно, для вычисления амплитуды данного вектора в любой момент времени необходимо выполнить преобразование:

$$U(nT) = \sqrt{(U_x(nT))^2 + (U_y(nT))^2}.$$

Целью данного исследования является анализ частотных свойств алгоритма двух выборок и выявление возможности его применения в современных микропроцессорных терминалах защиты.

Частотные свойства алгоритма определяются его амплитудно-частотными характеристиками. Выражение для построения АЧХ данного алгоритма следующее:

$$H(\pm\omega) = 2 \left| \sin \left(\frac{\omega_0 m T \pm q \cdot \frac{2\pi m}{N}}{2} \right) \right| / \left| \sin \omega_0 m T \right|,$$

где $q = \omega / \omega_0$ - номер гармоники, N - число выборок за период промышленной частоты. Исходя из данного выражения, частотные свойства алгоритма двух выборок будут зависеть не только от частоты входного сигнала и периода дискретизации (и соответственно, числа выборок), но и от определяемого значением m интервала между выборками.

Поэтому вначале были построены зависимости $H(\pm\omega)$ для различных значений m при $N = 12$ (рис.1).

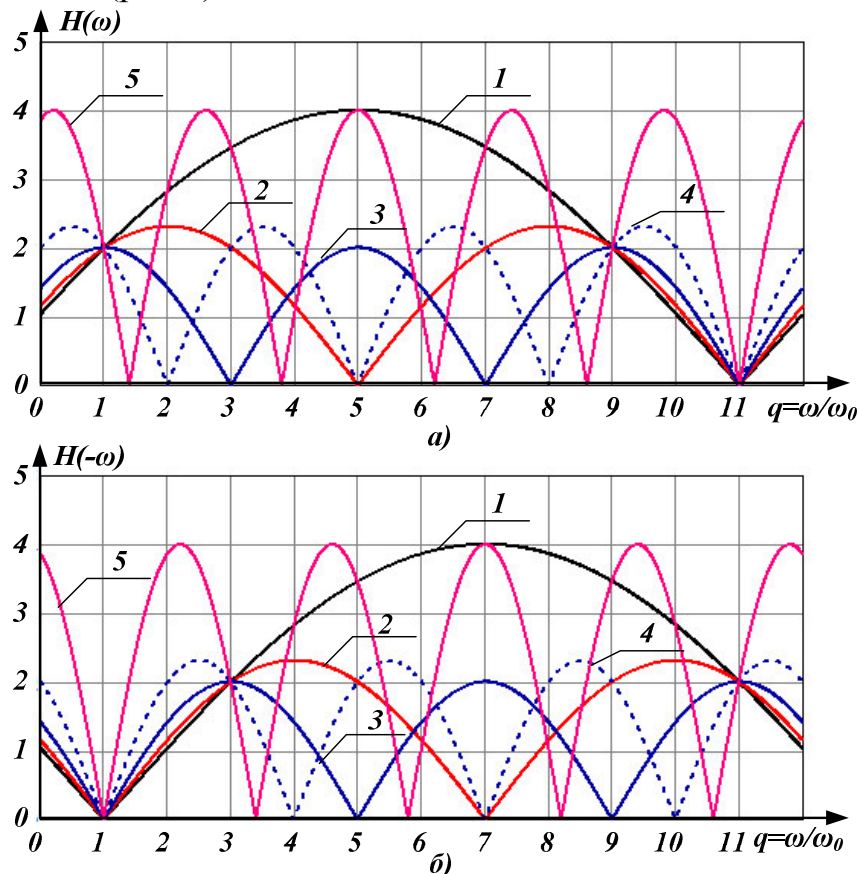


Рис.1- Зависимости $H(\omega)$ (а) и $H(-\omega)$ (б) алгоритма двух выборок для $N = 12$ и $m = 1, 2, 3, 4$ и 5

Анализируя полученные зависимости, можно сделать следующие выводы:

1) для всех значений m измерение на частоте $\omega_0 (q=1)$ должно осуществляться без погрешности, поскольку $H(-\omega)$ в данном случае равняется нулю;

2) для алгоритма с использованием выборок при $m=1$ и $m=2$ характерны сильные дифференцирующие свойства, нежели для остальных значений m . Наименьшее значение максимума АЧХ характерно для случая, когда $m=3$ ($H_{\max}(\omega) = 2$), в то время как для $m=1$ и $m=2$ максимум составляет $H_{\max}(\omega) = 4$;

3) для $m=3$ неопределенность замера будет максимальной на четных гармониках (то есть когда значения $H(\omega)$ и $H(-\omega)$ одинаковы) и будет полностью отсутствовать на всех нечетных гармониках, в отличие от случая, когда $m=5$ и неопределенность замера присутствует практически на всем диапазоне частот.

Следовательно, наилучшие частотные свойства показывает алгоритм, использующий выборки, отстающие друг от друга на $m=3$ циклов.

Для выявления зависимости дифференцирующих свойств от частоты дискретизации сигнала были построены АЧХ $H(\pm\omega)$ для $m=3$ и числа выборок за период промышленной частоты $N = 12, 24$ и 48 (рис. 2,а).

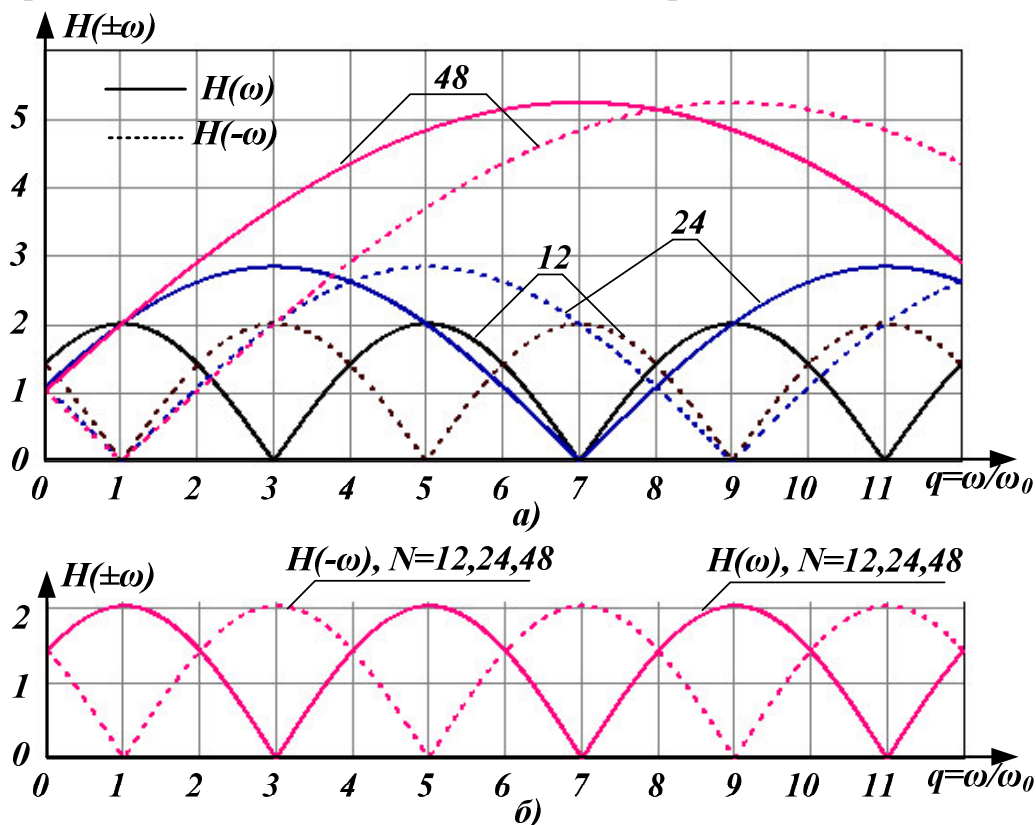


Рис.2 - Зависимости $H(\pm\omega)$ алгоритма двух выборок для $N = 12, 24, 48$ и $m=3$ (а) и $m = N/4$ (б)

Увеличение числа выборок (уменьшение периода дискретизации сигнала) влечет за собой усиление дифференцирующих свойств алгоритма, а следовательно, и значительную погрешность при определении параметров вектора сигнала.

Однако если с увеличением числа выборок изменять и параметр m , так чтобы при любом N значение m равнялось $N/4$, то характеристики $H(\pm\omega)$ будут совпадать для всех значений N , что показано на рис. 2,б. Это обстоятельство позволяет применять данный алгоритм даже в устройствах, поддерживающих протокол МЭК-61850-9-2, согласно которому частота дискретизации сигналов устройств РЗА должна быть 4000Гц, что соответствует 80 выборкам за период промышленной частоты.

Помимо высших гармоник на качество определения параметров сигнала также влияние оказывает и постоянная (апериодическая) составляющая. Как следует из вышеприведенных характеристик, для данного алгоритма характерна неопределённость измерений при наличии во входном сигнале апериодической составляющей. Но данный недостаток можно исключить, если предварительно произвести фильтрацию входного сигнала, например, по следующему алгоритму [4]: апериодическая составляющая $u_a(nT) = U_a \cdot e^{-nT/\tau}$ (U_a - начальное значение составляющей, τ – постоянная времени затухания переходного процесса) практически полностью компенсируется при суммировании дискретных значений сигнала в момент времени $(n-2)T$ и (nT) и вычитании из их суммы удвоенного промежуточного дискретного значения в момент $(n-1)T$, поскольку при линеаризации апериодической составляющей на интервале времени $2T$:

$$u_a(nT) + u_a[(n-2)T] = 2U_a[(n-1)T]$$

Таким образом, можно произвести исключение апериодической за время, равное трем периодам дискретизации, и обеспечить правильность замера сигнала основной частоты.

Длительность переходного процесса в данном алгоритме при использовании $m = N/4$ составляет mT секунд, (например при $N=12$ mT равняется 5мс), в то время как для алгоритма Фурье это время составляет период промышленной частоты. Следовательно, данный алгоритм может применяться для быстродействующих релейных защит, реагирующих на мгновенные значения сигналов.

Литература

1. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита.–М.: Энергоатомиздат, 2007.549 с.
2. Вайтеленок Л.В., рук: Ковженкин В.С. Исследование влияния отклонения частоты сети на точность обработки входных сигналов устройств РЗА нерекурсивными фильтрами Фурье//Информационные технологии, энергетика и экономика: сб.труд. XIIIМежд. научн.-технич. конф. студ. и аспирантов Филиал МЭИ в г. Смоленске, Смоленск, 2016. Т.1, С.9-13.
3. Никитин А.А. Цифровая релейная защита. Основы синтеза измерительной части микропроцессорных реле: текст лекций / А.А. Никитин. - Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014. – 240с.
4. Овчаренко Н.И. Цифровые аппаратные и программные элементы микропроцессорной релейной защиты и автоматики энергосистем/ Н.И. Овчаренко. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2006. – 120 с.

*Д.Д. Гордиевский, студ.; Л.И. Долецкая, доц.; Р.В. Солопов, доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ВЫБОР МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С УЧЁТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В статье рассматривается задача рационального выбора номинальной мощности силовых трансформаторов. Приведено описание различных методов оптимизации мощности трансформаторов, в частности метода районирования множества векторов состояния природы.

Ключевые слова: оптимизация мощности трансформатора, методы оптимизации, метод районирования множества векторов состояния природы.

Силовые трансформаторы напряжением 6-10/0,4 кВ являются одним из основных элементов электрических сетей и от выбора их параметров в значительной степени зависят технико-экономические показатели систем электроснабжения потребителей. Выбор номинальной мощности трансформаторов проводится с использованием следующей исходной информации: расчетной нагрузки подключенных потребителей электроэнергии, продолжительности максимума нагрузки, нагрузочной способности, стоимости электроэнергии и т.д. При этом величина стоимости трансформаторной подстанции растет с увеличением мощности трансформатора, в то время как затраты на возмещение потерь уменьшаются. Таким образом, задачу выбора номинальной мощности трансформаторов можно отнести к оптимизационным.

Существуют различные методы решения оптимизационных задач. Применение конкретного метода оптимизации зависит от цели исследования, объёма и характера имеющейся исходной информации [1].

При постановке и решении оптимизационных задач необходимо учитывать характер исходной (располагаемой) информации обо всех участвующих в расчётах параметров. Используемая в технико-экономических исследованиях информация разделяется на три группы:

- а) Детерминированная, которая однозначно характеризует явления и процессы;
- б) Вероятностно-определенная, которая характеризует случайные события или величины с известными законами распределения вероятностей;
- в) Недетерминированная, или неопределенная, характеризующая случайные события или величины, для которых известна лишь область, в которой они могут находиться. К неопределенной информации относятся и стохастические данные, для которых точно неизвестен закон распределения.

Наиболее распространенными методами для решения задачи оптимизации выбора номинальной мощности трансформатора являются [1]:

- 1) Метод критериального анализа;
- 2) Стохастическое программирование;
- 3) Метод теории игр.

Первый метод основан на обобщенных методах теории подобия. Последовательное применение критериальных зависимостей позволяет не только обобщать и распределять результаты расчёта одной модели на целое множество других подобных моделей, но и производить технико-экономический анализ задач, не зная численного значения обобщенных констант. Основной недостаток критериального анализа заключается в том, что оптимизируемая функция должна быть канонической. Это значительно ограничивает область его применения.

Второй способ основан на методах теории вероятностей и математической статистики. Особенностью стохастического программирования является то, что результаты, получаемые при однократном моделировании рассматриваемого процесса, следует расценивать лишь как реализации случайного процесса. Поэтому искомые величины при исследовании систем методом статистического моделирования обычно определяют усреднением по данным большого числа реализаций. Однако, при большом разбросе исходных данных сложно установить зависимость с требуемой степенью достоверности, к тому же она требует большого количества вычислительных математических операций для её исследования.

Проведенный анализ опубликованных данных о расчётных нагрузках, продолжительности максимума нагрузки, нагрузочной способности и режимах функционирования трансформаторных подстанций [2] показал, что значения исходных данных могут изменяться в широких пределах по районам страны в зависимости от уровня электропотребления, особенностей эксплуатации сетей, темпов роста нагрузок. Например, стоимость строительства КТП и значение продолжительности использования максимума нагрузки являются важными параметрами при решении задачи оптимизации номинальной мощности трансформатора. В табл.1 приведены сметные данные стоимости строительства КТП ТВ (В) 6-10/0,4 кВ в 2012 г. [2], предоставляемые различными заводами-изготовителями, а в табл. 2 [3] – значения продолжительности использования максимума нагрузки T_{MAX} .

Таблица 1 – Сметные данные стоимости строительства КТП ТВ (В) 6-10/0,4 кВ в 2012 г. с учётом НДС.

Мощность КТП, кВА	Интервал стоимости строительства КТП, тыс. руб.
25	205,3 – 218,5
40	207,8 – 223,3
63	222,4 – 230,8
100	230,6 – 262,3
160	256,1 – 285,7
250	288,2 – 323,9
400	331,5 – 395,3
630	440,2 – 504,9
1000	723,4 – 844,2

Таблица 2 – Средние значения продолжительности использования максимума нагрузки T_{MAX} .

Потребители	T_{MAX} , час/год
Топливная промышленность	2000 – 8000
Металлургия	5800 – 7500
Химическая промышленность	6200 – 8000
Машиностроение и металлообработка	3000 – 5300
Пищевая промышленность	3500 – 7000
Быт и сферы обслуживания сельской местности	200 – 3200

Из данных, представленных в таблицах, можно сделать вывод, что значение стоимости строительства КТП изменяется в пределах 4-19 %, а средняя продолжительность использования максимума нагрузки составляет 200-8000 час/год.

Методы решения оптимизационных задач с неопределенными параметрами принципиально отличаются от анализа детерминированных моделей. Все решения задач с неопределенными параметрами являются условными. Обозначенные решения этих задач можно получить только при определенных субъективных допущениях либо относительно критериев оптимизации, либо относительно конкретных значений неопределенных параметров.

К таким методам в первую очередь относятся методы теории матричных игр. Решение оптимизационной задачи рассматривается как «игра с природой», неизвестные состояния которой отождествляются с неопределенными параметрами. Цель игры заключается в нахождении наилучшей стратегии исследователя, соответствующего искомому оптимальному решению. Для этого метода как раз и характерно принятие некоторых субъективных допущений относительно критериев оптимизации.

Другой возможный подход к задачам с неопределенными параметрами заключается в использовании допущений о значениях неопределенного параметра. Особый интерес здесь представляет предложенный И.Я. Динером метод районирования множества векторов состояния природы, являющийся модификацией теории игр [4]. Этот метод особенно эффективен для оптимизационных задач, в которых наилучшее решение должно быть выбрано из сравнительно небольшого количества дискретных параметров, т.е. в рассматриваемом случае стандартных мощностей трансформаторов.

По методу районирования диапазон возможных значений неопределенного параметра разбивается на ряд областей, в каждой из которых наилучшим является одно из стандартных решений. Одна из особенностей метода районирования заключается в том, что он объективно отвечает на вопрос о соотношении между решениями, полученными на основе моделей с детерминированными и неопределенными параметрами.

Таким образом, при решении задачи оптимизации номинальной мощности силовых трансформаторов с учётом неопределенности исходной информации

методы критериального анализа и стохастического программирования обладают рядом ограничений. В данном случае целесообразно использование методов теории игр и районирования множества векторов состояний природы, учитывающих изменение исходной информации в широких пределах.

Литература

1. Костин В.Н. Оптимизационные задачи электроэнергетики. Учеб. пособие / Санкт-Петербург, 2008, – 123 с.
2. ФЕРм 81-03-08-2001. Государственные сметные нормативы. Федеральные единичные расценки на монтаж оборудования. Часть 8. Электротехнические установки (с Изменениями от 04.03.2010, от 21.12.2010, от 25.07.2011, от 29.12.2011, от 29.06.2012).
3. Справочник по проектированию электрических сетей / Под редакцией Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перерад. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.;
4. Динер И.Я. Районирование множества векторов состояния природы и задача выбора решения. – В кн.: Исследование операций. – М.: Наука, 1972, с. 43-62.

*А.Ю. Гусев, студ.; Е.С. Андреенков, к.т.н., ст. преп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ТОКА С РАСШИРЕННЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ

В статье рассматривается проблема разработки конструкции датчика тока с расширенным диапазоном для применения в измерительных комплексах электрических сетей, обладающего высокой точностью измерений и повышенными эксплуатационными характеристиками. Приведено конструкционное решение улучшенного датчика тока.

Ключевые слова: электроизмерительная техника, измерение тока, датчик тока.

В настоящее время для измерения тока в электрических сетях наиболее широко применяются трансформаторы тока, в которых исследуемый проводник и измерительная катушка, намотанная на ферромагнитный сердечник, связаны магнитным потоком, замыкаемым по магнитопроводу. Недостатком устройств такого типа является их громоздкость, необходимость принятия специальных мер для того, чтобы исследуемый проводник мог быть пропущен через замкнутый сердечник, а при использовании сердечников из магнитомягкого материала ограниченность динамического диапазона. Другим недостатком этих устройств является то, что они, как правило, пригодны для измерения тока в проводнике только определенной конфигурации, поскольку конфигурация прорези должна соответствовать конфигурации исследуемого проводника.

В последнее время наблюдается замена традиционных трансформаторов тока на более компактные датчики тока, избавленные от перечисленных недостатков. Например, датчики, работающие по принципу катушки Роговского – тороидальной катушки, расположенной вокруг исследуемого провода, но без стального сердечника. Однако недостатком такого сенсора тока является необходимость дополнительной обработки сигнала, т.е. интегрирование выходного напряжения; применение адаптеров для точного масштабирования выходного сигнала; применение специального, рассчитанного для данного класса точности, кабеля связи; необходимость в постороннем источнике энергии для усиления сигнала измерения.

Также применяются датчики, использующие эффект Холла [1]. Образец конструкции этого датчика приведен на рисунке 1. В таких датчиках присутствует магнитопровод с разрезом, в который помещается магниточувствительный элемент. Датчик обладает широким диапазоном измерений без нелинейных искажений и исключает промежуточные преобразования выходного сигнала. Однако недостатком такого датчика является нечеткая фиксация всех элементов измерения: положение чувствительного элемента относительно токоведущей жилы проводника и относительно дна *U*-образного концентратора магнитного потока не зафиксировано. Изменение положения чувствительного элемента относительно поверхности проводника приводит к изменению плотности магнитного потока, а, следовательно, и индуцируемой ЭДС в катушке чувствительного элемента, что приводит к несоответствию этой ЭДС значению первичного тока. К тому же, изменение положения оси катушки в продольном направлении в зоне *U*-образного концентратора так же приводит к увеличению погрешности измерения тока из-за неравномерного распределения линий магнитного потока в полости между полюсами *U*-образного концентратора магнитного потока. Точного соответствия ЭДС можно добиться после калибровки датчика, что усложняет монтаж и наладку.

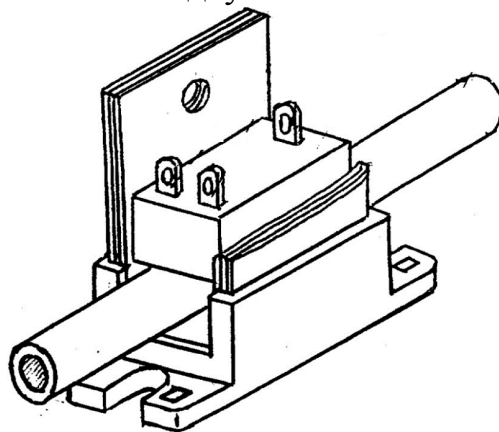


Рисунок 1 – конструкция приведенного датчика тока по патенту [1]

Предлагаемая ниже конструкция датчика призвана исправить перечисленные недостатки и обладает простотой, удобством монтажа и обслуживания.

Предполагается установка датчика тока на проходной изолятор известного диаметра для обеспечения жесткого контакта с измерительными элементами датчика тока, как показано на рисунке 2а, где 1 – блок предлагаемого датчика, встроенный в проходной изолятор 2.

Конструкция разработанного датчика тока приведена на рисунке 2б в виде блока 1 в разрезе по линии А-А. Предлагаемый датчик тока содержит чувствительный элемент 3, выполненный в виде катушки индуктивности с ферромагнитным сердечником, расположенный внутри капсулы из немагнитного материала 4, которая помещена внутрь полости 5 монолитной конструкции изоляционного материала, в которую также заложен токопроводящий проводник 6 проходного изолятора и его изоляция 7. Проводник охватывается концентратором магнитного потока *U*-образной формы 8, выполненным из нескольких слоев

лент из аморфной стали, играющей роль концентратора магнитного потока с равномерным распределением его внутри полости для размещения капсулы с чувствительным элементом, выводы от которого проложены к клеммной коробке 9.

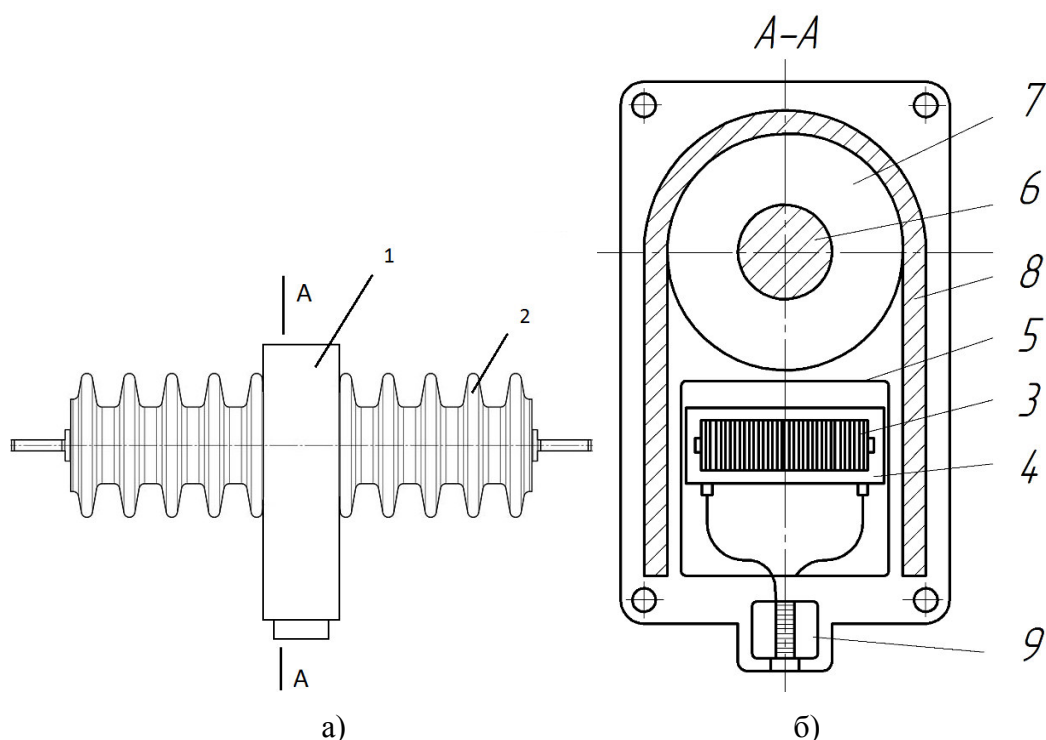


Рисунок 2 – схема установки предложенного датчика тока на проходной изолятор (а) и его конструктивное исполнение в разрезе по линии А-А (б)

Расположение капсулы относительно токоведущего проводника устанавливается пронумерованными рисками на стенках полости, которые устанавливаются при калибровке датчика для определенных первичных токов при изготовлении на заводе.

В рабочем состоянии капсула устанавливается внутри упомянутой полости соединяясь через разъемные контакты с выводами, расположенными в клеммной коробке, заливается герметиком для исключения попадания влаги и закрывается крышкой.

Ширина U-образной скобы концентратора выбирается такой чтобы обеспечить расположение чувствительного элемента в области равномерного распределения силовых линий магнитного поля. Это позволит обеспечить линейность характеристики выходного сигнала и высокую чувствительность при малых измеряемых токах. Применение аморфной стали в качестве материала для магнитопровода, которая обладает высокой магнитной проницаемостью, позволяет осуществлять измерение больших токов без нелинейных искажений.

Принцип действия разработанного датчика заключается в следующем. Ток, протекающий по токопроводу 6 проходного изолятора 7 формирует магнитный поток, индукция которого пропорциональна значению этого тока... U-образный концентратор 8 обеспечивает концентрацию рассеянного магнит-

ного потока создаваемого проводником 6. Внутри полости с чувствительным элементом магнитный поток, протекая по ферромагнитному сердечнику катушки 3, индуцирует в ней ЭДС, значение которой пропорционально протекающему по сердечнику потоку, который определяется током протекающим в проводнике 6.

. Интенсивность и равномерность магнитного потока в пространстве полости изменяется в зависимости от величины измеряемого тока. Изменение положения катушки 3 относительно проводника 6 позволяет регулировать чувствительность датчика и тем самым расширить диапазон измеряемых токов.

Приведенные конструкционные решения позволяют выполнить датчик тока с улучшенными статическими характеристиками и высокой точностью измерения тока в широком динамическом диапазоне и получить устройство простое в установке и обслуживании.

Литература

1. Датчик тока: пат. 2100811 Рос. Федерация: ПМК G01R19/15, G01R1/04/ Мешко Э.М.; заявитель и патентообладатель Мешко Э.М.; заявл. 18.06.96; опубл. 27.12.97.
2. Болотин О. А. Современные датчики для измерения тока и напряжения / Портной Г. Я., Разумовский К. П., Старков С. А.// журнал «ИСУП». – 2016. – № 1.

*Л.И. Долецкая, к.т.н., доц.; Р.В. Солопов к.т.н., доц.; С.Ю. Кривцов, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6-10 кВ

Изложены основные подходы к оценке надежности сельских электросетей; приведены результаты расчета показателей надежности ВЛ 10 кВ.

Ключевые слова: надежность, сельская местность, электроснабжение, показатели, потребители.

Электрические сети систем электроснабжения (СЭС) в сельской местности обеспечивают электроснабжение большого количества различных потребителей (по мощности, требованиям к бесперебойности электроснабжения, графикам изменения потребляемой мощности во времени – графикам нагрузки и т.д.). Отказ в электроснабжении хотя бы одного потребителя, присоединенного к электрическим сетям СЭС, приводит к невыполнению системой задачи снабжения потребителей электроэнергией в требуемом количестве, т.е. к недоотпуску электроэнергии.

Вследствие объективных экономических условий начиная с 1990 года, сократились темпы реконструкции, технического перевооружения и нового строительства распределительных электрических сетей. Средняя степень износа электросетевых объектов, включая здания и сооружения, составляет примерно 70% [1] и надежность электроснабжения присоединенных к электрическим сетям потребителей электроэнергии часто не соответствует требуемой. В связи с этим актуальными являются задачи повышения надежности с минимальными

затратами при развитии, реконструкции и техническом перевооружении электрических сетей.

Уровень надежности электроснабжения потребителей определяется следующими взаимозависимыми факторами: электрической схемой сети и степенью её резервирования, параметрами и техническими характеристиками ВЛ, надежностью ВЛ, объемом оснащённости средствами управления, автоматизации, телесигнализации, организацией эксплуатации.

При исследованиях надежности СЭС электроснабжения сельских потребителей целесообразно отдельно рассматривать питающие электрические сети напряжением 35-220 кВ и распределительные сети 6- 10 кВ.

Питающие электрические сети 35-220 кВ характеризуются достаточно высокой степенью резервирования узлов нагрузок и насыщенностью устройствами автоматизации и телесигнализации. Вследствие этого длительное погашение узлов нагрузки – событие достаточно редкое, обусловленное несколькими повреждениями, когда в случаях развития аварий могут потерять питание одновременно два и более центров питания (ЦП) подстанций 35-220/6-10 кВ.

Надежность электроснабжения сельских потребителей в значительной степени определяется надежностью электрических сетей напряжением 6-10 кВ, обслуживаемых энергоснабжающими организациями-районами электрических сетей (РЭС) региональных энергосистем.

Распределительные электрические сети 6-10 кВ выполнены, в основном, протяженными магистральными воздушными линиями (ВЛ); степень резервирования потребительских подстанций (ПС) 6-10/0,4 кВ сельских сетей низкая. Часто эти подстанции подключены «глухим» ответвлением к магистрали линии 10 кВ и потребители многих или всех ПС 10/0,4 кВ длительное время не получают электроэнергию при любом аварийном устойчивом повреждении на линии или шинах 10 кВ ЦП. Резервирование потребительских ПС по сети 0,38 кВ практически отсутствует.

Надежность электрических сетей 6-10 кВ РЭС определяется, в основном, отключениями ВЛ. При этом различают внезапные аварийные отказы (нарушения) и преднамеренные отключения линий. При внезапных отказах или неправильных действиях обслуживающего персонала ВЛ отключаются в результате работы устройств релейной защиты и автоматики (УРЗА). В настоящее время наибольшее (до 80%) число внезапных аварийных отключений потребителей электроэнергии происходит из-за повреждения элементов ВЛ 6-10 кВ.

О преднамеренных отключениях (плановых и внеплановых) потребитель получает информацию заранее, имеет возможность к ним подготовиться и уменьшить ущерб от прекращения электроснабжения. Кроме того, имеется возможность изменения схемы электрической сети, введение резервных элементов, временных перемычек для обеспечения бесперебойного электропитания потребителей.

Таким образом, наибольший ущерб от прекращения электроснабжения потребителей имеет место при аварийных устойчивых отказах ВЛ 6-10 кВ.

Длительность отключения ВЛ и перерыва в электроснабжении потребителей определяется длиной и конфигурацией линии, местами установки коммутационных аппаратов (КА), местными условиями оперативного обслуживания (состоянием дорог, наличием естественных преград и т.п.), Особенностью сельских распределительных сетей являются недостаточная автоматизация послеаварийных переключений. Они выполняются, в основном, вручную действиями оперативно – выездной бригады (ОВБ).

В условиях эксплуатации электрические схемы, параметры и характеристики ВЛ 6-10 кВ известны. На основе этих данных и информации о повреждаемости элементов сети возможно проведение расчетов надёжности электрических сетей и электроснабжения потребителей с целями определения эксплуатационных показателей надёжности и выбора способов ее повышения.

Для оценки надёжности элементов при отказах используются следующие показатели [2]:

- частота (средний параметр потока) отказов $\lambda(t)$ 1 /год;
- среднее время восстановления τ , ч.

Считается, что повреждаемость ВЛ распределяется равномерно по длине линии, поэтому на основании статистических данных определяется удельная частота отказов линий $\lambda_{\text{ЛО}}$, отнесенная к одному километру линии, определяется по формуле

$$\lambda_{\text{ЛО}} = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_{\text{ли}}}{L_{\text{ЛС}}}, \quad (1.1)$$

где $\lambda_{\text{ли}}$ – число отказов линии, зафиксированное в i -м году наблюдения,
 m – число лет наблюдений;

$L_{\text{ЛС}}$ – суммарная длина линий данного класса энергопредприятия.

Среднее время восстановления линии в расчете на один отказ определяется

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_{\text{ли}}}{n}, \quad (1.2)$$

где $\tau_{\text{ли}}$ – время восстановления при i -м отказе;

n – число зафиксированных отказов.

Для конкретной линии длиной L частота отказов определяется

$$\lambda_{\text{Л}} = \lambda_{\text{ЛО}} L. \quad (1.3)$$

Для оценки надёжности электрических сетей и СЭС используется комплексный показатель – средний ожидаемый недоотпуск электроэнергии потребителям за год. Этот показатель характеризует основные свойства надёжности системы электроснабжения, режим её нагрузки и определяется как суммарный недоотпуск электроэнергии потребителям, присоединенным к ВЛ. При этом, недоотпуск электроэнергии может определяться отдельно для каждой ВЛ и затем суммироваться для каждой питающей подстанции 35-110 /6-10 кВ или электрических сетей РЭС в целом.

С использованием математической модели процесса восстановления работоспособности ВЛ после устойчивого аварийного отключения [2] были выполнены расчеты показателей надежности пяти ВЛ 10 кВ суммарной длиной 82 км с подключением шестидесяти четырех ПС 10/0,4 кВ суммарной установленной мощностью трансформаторов 5800 кВА.

При выполнении расчетов была использована следующая информация:

-электрические схемы ВЛ;

-статистические данные по отказам электрических сетей 6-10 кВ, приведенные в годовых отчетах по анализу нарушений в распределительных электрических сетях РЭС за 10 лет эксплуатации;

В результате расчета надежности ВЛ 10 кВ получены следующие пределы изменения значений показателей:

-Частота отказов ВЛ: $(1,54-9,65) \cdot 10^2$ 1/год·км;

-среднее время восстановления: (0,23-20) ч;

-продолжительность отключений на 1 км ВЛ: 0,42 ч/км;

-средний недоотпуск на одно отключение: (221-1000,70) кВт·ч;

Результаты расчетов показывают, что диапазон изменения показателей надежности ВЛ 10 кВ достаточно широк. Конкретные значения показателей зависят от условий функционирования сетей.

Полученные результаты могут использоваться при исследованиях по технико-экономическому обоснованию способов и средств обеспечения надежного электроснабжения потребителей при реконструкции линии в связи с ростом электрической нагрузки и необходимостью замены изношенных элементов.

Использованный математический аппарат, основанный на применении математической модели процесса восстановления ВЛ 10 кВ, позволяет определять значения приведенных показателей надежности сельских электрических сетей 6-10 с учетом электрических схем сетей, преднамеренных отключений, оснащенности сетей средствами автоматики и др., а также принимать решения по обеспечению определенного уровня надежности.

Литература

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе».
2. Прусс В.Л., Тисленко В.В. Повышение надежности сельских электрических сетей. – Л.: Энергоатомиздат. –1989.

АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ПОДКЛЮЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭЦ

В статье рассматривается проблема ограничения токов короткого замыкания на электрических станциях. Приведен анализ различных альтернативных вариантов подключения системы питания собственных нужд ТЭЦ.

Ключевые слова: токи короткого замыкания, трансформаторы собственных нужд, ТЭЦ, ТСН, ограничители тока ударного типа, CLiP.

В настоящее время в современной электроэнергетике существует серьезная проблема повышения уровня тока короткого замыкания (КЗ). Как следствие, к электроаппаратам и токоведущим частям предъявляются повышенные требования по отключающей способности, динамической и термической стойкости. Это увеличивает стоимость соответствующего электрооборудования.

Особенно остро это проявляется на электрических станциях в цепях близких к источникам электрической энергии. В частности в генераторных распределительных устройствах (ГРУ) ТЭЦ.

На рисунке 1 показан пример схемы ГРУ ТЭЦ с двумя генераторами, двумя главными трансформаторами (Т1, Т2), двумя рабочими трансформаторами собственных нужд первой ступени (Т3, Т4) и резервным ТСН (Т5). На схеме показаны реакторы для ограничения токов КЗ в линиях питания местной нагрузки (МН) и так называемый секционный реактор (LRB), влияющий на уровень токов в ГРУ и связанной с ним сети.

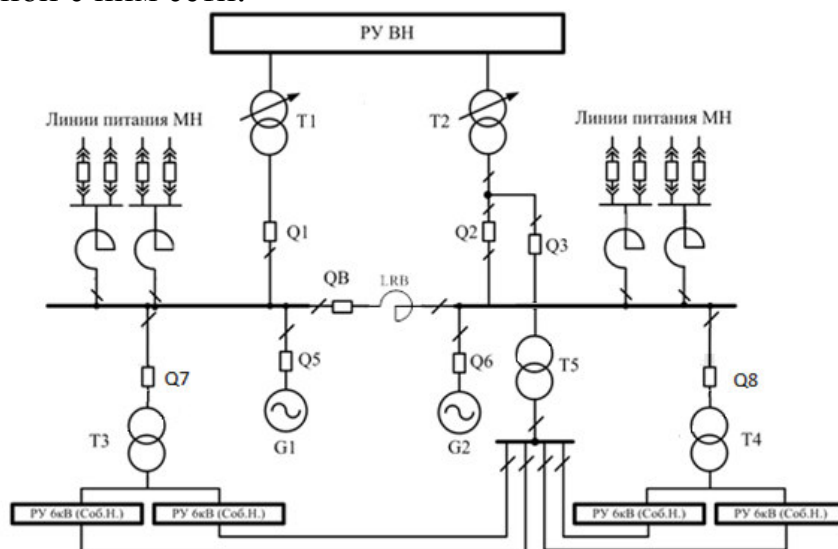


Рисунок 1. Схема ГРУ ТЭЦ

В типовых схемах ГРУ рабочие трансформаторы собственных нужд (ТСН) ТЭЦ присоединяются к шинам генераторного распределительного устройства (ГРУ) через цепочку аппаратов, важнейшим из которых является выключатель (обозначены на схеме Q7 и Q8). Помимо плановых отключений данные выключатели

чателю коммутируют цепь при коротких замыканиях (КЗ) в ТСН или на сборных шинах РУ 6 кВ при отказах выключателя в цепях ТСН на низкой стороне.

Стоимость выключателей (так же, как и других аппаратов) в цепях ТСН ГРУ ТЭЦ достаточно высока, что определяется большими величинами номинального тока отключения выключателя. В этих цепях токи КЗ максимальные. При отказе на выводах высшего напряжения ТЗ (Т4) все составляющие токов КЗ направлены в одну сторону (суммируются). С другой стороны, токи эксплуатационных режимов в этих цепях не велики. Они примерно на порядок меньше токов в цепях генераторов и главных трансформаторов ТЭЦ.

На ТЭЦ, построенных в СССР в 50-60 –е годы прошлого века в цепях ТСН ГРУ устанавливали выключатели типа МГУс номинальными токами отключения 63 или 90 кА и номинальными токами 6300 А. Токи эксплуатационных режимов в этих цепях, как правило, не превышают 600 А

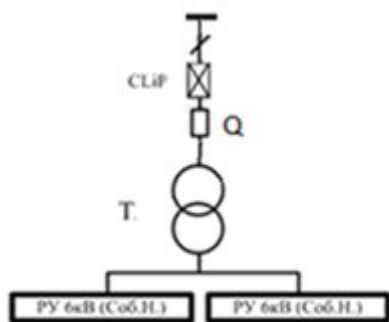
Рассмотрим альтернативные варианты решения вышеуказанной проблемы с использованием других электроаппаратов. Применение новых решений может быть целесообразным при необходимости замены масляных выключателей, находящихся в неудовлетворительном техническом состоянии или реконструкции ГРУ ТЭЦ.

В [3] рассмотрены варианты ограничения токов КЗ в ГРУ путем установки в цепи связи секций сдвоенных реакторов с изменением схемы их включения в разных режимах работы ГРУ.

Одним из способов решения проблемы является применение ограничителей ударного тока (ОУТ) взрывного типа CLiP. Главные достоинства этих аппаратов такие же, как и у плавких предохранителей: высокая скорость отключения цепи при КЗ (за время до 0,001 с), Схема цепи ТСН с использованием CLiP и выключателя показана на рис.2. Выключатель коммутирует цепь в эксплуатационных режимах и режимах КЗ, когда токи не превышают номинального тока отключения выключателя. В [4] показано, что вероятность таких отказов достаточно велика. Это относится к отказам в обмотках НН ТСН и практически в 90 % отказов в его обмотках ВН. Логическая схема CLiP может быть настроена таким образом, что он не отключает цепь при величине тока КЗ менее заданной величины, тем самым позволяя отключать небольшие токи короткого замыкания выключателем. Таким образом, экономия денежных средств от применения CLiP достигается за счет использования последовательно включенных с ними выключателей с меньшей отключающей способностью. Реально, например, использование CLiP совместно с выключателем ВВ/TEL-10-31,5/1600 [6] с номинальным током отключения 31,5 кА. Стоимость этого выключателя меньше на порядок, чем выключателя МГУ. Параметры CLiP представлены в таблице 1[7].

Таблица 1. Параметры CLiP

Оборудование	$U_n, \text{кВ}$	$I_n, \text{А}$	$I_{n \text{ откл}}, \text{кА}$	$I_{\text{сраб}}, \text{кА}$
CLiP	10,5	1000	60	31,5



Область использования CLiP в России ограничивается их очень высокой стоимостью. По этой причине фирма РОПОЛ, поставлявшая на Российский рынок эти аппараты, в последние годы приостановила их импорт из-за рубежа.

Может быть рассмотрена возможность использования в цепи ТСН вместо силового

выключателя выключателя нагрузки в сочетании с CLiP или с предохранителем. Рисунок 2. Схема подключения ТСН через CLiP и выключатель

предохранителем конечно дешевле всех других. В настоящее время налажено производство предохранителей с нужными параметрами по отключению токов КЗ. В [5] приводятся данные о предохранителях с номинальным током отключения до 60 кА. Однако, такие предохранители имеют относительно малые номинальные токи. Автору не удалось найти данные о предохранителях с номинальными токами более 160 А. Так фирма АВВ выпускает предохранители основные параметры которых: $I_{\text{ном.откл}} = 63 \text{ кА}$, $I_{\text{ном}} = 160 \text{ А}$. Номинальный ток этого предохранителя мал для его использования в цепях наиболее распространенных трансформаторов собственных нужд ТЭЦ.

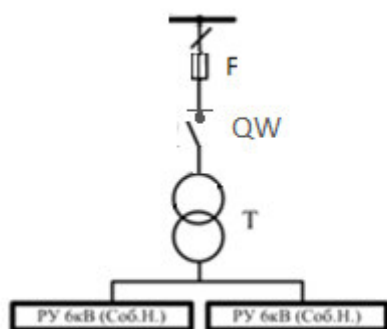


Рисунок 3. Схема подключения ТСН через предохранитель и выключатель нагрузки

Он может использоваться с трансформаторами с номинальной мощностью до 2500 кВА. Вариант работы со спаренными предохранителями с суммарным номинальным током 320 А соответствует передаваемой максимальной мощности 5530 кВА. Во многих случаях нагрузки ТСН больше этой величины. Однако время отключения цепи при таком варианте увеличивается практически в 2 раза. Кроме того, уровень надежности питания собственных нужд ТЭЦ при использовании предохранителей существенно снижается. Возникают проблемы его селективной работы с защитами цепей питания секций 6 кВ собственных нужд при отказах на шинах этих секций и присоединениях, к ним подключенных. При сочетании выключателя нагрузки с CLiP стоимость оборудования мало отличается от варианта CLiP с силовым выключателем.

Не исключается, в принципе, вариант с отказом от установки аппарата отключающего режим КЗ при отказах в ТСН. Например, с подключением ТСН к сборным шинам также как и групповых сдвоенных реакторов питания местной нагрузки – только через разъединители. При этом ТСН должен входить в зону дифференциальной защиты секции шин ГРУ, что несколько увеличивает вероятность ее работы. В [5] показано, что это увеличение вероятности составляет $2,0 \cdot 10^{-4}$, то есть она относительно не велика. Некоторым недостатком такого варианта может быть необходимость отключения секции ГРУ, для вывода ТСН в

ремонт, если разъединителем нельзя отключать токи холостого хода трансформатора. Он не очень существенен при сочетании плановых ремонтов секции ГРУ и подключенного к ней ТСН. Вместо разъединителя можно установить выключатель нагрузки (без предохранителя), если удастся найти аппарат с нужным запасом по динамической и термической стойкости.

Как вариант-подключение ТСН через силовой, (но более дешевый, чем МГУ) выключатель, обеспечивающий только оперативное его отключение по команде персонала. Проблема в этом случае - только обеспечение динамической стойкости этого выключателя. У выше упомянутого выключателя ВВ/TEL-10-31,5/1600 ток динамической стойкости составляет 31,5 кА. С другой стороны, уровни ударного тока в генераторных цепях редко меньше 100 кА. Таким образом, параметры конкретного выключателя меньше параметров режима КЗ в 3-4 раза. Есть ли возможность увеличения динамической стойкости выключателя ВВ/TEL-10-31,5/1600 без серьезных переделок конструкции? Реальный ответ, понятно, могут дать только разработчики этой конструкции. В принципе, это не исключается, имея в виду особенности конструкции этого аппарата. В частности наличие электромагнитных приводов отдельных для каждой фазы, размещенных на общей платформе. По закону Био-Савара-Лапласа силы, обусловленные протеканием токов в проводниках разных фаз, зависят от расстояния между ними и магнитной проницаемости среды между ними. Таблица-электрик выпускает аппарат с расстоянием между фазами 250 мм [6]. Таким образом, практически не меняя конструкцию ВВ/TEL-10-31,5/1600, нужный уровень динамической стойкости будет обеспечен при увеличении расстояния между фазами до 1000 мм. Ширина МГУ примерно такая же. То есть ВВ/TEL-10-31,5/1600 поместится в отведенном для МГУ отсеке при его замене. Другой вариант - с сохранением габарита выключателя может быть обеспечен при выполнении конструкции в едином корпусе из диэлектрического материала с большими значениями магнитной проницаемости.

В данной статье предлагается принципиально другой подход к решению выше указанных проблем. Главная особенность этого подхода в том, что на ТЭЦ с ГРУ и одним высшим напряжением (110 или 220 кВ) для их связи друг с другом используются не двухобмоточные, а трехобмоточные трансформаторы. При этом номинальное напряжение их обмоток низкого напряжения (НН) должно быть 6,3 или 6,6 кВ, обмоток среднего напряжения - 10,5 или 11 кВ. Обмотку НН предлагается использовать для питания цепей собственных нужд первой ступени ТЭЦ. При такой схеме питания собственных нужд специальные рабочие ТСН устраняются сами по себе. В чем видятся основные преимущества такого решения?

1. Отсутствует необходимость установки специальных рабочих ТСН с соответствующей экономией денежных средств. На сами трансформаторы и ячейки для их подключения к ГРУ.

2. Повышается надежность системы питания собственных нужд. Отказы на секциях ГРУ не приводят к отключению обмоток низкого напряжения трехоб-

моточных трансформаторов. При ремонтах секций ГРУ питание собственных нужд осуществляется от РУ ВН. При отключениях трансформатора связи от РУ ВН питание собственных нужд осуществляется от ГРУ. Перевод питания собственных нужд от резервных источников происходит только при выводе из работы одного из двух главных трансформаторов ТЭЦ.

3. Возникает перспектива снижения уровня токов КЗ в системе собственных нужд.

4. КЗ на сборных шинах ГРУ или в электрически близких к нему точках не приводит к значительным снижениям напряжения в РУ 6 и 0,4 кВ системы собственных нужд ТЭЦ, что соответственно улучшают условия самозапуска двигателей.

Нельзя говорить об отсутствии недостатков предлагаемого варианта питания собственных нужд ТЭЦ. Главный из них - увеличение стоимости трансформаторов связи ТЭЦ с системой. Анализ источников информации [2] показывает, что стоимость серийных трехобмоточных трансформаторов при одинаковых номинальной мощности и высшем номинальном напряжении, что и у двухобмоточных, наличие у них обоих устройств РПН на 20- 25 процентов больше. Такая разница соответствует вариантам трехобмоточных трансформаторов с одинаковыми номинальными мощностями обмоток всех трех напряжений. При выполнении обмотки НН с номинальной мощностью 10 – 15 % от номинальной мощности трансформатора она существенно сократится.

Выводы.

1. Рассмотрев различные варианты альтернативных схем подключения ТСН к ГРУ ТЭЦ, можно сделать вывод о том, что они могут быть использованы наравне с традиционными схемами, учитывая технические характеристики современных электроаппаратов. Есть основание полагать о наличии экономических преимуществ схем, предложенных в данной статье.

2. Использование в качестве трансформаторов связи ТЭЦ системой трехобмоточных трансформаторов и питанием от него электроприемников собственных нужд технически осуществим с использованием выпускаемых в настоящее время серийных трансформаторов. Такой вариант обеспечивает более высокий уровень надежности электрообеспечения собственных нужд ТЭЦ

Литература

1. Справочник по проектированию электрических сетей // Д.Л. Файбисович// Москва, ЭНАС 2009г.
2. Номенклатурный каталог // Группа Тольяттинский трансформатор 2011г.
3. «Оптимизация режимов работы секционного реактора генераторного распределительного устройства ТЭЦ с использованием шунтирующих электроаппаратов»/ Марков В.С., к.т.н., доц.; Солопов Р.В., к.т.н (Филиал МЭИ в г. Смоленске)/ «Энергетика, информатика, инновации-2014», 4-ая международная научно-техническая конференция
4. . Анализ альтернативных вариантов подключения трансформаторов собственных нужд к ГРУ ТЭЦ)/ Залманенко А.И., Марков В.С (Филиал МЭИ в г. Смоленске)/ «Энергетика, информатика, инновации-2015», 5-ая международная научно-техническая конференция
5. <http://www.abb.ru/>
6. <http://www.tavrida.ru/>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ КВАЛИМЕТРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕ- ВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассматриваются показатели эффективности работы электросетевых предприятий по отношению к потребителям их услуг и даются рекомендации по использованию принципов квалиметрии для их комплексной оценки.

Ключевые слова: показатели эффективности, надежность, технологические потери электроэнергии, качество обслуживания, принципы квалиметрии.

Электроэнергетические сетевые предприятия (ЭСП) являются важнейшим звеном электроэнергетики России и выполняют две основные функции: передачу и распределении электроэнергии и осуществление технологического присоединения электроустановок потребителей к электрическим сетям.

На практике важно уметь оценивать эффективность работы ЭСП по различным направлениям их деятельности с помощью наиболее важных ключевых показателей, к которым, например, относятся различные технические, экономические и технико-экономические показатели:

- надежность работы;
- уровень потерь электроэнергии;
- уровень качества оказываемых услуг;
- эффективность инвестиционной деятельности;
- эффективность инновационной деятельности.

Эти показатели с разных сторон оценивают деятельность предприятий. Однако важно иметь возможность оценить эффективность их функционирования по отношению к потребителям их услуг, что представляет определенные затруднения из-за разной размерности и значимости указанных показателей.

Решить эту задачу можно воспользовавшись методологией квалиметрии [1]. Квалиметрия - это новая, но вполне сформировавшаяся наука об измерении и количественной оценке качества всевозможных предметов и процессов. Рассмотрим ряд принципов квалиметрии, которые необходимо учитывать при решении поставленной задачи.

1. Исследуемые показатели эффективности функционирования ЭСП должны достоверно и точно отражать различные свойства объекта или процесса по отношению к потребителям.

2. Приоритет в выборе определяющих показателей для оценки качества функционирования ЭСП также должен принадлежать государственным органам, регулирующим деятельность электроэнергетических предприятий в рамках действующего законодательства [2].

3. Квалиметрическая оценка качества функционирования ЭСП не может быть получена без наличия эталона для сравнения – без базовых значений исследуемых показателей.

4. При использовании метода комплексной оценки качества функционирования ЭСП все показатели различных свойств должны быть преобразованы и приведены к одной размерности или выражены в безразмерных единицах измерения.

5. При определении комплексного показателя качества каждый показатель отдельного свойства должен быть скорректирован коэффициентом его весомости (значимости).

6. Сумма численных значений коэффициентов весомостей всех показателей качества на любых иерархических ступенях должна иметь одинаковое значение.

7. Качество целого объекта определяется качеством его составных частей.

8. При количественной оценке качества по комплексному показателю недопустимо использование взаимообусловленных или дублирующих показателей одного и того же свойства.

Таким образом, квалиметрическими методами качество функционирования ЭСП может быть оценено одним или несколькими комплексными показателями. Этим доказывается, что качество – это совокупная характеристика сущности объекта, обусловленная всеми его свойствами и признаками.

Рассмотрим на примерах как принципы квалиметрии реализуются на практике при оценивании деятельности ЭСП.

Одним из главных показателей эффективности функционирования ЭСП является надежность электроснабжения потребителей. В нашей стране для государственного регулирования тарифов уровень надежности оказываемых ЭСП услуг определяется показателем продолжительности прекращений передачи электрической энергии потребителям за год, который определяется по формуле:

$$\Pi_{\Pi} = T_{\Pi} / N_{\Pi} , \quad (1)$$

где T_{Π} – суммарная длительность всех отключений потребителей электрической энергии за расчетный период (год), ч;

N_{Π} – максимальное за расчетный период регулирования количество присоединений клиентов к электрической сети ЭСП, шт.

Чем меньше показатель Π_{Π} , тем выше уровень надежности работы сетевого предприятия по оказанию услуг электроснабжения потребителям. При отсутствии прекращений передачи электроэнергии $\Pi_{\Pi} = 0$, что является эталонным значением. Таким образом, показатель (1) является комплексным показателем, удовлетворяющим принципам квалиметрии и оценивающим надежность электроснабжения среднестатистического потребителя, подключенного к электрическим сетям конкретной ЭСП.

В качестве примера в таблице 1 представлены данные по значениям целевого показателя (1) для пяти сетевых предприятий [2,3].

Таблица 1. Значения показателя средней продолжительности прекращения передачи электрической энергии (P_{Π})

Название предприятия	Значение показателя, годы		
	2015	2016	2017
Белгородэнерго	0,0518	0,0510	0,0502
Брянскэнерго	0,1227	0,1208	0,1190
Орелэнерго	0,2005	0,1975	0,1945
Смоленскэнерго	0,2069	0,2038	0,2007
Тверьэнерго	0,0905	0,0891	0,0877

По данным таблицы 1 видно, что для всех предприятий задана тенденция по снижению показателя (1) с каждым последующим годом. В настоящее время наибольшее значение показатель P_{Π} принимает в Смоленской области, наименьшее - в Белгородской области, что характеризует достигнутый уровень надежности ЭСП. Стремление к снижению этого показателя должно стимулировать деятельность ЭСП по повышению надежности электроснабжения потребителей. Вместе с тем, у показателя (1) имеются очевидные недостатки, так как он не учитывает величину отключаемой мощности и экономический ущерб, вследствие перерывов электроснабжения.

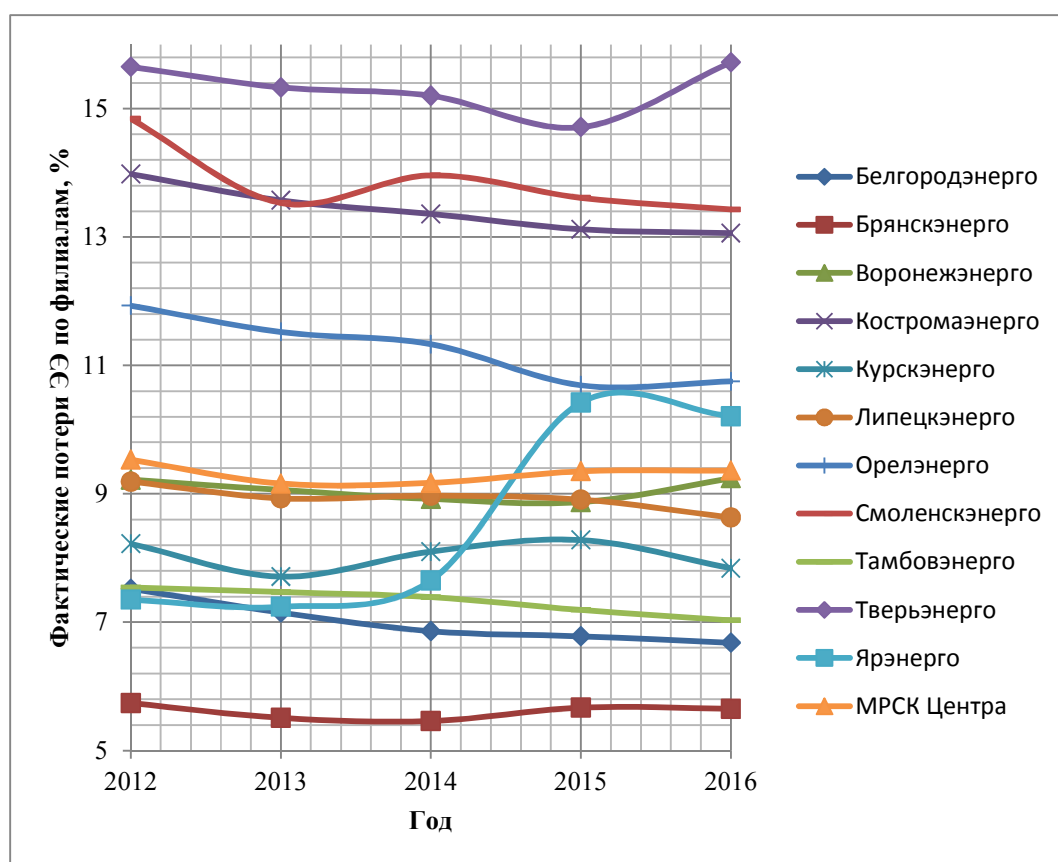


Рис.1. Фактические потери электроэнергии в филиалах ПАО «МРСК Центра» в 2012-2016 гг.

Еще одним важным техническим показателем эффективности работы ЭСП по осуществлению их главной функции по передаче электроэнергии потребителям является уровень потерь отпущенной в сеть электроэнергии. Этот показатель имеет важное значение для потребителей, так как нормативные технологические потери электроэнергии оплачиваются ими в составе стоимости услуг по передаче электроэнергии.

На рис.1 представлен график изменения фактических потерь электроэнергии, в процентах от ее отпуска в сеть, для семи сетевых предприятий [2,3]. Абсолютно лучшие показатели по величине потерь электроэнергии у Брянскэнерго, наихудшие – у Тверьэнерго. При этом положительная динамика по снижению потерь наблюдается у шести ЭСП, отрицательная – трех сетевых предприятий.

Для оценки качества другой главной функции ЭСП по присоединению новых потребителей к электрическим сетям применяется два показателя: показатель уровня качества осуществляемого технологического присоединения и показатель уровня качества обслуживания потребителей услуг.

Показатель уровня качества осуществляемого технологического присоединения к сети является комплексным и включает три составляющих, выраженных в относительных единицах:

- $P_{\text{заяв.тпр}}$ – показатель качества рассмотрения заявок на технологическое присоединение к сети с весовым коэффициентом 0,4;
- $P_{\text{нс\_тпр}}$ – показатель качества исполнения договоров об осуществлении технологического присоединения заявителей к сети с весовым коэффициентом 0,4;
- $P_{\text{нна\_тпр}}$ – показатель соблюдения антимонопольного законодательства при технологическом присоединении заявителей к электрическим сетям сетевой организации с весовым коэффициентом 0,2.

Таким образом, имеем:

$$P_{\text{тпр}} = 0,4 \cdot P_{\text{заяв.тпр}} + 0,4 \cdot P_{\text{нс\_тпр}} + 0,2 \cdot P_{\text{нна\_тпр}} \quad (2)$$

Показатель уровня качества осуществляемого технологического присоединения к сети не может быть менее 1. Наилучшее (эталонное) значение показателя равно 1, при выполнении организацией в полном объеме всех показателей, участвующих в определении показателя качества.

Например, для Липецкэнерго значения показателя $P_{\text{тпр}}$ в 2015 году равно 1,3263, в 2016 – 1,3064, а на 2017 запланировано значение 1,1373. Для Тверьэнерго значение показателя в 2015 году равно 1,4817, в 2016 году – 1,4595, а на 2017 год запланировано – 1,4376 [3]. Показатель $P_{\text{тпр}}$ для данных ЭСП имеет довольно большое значение по сравнению с 1, но все же можно заметить тенденцию на его снижение. Улучшить значение данного показателя можно с использованием организационных и технических мероприятий.

Значение показателя уровня качества обслуживания потребителей услуг определяется по формуле:

$$P_{\text{ТСО}} = 0,1 \cdot I_{\text{Н}} + 0,7 \cdot I_{\text{С}} + 0,2 \cdot P_{\text{С}} \quad (3),$$

где $I_{\text{Н}}$, $I_{\text{С}}$, $P_{\text{С}}$ – индикаторы качества обслуживания потребителей – информативность, исполнительность, обратная связь с соответствующими весовыми коэффициентами.

Для рассматриваемых ЭСП показатель уровня качества обслуживания потребителей является величиной постоянной (1,0102) и представляет собой оценку достижения в расчетном периоде запланированных значений параметров (критериев) качества оказываемых услуг [3]. Например, по результатам работы ПАО «МРСК Центра» в 2016 году лучшие значения этого показателя у Липецкэнерго (0,8905), худшие – у Орелэнерго (0,7682) [4].

Таким образом, в настоящее время для оценки эффективности работы ЭСП по исполнению ими основных функций по передаче и распределению электроэнергии и технологическому присоединению новых потребителей к электрическим сетям применяются различные показатели: простые и комплексные. Применительно к рассмотренным примерам они имеют положительную динамику и оказывают стимулирующее действие на улучшение качества функционирования ЭСП. Вместе с тем, имеется широкое поле деятельности по их совершенствованию и развитию с использованием принципов и методов квалиметрии.

Литература

1. Азгальдов Г.Г. Квалиметрия: первоначальные сведения. Справочное пособие с примером для АНО «Агенства стратегических инициатив по продвижению новых проектов»: Уч. пособие / Г.Г. Азгальдов, А.В. Костин, В.В. Саовов – М.: Высш. шк., 2010. – 143 с.
2. Кавченков В.П., Тихонова А.К. Государственное регулирование и оценка эффективности работы электроэнергетических сетевых предприятий. / Энергетика, информатика, инновации Сб. трудов. - Том 1. – 2016. – С. 46-50.
3. Годовой отчет публичного акционерного общества «Межрегиональная распределительная сетевая компания центра» за 2014 год [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.mrsk-1.ru/upload/documents/GO_2016.pdf
4. Годовой отчет публичного акционерного общества «Межрегиональная распределительная сетевая компания центра» за 2016 год [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ar2014.mrsk-1.ru/ru/>

СЕКЦИЯ 2 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

*Д.И. Баловнев, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

В статье рассматриваются проблемы обеспечения качества электрической энергии в автономных системах электроснабжения. Приведено описание разработанной автором модели исследования показателей качества электрической энергии. Разработаны методы управления качеством электрической энергии на стадии проектирования синхронных генераторов.

Ключевые слова: автономная энергоустановка, качество электрической энергии, математическое моделирование, методы управления, проектирование генераторов.

Автономная энергоустановка состоит из двигателя приводного, генератора синхронного электрического и управляющей системы для возбуждения и частоты. Эти установки генерируют электричество в тех местах, где нет питания электрического или подключение сильно дорогое. При этом качество электрической энергии (электрокачество) в автономных энергоустановках получить сложнее, чем на источниках промышленного электроснабжения. К причинам, ухудшающим электрокачество можно отнести сами автономные энергетические установки, неправильное их нагружение, аварийные и ненормированные режимы.

Управлять электрокачеством автономных энергоустановках можно как с помощью самой установки, так и устройств специальных. При выборе устройств, электрокачество улучшающих, лучше многофункциональные с воздействием на несколько показателей электрокачества одновременно использовать. Надо учитывать, что любые допущения, электрокачество улучшающие, габариты, цену и массу увеличат. К эффективным наиболее мерам, электрокачество улучшающих, следует отнести оптимизацию параметров автономной энергоустановке при её проектном моделировании на стадии создания. Методами исследования электрокачества рациональнее пользоваться математическими моделирующими. После анализа ряда таких математически моделирующих методов, подходящих не нашлось. Поэтому потребовались новые модели компьютерно – математические для расчёта всех показателей электрокачества.

Для исследования таких показателей электрокачества, как установившееся и переходные отклонения напряжения, установившееся и переходные отклонения частоты, небаланс системы напряжений, амплитудная модуляция напряжения, сделана компьютерно – математическая модель. Эта компьютерно – математическая модель позволяет имитировать режимы переходные, симметричные и несимметричные, установившиеся. Модель математическая генератора синхронного электрического состоит системы уравнений дифференциальных мгновенных значений, в матричной форме записанных, напряжений обмоток

якоря и индуктора при заданных начальных условиях. Концепция дифференциальных индуктивностей учитывает воздействие потока магнитного в частях из электротехнической стали на параметры машины.

Нагружающий асинхронный двигатель имитирован параметрической без насыщения моделью, как и возбудитель генератора синхронного бесконтактного с введёнными допущениями преобразователя идеализированного электромеханического. Возбудитель выводными концами обмотки трёхфазной якоря с вращающимися вентилями, соединёнными в мост, питает током роторную обмотку возбуждения генератора синхронного электрического. Мост вращающихся вентилях имитируется так, что переход топологических состояний схемы вызывает изменение коэффициентов схемы, а структура не меняется. Модели созданы компьютерно – математические приводного турбодвигателя газового с регулятором вращения, регулятора возбуждения автоматического компаундирующего действия, нагрузки, изменяемой функционально во времени активно-индуктивной. Компьютерно – математические модели всех частей автономной энергоустановки записаны в естественнофазной системе координат, что позволяет анализировать электрокачество в симметричных и несимметричных режимах работы. Для объединения компьютерно – математических моделей отдельных элементов в единую математическую модель автономной энергоустановки использованы уравнения связи, обобщающие систему.

Модель для компьютера автономной энергоустановки, построена в программе для моделирования систем динамических. Принцип блоков, в данной программе заложенный, позволяет создавать большую модель из отдельных подмоделей устройств автономной энергоустановки. Изменение отдельных подмоделей устройств автономной энергоустановки может производиться без разрушения структуры общей модели автономной энергоустановки, которая определяется связями между отдельными устройствами. Алгоритмы программы моделирования динамических систем позволяют оптимизировать методы решения жестких систем дифференциальных уравнений.

Метод расчета коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения создан, учитывающий геометрию магнитопровода реальную с насыщением и реакцией якоря генератора синхронного. Использует он численный расчёт поля электромагнитного методом конечных элементов.

Фазные токи, в мгновенных значениях записанные, обмоток, углы нагрузки и поворота ротора являются данными исходными, которые рассчитываются с помощью компьютерно - математических моделей автономной энергоустановки, описанных выше.

Адекватность предложенных компьютерно-математических моделей оценена сравнением экспериментального исследования переходных процессов, представленные в [1] с моделированием. Результаты расчета хорошо коррелируются с данными экспериментальными.

Созданные компьютерно-математические модели по оценке электрокачества автономной энергоустановки могут быть применены в процедурах проек-

тирования как автономной энергоустановки, так и генераторов синхронных электрических отдельных.

Методы созданы для управления электрокачеством, их можно использовать на проектом этапе генераторов синхронных электрических. Разработанные методы:

- улучшение отдельных показателей электрокачества без оптимизации параметров схем, замещающих генератор синхронный,
- улучшение отдельных показателей электрокачества путем оптимизации некоторых параметров схем, замещающих генератор синхронный,
- улучшение группы показателей электрокачества путем оптимизации параметров схем, замещающих генератор синхронный,
- проведение синтеза параметрического генератора синхронного по критерию электрокачества.

Выводы:

1. Разработаны математические и компьютерные модели, позволяющих проводить анализ всех показателей электрокачества в различных режимах работы автономной энергоустановки.
2. Определены методы управления электрокачества на стадии проектирования генератора синхронного.

Литература

1. Г. И. Бояринов, Д. И. Баловнев Синхронные генераторы автономных энергоустановок - М.: Изд-во МЭИ, 2004. – с. 72.

В.И. Бобков, к.т.н., доцент

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

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ФОСФОРИТОВЫХ ОКАТЫШЕЙ

В статье рассматриваются актуальные научно-практические проблемы исследования потенциала энергосбережения в сложных тепло-технологических системах. Выявлены особенности энергоэффективности в многостадийной химико-энерготехнологической схеме производства фосфоритовых окатышей.

Ключевые слова: химико-энерготехнологическая система, теплотехнология, фосфоритовые окатыши, энергоэффективность, энергосбережение, рудоподготовка, спекание, обжиг, конвейерная обжиговая машина.

Технология производства окатышей включает ряд последовательно выполняемых операций, которые являются обязательными при использовании различных видов сырых материалов. В общем виде технологическая схема производства окатышей представлена на Рис. 1. Контроль производства и регулирование качества сырых окатышей осуществляют путем изменения режима работы гранулятора, гранулометрического состава и соотношения компонентов исходной шихты и т.п. Входными параметрами процесса окомкования являются: дисперсность исходной шихты, частота вращения и угол наклона тарельчатого гранулятора, расход шихты, массовая доля влаги в шихте. Выходными параметрами являются: влажность сырых окатышей, прочность, химический и гра-

нулометрический состав окатышей. В основу управления процессом окомкования положен опыт работы металлургических предприятий по производству железорудных окатышей. Производство сырых окатышей является важным этапом технологического цикла, но наиболее ответственным, энергоемким и значимым является этап высокотемпературного обжига, который осуществляется на обжиговых машинах конвейерного типа Рис.2. Они предназначены для сушки, подогрева, упрочняющего обжига и охлаждения окатышей. В настоящее время освоено производство обжиговых машин с площадью спекания 108, 306 и 520 м². Технологический процесс обжига осуществляется следующим образом. На подвижную колосниковую решетку (тележку) с целью предохранения ее колосников и бортов от воздействия высоких температур укладывается слой предварительно обожженных и охлажденных окатышей [1]. На этот слой (“постель”) специальным укладчиком подаются сырые окатыши. Высота насыпного слоя сырых окатышей составляет 250-400мм.

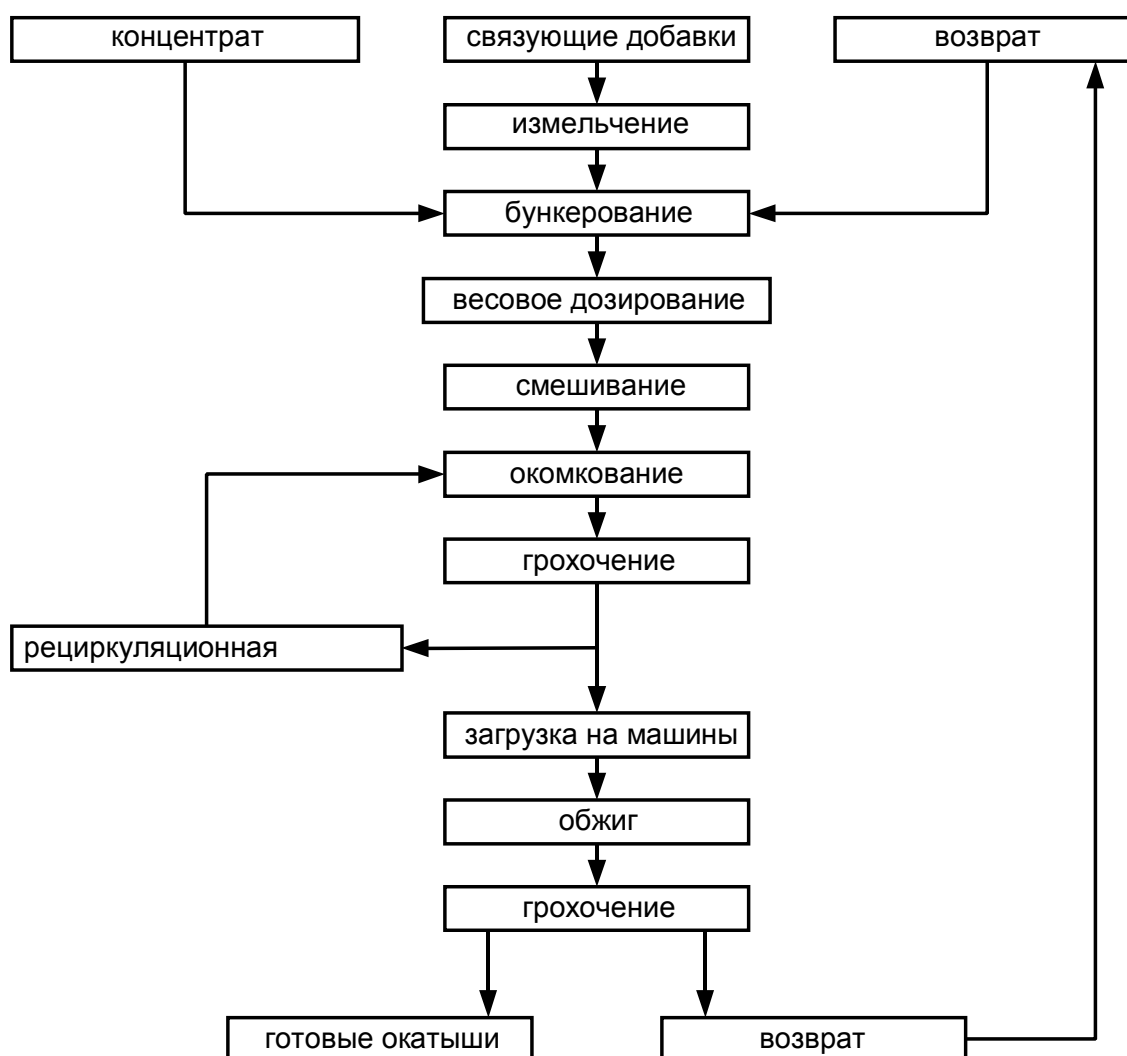


Рис. 1. Схема получения окатышей.

Полученный таким образом слой окатышей проходит под горном машины. Горн представляет собой печной агрегат проходного типа, разделенный на различные технологические зоны. Все технологические зоны связаны общей системой газоходов, оснащенной тягодутьевыми средствами – дымососами и

вентиляторами. Система построена таким образом, что она обеспечивает многократное просасывание дымовых газов через слой либо сверху вниз, либо снизу вверх. Для обеспечения такого направления теплоносителя под движущимися тележками выполнены специальные камеры, в которых либо избыточное давление (дутьевые камеры), либо разрежение (вакуум-камеры). При движении слой материала последовательно проходит несколько технологических зон.

Зона сушки разделена на три подзоны (I, II, III), отличающиеся температурным и газодинамическим режимами. Сушка осуществляется газами, отходящими из зоны подогрева и обжига и частично из подзоны II. Газ-теплоноситель, расход которого $4000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и температура 900°C , поступает из переточного коллектора в подзону II, где разбавляется до требуемой температуры воздухом. Отработанные газы из подзоны I, дымососом ДН-26×2 после очистки в электрофильтре сбрасывается в дымовую трубу или поступают на очистку в опытно-промышленную установку, газы из подзоны II поступают в сборный коллектор [2].

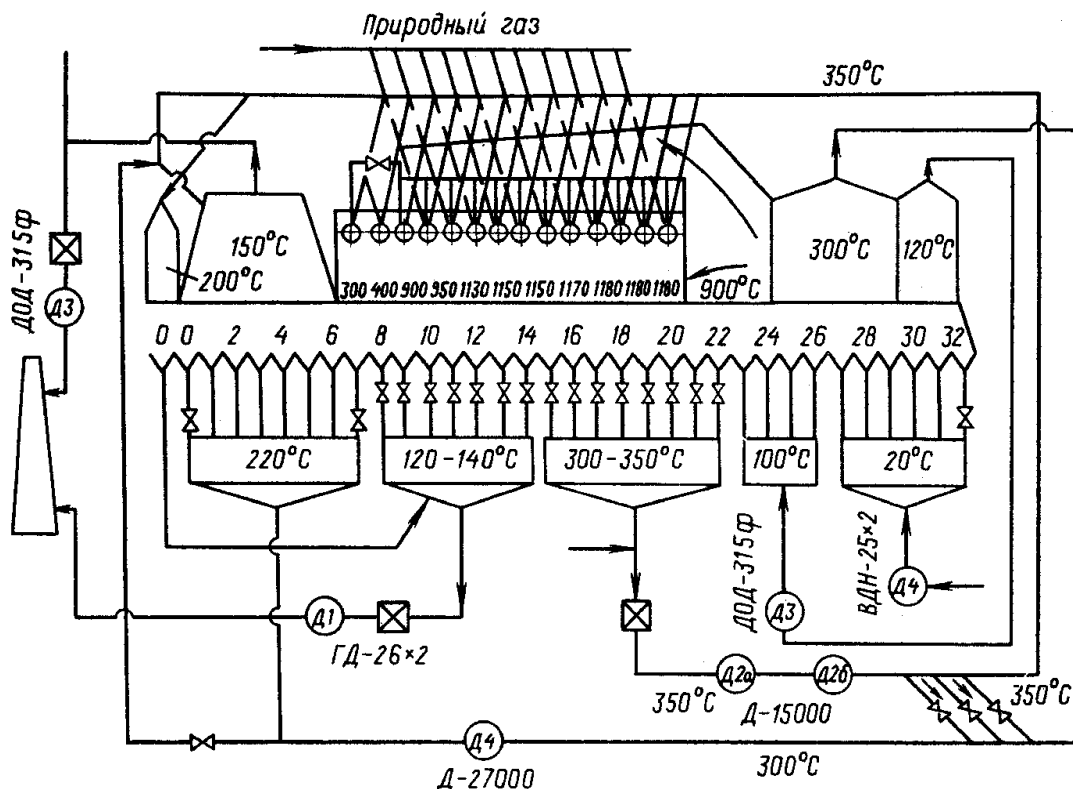


Рис. 2. Схема газовых потоков и распределение температур в обжиговой машине ОК-520/536Ф

В зоне подогрева происходит завершение сушки окатышей нижних горизонтов слоя. Первичный воздух для сжигания газа с температурой 350°C дымососами подается из вакуум-камер зоны рекуперации и последней камеры зоны обжига. Для разбавления продуктов горения до рабочих температур зоны

из коллектора прямого перетока поступает высокотемпературный теплоноситель, расход которого примерно 260 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$. Температура в горне поддерживается на уровне 1100-1200°C, обеспечивая прогрев нижних горизонтов слоя до 1150°C.

Зона рекуперации – неотапливаемая зона с переносом тепла в нижние горизонты слоя. Температура на границе слой–постель повышается до 1180°C. В качестве газа-теплоносителя используется переточный воздух из зоны охлаждения.

В зоне охлаждения применима нереверсивная схема подачи охлаждающего воздуха по всей длине зоны, разделенной на две подзоны. В подзоне I охлаждение осуществляется высокотемпературным теплоносителем, поступающим из зон обжига, подогрева, и рекуперации, при безвентиляторной подаче его посредством коллектора прямого тока, затем температура теплоносителя снижается. Окончательное охлаждение окатышей до температуры 80 - 100°C производится с помощью прососа атмосферного воздуха. Газ, предназначенный для выброса в атмосферу, очищается от пыли в электрофилт্রে, а переточный газ из зоны рекуперации проходит одностадийную очистку в циклонах. Как установлено, соединения фтора, фосфора и серы, содержащиеся в переточных газах, частично адсорбируются слоем постели и сырых окатышей, что позволяет снизить их содержание в потоке газов из-под колпака зоны сушки, выбрасываемых в атмосферу [3].

Работа обжиговой машины характеризуется совокупностью следующих показателей: кондиционным качеством обожженных окатышей, стабильной нагрузкой по сырым окатышам без изменения тепловой нагрузки горнов, постоянством высоты слоя сырых окатышей при незначительных колебаниях скорости движения ленты, постоянством требуемых температур в горнах и газозоодушных камерах, незначительным количеством мелочи при выгрузке обожженного продукта. При несоблюдении этих условий необходима корректировка режима термообработки путем изменения регулируемых параметров – как правило, тепловой и аэродинамический режим [4].

В зависимости от качества термической подготовки фосфоритного сырья затраты энергии в руднотермической печи могут быть различными. При использовании качественно подготовленного сырья, расход электроэнергии и кокса на восстановление фосфора в электропечах снижается на 12% и 40% соответственно.

Исследование выполнено в рамках госзадания №1040170 Методы, модели и информационные технологии комплексного управления рисками при реализации процессов ресурсо- и энергосбережения в сложных теплотехнологических системах.

Литература

1. Бобков В.И. Исследование технологических процессов в обжиговых машинах конвейерного типа // Электрометаллургия. 2015. №12. С.2-9.
2. Бобков В.И. Ресурсосбережение в электротермии при подготовке сырья на обжиговых машинах конвейерного типа // Электрометаллургия. 2015. №7. С.26-34.
3. Бобков В.И. Исследование процессов спекания фосфоритовых окатышей // Химическая промышленность сегодня. 2016. № 8. С. 20-27.

*М.Г. Бобылев, ст. пр.; А.Ю. Демидов, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИССЛЕДОВАНИЕ АСР РАСХОДА РЕГЕНЕРИРУЕМОЙ ВОДЫ К ОСВЕТИТЕЛЮ

В статье рассматривается автоматическая система регулирования подачи регенерируемой воды в осветлитель и её поддержание на заданном уровне. Приведено описание разработанных функциональной схемы регулирования расхода и модели объекта регулирования. Представлен график переходного процесса изменения расхода регенерируемой воды.

Ключевые слова: автоматическая система регулирования, осветлитель, регулятор расхода, переходной процесс.

АСР расхода воды контролирует заданное отношение между регенерируемой водой, поступающей в осветлитель после промывки механических фильтров к количеству сырой воды, идущей на химводоподготовку. [1]

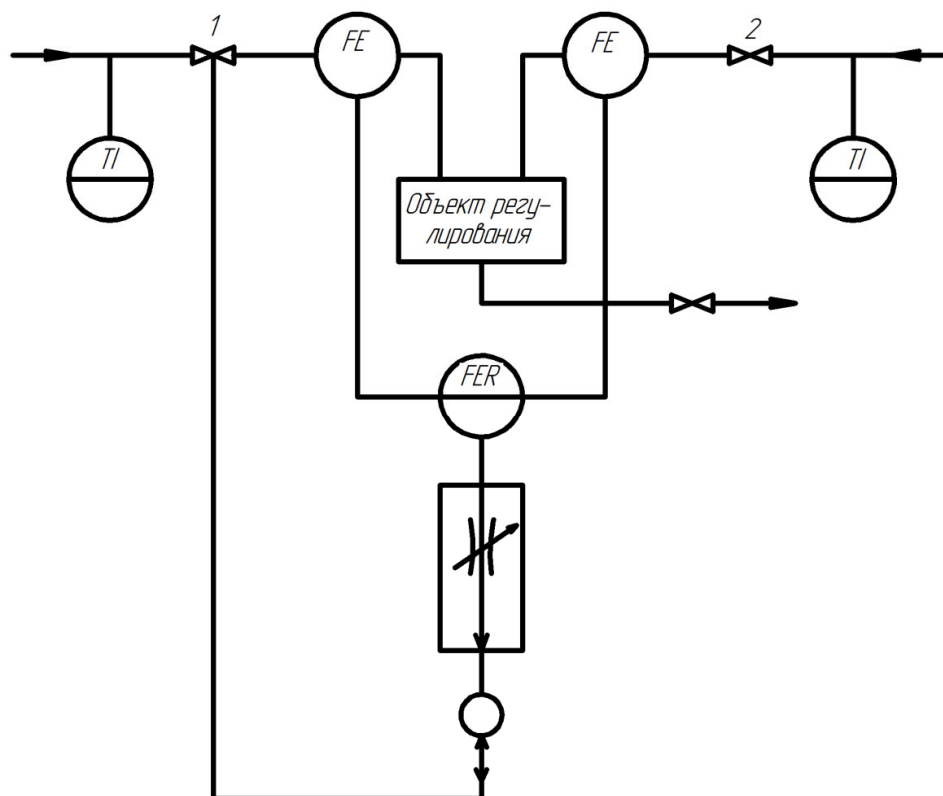


Рис. 1 – Функциональная схема регулирования расхода регенерируемой воды к осветлителю

В приведенной схеме (рис. 1) объект регулирования – осветлитель, предназначенный для предварительной обработки сырой воды химическим методом осаждения солей в виде шлама. Помимо сырой воды, через клапан 1 на подготовку поступает вода после отмывки механических фильтров. Обычно, фильтры отмываются осветленной водой, в которую в процессе промывки попадают различные взвешенные частицы, которые способствуют ускорению появления

шлама в самом объекте регулирования. Чтобы не нарушался процесс шламообразования, расход воды после промывки обязан составлять 10—12% от объема сырой воды, направляющейся на подготовку через клапан 2. Расходы воды фиксируются измерительными преобразователями расхода [2]. Далее эти расходы сравниваются и на основании полученных соотношений, регулятор подачи регенерируемой воды в осветлитель контролирует заданное отношение, регулируя через исполнительный механизм расход воды, поступающей обратно с промывки фильтров.

В системе регулирования применяется исполнительный механизм МЭ-ОБ-63/25-25. В результате идентификации получили передаточную функцию линейной части исполнительного механизма, равную: $W(p) = \frac{63}{25p}$.

Для создания модели объекта регулирования (рис. 2) и построения переходного процесса использовалось приложение Simulink пакета MATLAB.

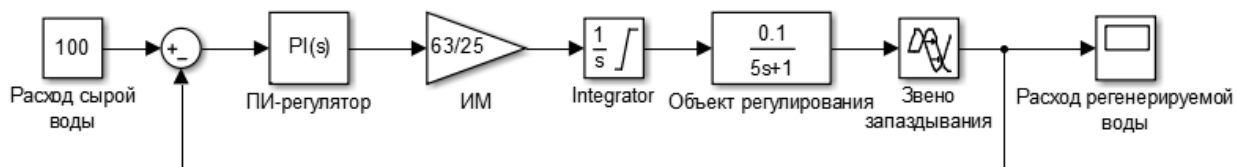


Рис. 2 – Модель объекта регулирования

АСР расхода представляет собой одноконтурную систему регулирования. Для обеспечения постоянства расхода регенерируемой воды применяется ПИ-регулятор. Объект регулирования представлен в виде последовательного соединения апериодического звена первого порядка и звена запаздывания. Для получения передаточной функции объекта регулирования была проведена идентификация по заданной временной переходной характеристике (кривой разгона объекта). В результате передаточная функция такого объекта имеет вид: $W_o(p) = \frac{0.1}{5p+1} \cdot e^{-\tau p}$. Вся система регулирования охвачена жесткой единичной обратной связью. [3]

При моделировании работы осветлителя был задан начальный расход сырой воды 100 т/ч. На выходе получили переходной процесс изменения расхода регенерируемой воды (рис. 3). На графике по оси абсцисс отложено время в секундах, по оси ординат – расход регенерируемой воды (т/час).

Из графика переходного процесса видно, что система с течением времени переходит в новое установившееся состояние, которое равно расходу регенерируемой воды 10 т/час, что соответствует изначально заданному соотношению расходов. В результате моделирования получили переходной процесс со временем регулирования менее 30 с, что является хорошим показателем при изначально заданном 100 т/час расходе сырой воды.

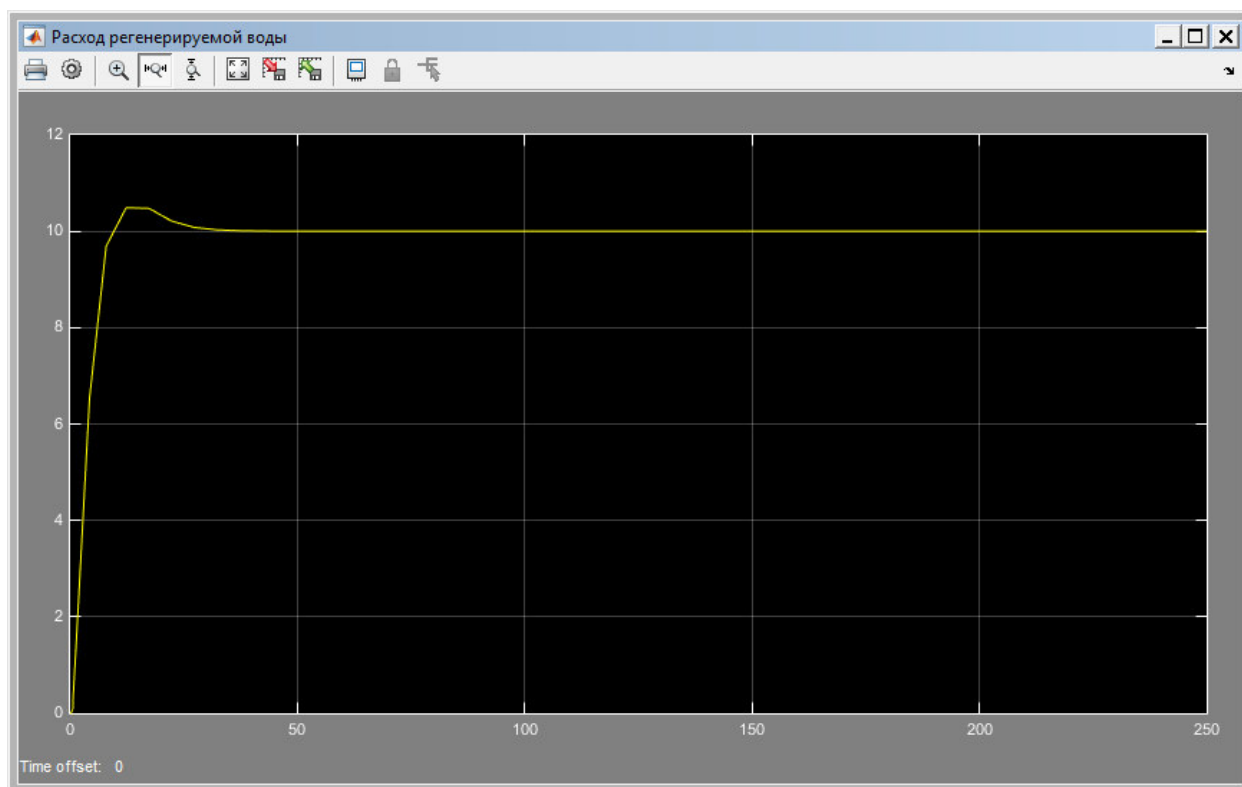


Рис. 3 – Изменение расхода регенерируемой воды

Результатом добавления воды после промывки механических фильтров является не только достижение заданного качества воды, но так же экономия реагентов и продление срока службы осветлителя. При этом необходимо поддерживать определенное соотношение между расходом регенерируемой воды и сырой, которое обеспечивает менее нагруженную работу осветлителя, что можно реализовать с помощью представленной в этой работе АСР расхода регенерируемой воды.

Литература

1. Липатников Г.А., Гузеев М.С. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики: Учебное пособие / ДВПИ им. Куйбышева, Владивосток, 2007.
2. ГОСТ 21.208-2013. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах.
3. [Электронный ресурс]. – URL: <http://matlab.exponenta.ru/simulink/book3/10.php>

А.Ф. Богатырев, д.т.н., проф.,¹ В.Р. Белалов, к.т.н.,¹

М.А. Кучеренко, к.т.н.,¹ О.А. Макеенкова, к.т.н.²

(¹ филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, ² СмолГУ)

КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЯЗКОСТИ, ДИФФУЗИИ И ТЕРМОДИФФУЗИОННАЯ ПОСТОЯННАЯ В СМЕСИ РАЗРЕЖЕННЫХ ГАЗОВ H_2-N_2

По ранее предложенной методике нахождения произведения квадрата эффективного диаметра молекул и соответствующего интеграла столкновения вычислены значения коэффициентов вязкости диффузии и термодиффузионной постоянной в смеси разреженных газов H_2-N_2 . Полученные данные сравнены с вычисленными другими методами. Наблюдается согласие в пределах погрешности вычислений.

Ключевые слова: вязкость, диффузия, термодиффузионная постоянная, потенциал Леннарда-Джонса, газовая система H_2-N_2

В настоящее время справочная литература содержит в основном данные о транспортных свойствах чистых газов, на практике несомненный интерес представляют смеси газов. В частности транспортные свойства системы H_2-N_2 используются в микроэлектронике, процессах горения, транспорте газовых смесей в твердо-окисных электрохимических элементах.

Строгая кинетическая теория [1] разреженных газов неплохо описывает вязкость чистых газов в рамках парных столкновений с применением потенциалов межмолекулярных взаимодействий. В частности, использование двухпараметрического потенциала Леннарда-Джонса (Л-Д) позволяет описать коэффициент вязкости не только одноатомных газов, но даже для многоатомных и полярных газов в пределах погрешности эксперимента. Большинство измерений вязкости даже чистых газов проведено при комнатной температуре, и только отдельные измерения выполнены в интервале температур 200 - 500K, еще меньше экспериментов для смесей газов. При этом погрешности при измерении коэффициента вязкости чистых газов в основном находится в интервале 0,2 - 1,5%. Расчет параметров потенциала производится методом регрессии. По найденным параметрам потенциала и интегралам столкновений в рамках кинетической теории можно получить температурную зависимость вязкости чистых газов.

Несколько по-иному по кинетической теории вычисляется вязкость смесей. Здесь наряду с параметрами потенциала для чистых газов необходимо вычислить комбинированные параметры потенциала взаимодействия между разнородными молекулами в газовой смеси. Обычно прибегают к неоднозначно обоснованным комбинационным правилам [1].

В работе [2] нами предложена формула для вычисления произведения квадрата эффективного диаметра на приведенный интеграл столкновений разнородных молекул, которая выглядит следующим образом:

$$\sigma_{ij}^2 \Omega_{ij}^{(22)*} = \frac{2\sigma_i^2 \Omega_i^{(22)*} \cdot \sigma_j^2 \Omega_j^{(22)*}}{\sigma_i^2 \Omega_i^{(22)*} + \sigma_j^2 \Omega_j^{(22)*}}, \quad (1)$$

где $\sigma_i^2 \Omega_i^{(22)*}$ и $\sigma_j^2 \Omega_j^{(22)*}$ найдены из вязкости чистых газов по следующей формуле:

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

где M_i – молекулярный вес i -го компонента,

T – температура;

$\Omega_i^{(22)*}$ – приведенный интеграл столкновений при приведенной температуре $T^* = kT/\epsilon_i$;

σ_i и ϵ_i/k – параметры потенциальной функции, характеризующие взаимодействие молекул газа;

$[\eta_i]_1$ – первое приближение коэффициента вязкости при температуре T .

Согласно кинетической теории, k -ое приближение для коэффициента вязкости запишется в виде:

$$[\eta_i]_k = [\eta_i]_1 \cdot f_{\eta}^{(k)},$$

где $f_{\eta}^{(1)} = 1$, а коэффициент $f_{\eta}^{(k)}$ для других очень мало отличается от единицы, на сотые и тысячные доли процента.

Значение $\sigma_{ij}^2 \Omega_{ij}^{(22)*}$, вычисленное по формуле (1), отличается от найденного по комбинационным правилам [1].

Вычислив $\sigma_{ij}^2 \Omega_{ij}^{(22)*}$ при различных температурах, методом регрессии находим ε_{ij}/k .

Данный параметр необходим для нахождений функций приведенных интегралов A_{ij}^* , B_{ij}^* , C_{ij}^* для потенциала (Л-Д) по таблицам, приведенным в монографии [1].

Температурная зависимость коэффициентов вязкости газов H_2 и N_2 приведена в работе [3], а также приводится в работах иранских и американских исследователей. Данные по вязкости этих газов немного отличаются от работы [3], в пределах 1%.

Нами были использованы значения коэффициента вязкости чистого газа из работы [3]. По формуле (1) были вычислены значения $\sigma_{ij}^2 \Omega_{ij}^{(22)*}$ и подставлены в формулы для вязкости газовой смеси, приведенные в монографии [1].

Результаты вычислений коэффициентов вязкости, диффузии и термодиффузионной постоянной приведены на рисунках 1 – 3.

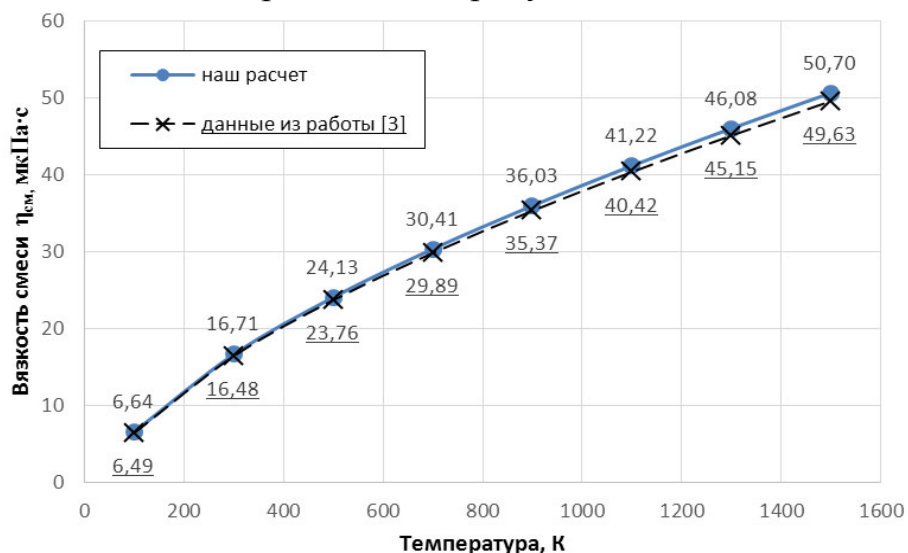


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента вязкости эквимольной смеси газов H_2 - N_2 от температуры. Численные данные приведены при нескольких температурах.

Здесь же приведены значения рассчитанных нами величин и данные, полученные в работе [3] с использованием трехпараметрического потенциала отдельно для чистых газов и смесей.

Как видно из рисунков 1, 2, отклонения результатов наших расчетов от данных работы [3] по коэффициентам вязкости и диффузии лежат в пределах 1 – 3%, что, в целом, не превышает погрешности расчетов.

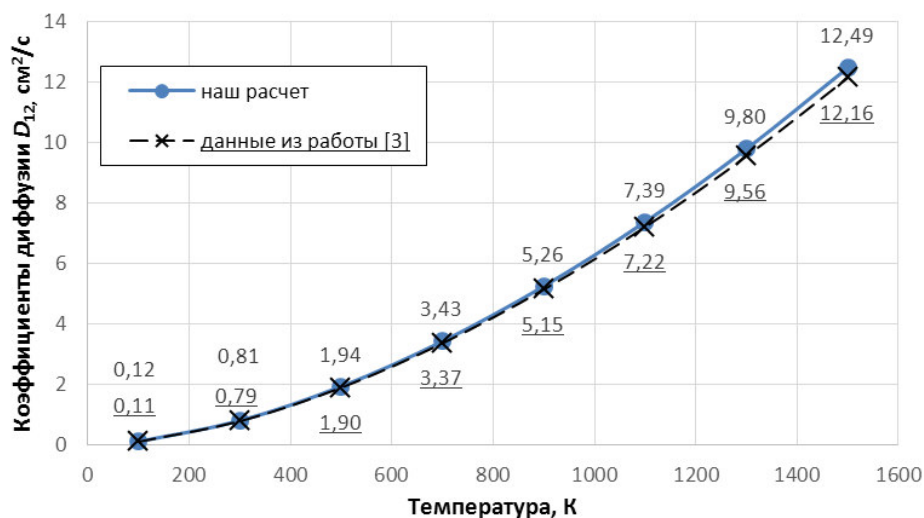


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента диффузии эквимоллярной смеси газов $\text{H}_2\text{-N}_2$ от температуры. Численные данные приведены при нескольких температурах.

Значения термодиффузионной постоянной α_T плохо согласуются между собой при низких температурах, что на наш взгляд объясняется тем, что газы при этих температурах обладают реальными свойствами [4].

В целом, проделанная нами работа по вычислению транспортных свойств [2] может быть использована и для других смесей разреженных газов. При этом наш метод позволяет получить данные, аналогичные полученным другими методами, при меньшей затрате вычислительных работ.

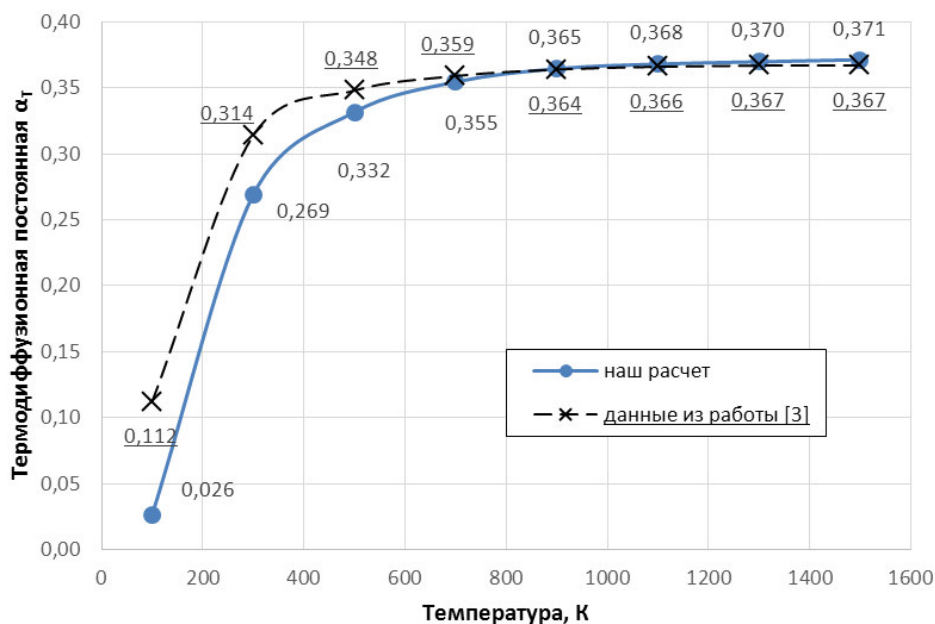


Рисунок 3 – Зависимость термодиффузионной постоянной эквимоллярной смеси газов $\text{H}_2\text{-N}_2$ от температуры. Численные данные приведены при нескольких температурах.

Литература

1. Гиршфельдер Д., Кертис Ч., Берд Р. Молекулярная теория газов и жидкостей. М.: ИИЛ, 1961. 929 с.
2. Bogatyrev A.F., Makeenkova O.A., Belalov V.R., Kucherenko M.A. Calculation of viscosity and diffusion coefficients in binary mixtures of dilute gases // Advanced Studies in Theoretical Physics, 2017. Vol. 11. No. 6. 283-296.
3. Фокин Л.Р., Калашников А.Н. Транспортные свойства смеси разреженных газов $\text{N}_2\text{-H}_2$ в базе данных ЭПИДИФ // Теплофизика высоких температур. 2009. Т. 47. № 5. С. 675-687.

*Д.С. Бурдаков, бакалавр; К.В. Щепетев, бакалавр; А.М. Фокин, ст. преп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ САР ТЕМПЕРАТУРЫ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

В статье рассматривается возможность применения узла автоматического регулирования в общественных зданиях для энергосбережения на тепловых вводах потребителей тепла.

Ключевые слова: энергосбережение, автоматизированное управление, узел управления, циркуляционный насос.

Одним из наиболее эффективных способов энергосбережения в коммунальной энергетике является установка узла автоматизированного управления на вводах у потребителей. Узлы управления строятся на малогабаритных насосах с применением регулирующих клапанов. Основой узла является электронный регулятор, который осуществляет постоянный контроль температурных параметров теплоносителя и наружного воздуха и управляет работой регулирующего клапана и циркуляционного насоса.

При недостатке тепловой мощности в тепловых сетях узел регулирования обеспечивает экономию теплоты за счёт понижения температуры теплоносителя в заданные периоды времени (нерабочее время, выходные и праздничные дни). Известно, что понижение расхода теплоносителя в два раза в течение двенадцати часов приводит к уменьшению температуры воздуха в отапливаемых помещениях на 1-2°C, в течение двух суток – на 2-3°C. Экономия тепла при этом составит до 30%. Восстановление первоначальной температуры в помещении при увеличении расхода теплоносителя обеспечивается через 4-6 часов.

В январе 2014 года система автоматического регулирования температуры была установлена на одном из тепловых пунктов города Смоленска. При этом по требованию заказчика работу регулятора ограничили программным снижением температуры в нерабочее время (выходные дни и праздники).

С первых дней работы регулятор показал свою эффективность.

По показаниям теплосчётчика было рассчитано среднесуточное теплопотребление (Гкал) в зависимости от температуры наружного воздуха за предыдущие четыре отопительных сезона.

Таблица 1 – Среднесуточное теплopotребление зданием по месяцам

	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель
2010	5,64	6,61	8,24	6,14	7,24	6,66	5,70
2011	6,45	5,59	7,57	7,15	6,20	5,51	4,75
2012		5,65	6,55	7,12	7,15	6,20	4,91
2013	4,63	4,93	4,82	9,10	7,25	5,97	3,38
2014				4,58	6,28	4,36	3,06

Графически эти данные представлены на рисунке 1.

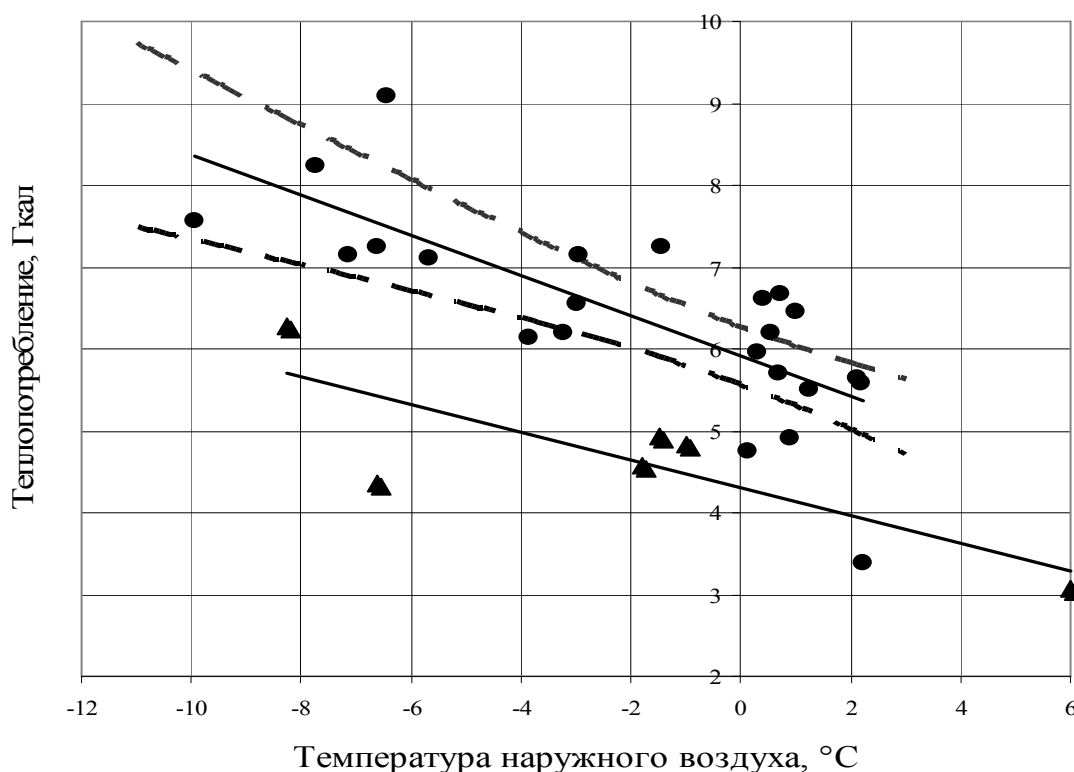


Рисунок 1 – Среднесуточное теплopotребление зданием по месяцам

Для двух массивов данных (без регулятора и с ним) были построены линии регрессии и границы доверительных интервалов для линии регрессии исходной системы теплоснабжения с 95 % вероятностью.

Таким образом, простейший анализ работы системы даёт подтверждение реального энергосбережения при установке автоматических регуляторов на тепловых вводах потребителей тепла порядка 25 %.

Большой эффект, по оценкам экспертов, будет при повышении качества теплозащиты здания. Но затраты при этом и, соответственно, сроки окупаемости, будут на порядок выше.

Литература

1. Г. П. Плетнев . – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : Изд-во МЭИ, 2005 . – 352 с. - ISBN 5-7046-1013-7 .
2. Михайленко И.М. Оптимальное управление системами централизованного теплоснабжения. СПб.: Стройиздат, СПб, 2003. - 240 е.: ил.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

В статье рассматриваются вопросы о способах экономии топливно-энергетических ресурсов на промышленных предприятиях, в частности оптимального распределения и использования вторичных энергоресурсов посредством регенерации (замыкания потоков внутри схемы). Предложены и рассчитаны схемные решения по модернизации теплотехнологической схемы предприятия приборостроения.

Ключевые слова: энергетические ресурсы, энергосбережение, энергоэффективность, регенерация, коэффициент полезного использования.

Проблема энергоресурсосбережения в настоящее время является одной из наиболее актуальных для всего народного хозяйства России. По данным научных исследований потенциал энергосбережения составляет более 35% потребления энергетических ресурсов в стране [1]. Решать данную проблему необходимо в кратчайшие сроки, т.к. неэффективное использование энергетических ресурсов является естественным ограничителем темпов экономического роста. Концепция энергетической политики России направлена на снижение неоправданно высокого потребления топливных и энергетических ресурсов и на обеспечение экологической безопасности их использования.

Стратегия энергосбережения представляет собой многоуровневую систему [2]. Наиболее предпочтительным подходом является внедрение совершенных безотходных технологий, требующих наибольших, по сравнению с другими способами, капитальных вложений, что в сложившейся экономической ситуации под силу далеко не каждому промышленному предприятию. Менее затратный способ повышения эффективности энергоиспользования – оптимизация технологических процессов и систем на стадии разработки. Максимальный эффект при минимальных затратах может быть достигнут путем модернизации существующих технологических схем путем внутренней регенерации и оптимизации схем регенеративных потоков.

В сфере промышленного производства одно из ведущих мест занимают теплотехнологические процессы, реализуемые на основе нагрева, плавления, кипения, охлаждения твердых, жидких или газообразных технологических материалов, например, при производстве стали, стекла, продуктов нефтехимии и машиностроения. Для анализа теплотехнологической системы был рассмотрен корпус предприятия приборостроения, в котором расположены цеха механической обработки материалов, участок гальванических покрытий металлов, заготовительный участок, кладовые и хранилища инструментов и готовой продукции. Основными видами потребляемых энергетических ресурсов являются электрическая энергия, необходимая для привода силового оборудования и для работы системы освещения, производственный пар, используемый на технологические нужды предприятия, для работы сушильных установок и пароводяных подогревателей и сетевая вода для отопления корпуса. С точки зрения энерго-

сбережения наибольший интерес представляет система пароснабжения и воздушного отопления данного корпуса предприятия.

Используя исходные данные, был проведен расчет первоначальной схемы, представленной на рисунке 1. В результате расчета были определены неизвестные параметры (расход, температура и количество теплоты) каждого потока схемы, а также исходный суммарный расход пара, который составляет 0,532 кг/с (поток 1).

Рисунок 1 - Эквивалентная схема №1 приборостроительного предприятия

Узлы графа отображают отдельные элементы схемы: I – делитель потоков; II – смеситель потоков; III – паровой калорифер («пар – воздух»); IV – теплообменный аппарат «пар – воздух»; V – сушильная установка (камера); VI – промывочная (гальваническая) ванна; VII – водяной калорифер («вода - воздух»). Материальные потоки: 1-7 – технологический пар; 8, 11, 17, 27 - холодный воздух; 9, 28 – воздух на отопление; 10, 13, 19, 23, 26, 29, 30 – конденсат; 12, 18 – горячий воздух; 14, 20 – влажный материал; 15, 21 – сухой материал; 16, 22 – влажный воздух; 24 – холодная вода; 25 – горячая вода;

На первом этапе был рассмотрен вариант утилизации теплоты потока воздуха на выходе из сушильных установок за счет предварительного подогрева холодного воздуха, поступающего в паровоздушные теплообменные аппараты IV сушильных установок V. Сравнительный анализ расчета эквивалентных схем

№1 и №2 показал, что установка воздушно-воздушного теплообменного аппарата позволяет уменьшить суммарный расход технологического пара на 10,7%.

Для улучшения характеристик теплотехнологической схемы промышленного предприятия, целесообразно найти применение теплоты сбросного конденсата, подаваемого в обратную линию системы водяного отопления (поток №30). Для этого был установлен калорифер типа «вода-воздух» для системы воздушного отопления здания. Введение дополнительного калорифера привело к снижению температуры сбросного конденсата в 1,83 раза, а количество нагреваемого воздуха позволяет вывести из работы один из двух паро-воздушных калориферов III, тем самым уменьшая суммарное потребление пара до $0,453 \text{ кг/с}$.

Дальнейшее совершенствование схемы проводилось при применении частичной рециркуляции воздуха в сушильных установках.

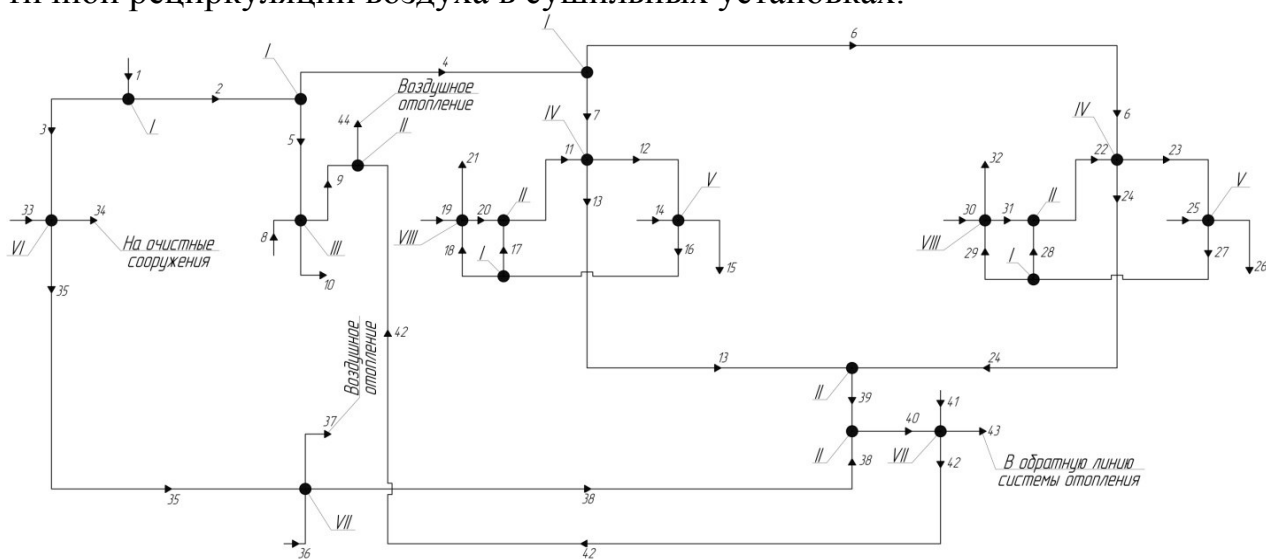


Рисунок 2 - Эквивалентная схема №4 приборостроительного предприятия

Узлы графа: I – делитель потоков; II – смеситель потоков; III – паровой калорифер («пар – воздух»); IV – теплообменный аппарат «пар – воздух»; V – сушильная установка (камера); VI – промывочная (гальваническая) ванна; VII – водяной калорифер («вода - воздух»); VIII – теплообменный аппарат «воздух – воздух». Материальные потоки: 1-7 – технологический пар; 8, 19, 30, 36, 41 – холодный воздух; 9, 37, 42, 44 – воздух на отопление; 10, 13, 24, 35, 38, 39, 40, 43 – конденсат; 11, 20, 22, 31 – подогретый воздух; 12, 23 - горячий воздух; 14, 25 – влажный материал; 15, 26 – сухой материал; 16-18, 21, 27-29, 32 – влажный воздух; 33 – холодная вода; 34 – горячая вода;

Подмешивание воздуха позволило сократить расход технологического пара с $0,532 \text{ кг/с}$ до $0,448 \text{ кг/с}$, т.е. на 15,8% по сравнению со схемой №1. Помимо этого, в 1,4 раза уменьшилось количество первичного холодного воздуха, подаваемого в сушильную установку, что приводит к уменьшению затрат на привод тягодутьевых вентиляторов.

Далее при помощи коэффициента полезного использования (КПИ) тепловой энергии была определена энергетическая эффективность представленных схем. КПИ находится по формуле:

$$\eta_{\text{кпи}} = \frac{\sum_{j=1}^n Q_{\text{пол}j}}{\sum_{j=1}^n Q_{\text{подв}j}},$$

где $Q_{\text{пол}j}$, $Q_{\text{подв}j}$ - соответственно количество энергоносителя, полезно использованного в j-й установке и подведенного к этой установке;

n - число установок на участке, использующих данный теплоноситель.

Результаты расчеты по всем четырем схемам представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета показателя энергетической эффективности

№ схемы	Схема №1	Схема №2	Схема №3	Схема №4
$\eta_{\text{кпи}}$, %	23,04	23,21	23,43	26,63

где $\eta_{\text{кпи}}$ - коэффициент полезного использования тепла, %

Как видно из таблицы, с точки зрения энергоиспользования наиболее совершенной является схема №4, которая имеет коэффициент использования тепла равный 26,63%, что на 3,59% больше, по сравнению с первоначальной схемой №1.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что при помощи использования регенерации потоков внутри теплотехнологической схемы и ее оптимизации можно добиться значительного снижения потребления энергетических ресурсов, тем самым повысить конкурентоспособность производства и улучшить экологическую ситуацию в стране.

Литература

1. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Технология энергосбережения: учебник. – М.: Форум, 2013. – 352 с.
2. Аванесов В.М. Представление структуры производственных предприятий для оценки эффективности использования энергоресурсов // Энергосбережение. – 2008. - № 1. – С. 33 – 35.

В.А. Галковский, к.т.н., доц. и В.А. Зеленский, ст. гр. ЭО-17 (маг.)
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ МАЛОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА

В статье рассматриваются три различных варианта системы отопления для теплоснабжения двухэтажного коттеджа с неотапливаемыми подвалом и чердаком; произведено их сравнение по различным критериям; сделаны выводы о выборе отопительной системы.

Ключевые слова: системы отопления, изометрическая схема, тепловые потери, отопление, сравнительный анализ.

Состояние воздушной среды и микроклимата в помещениях в течение холодного времени года определяется отоплением, вентиляцией, характеристиками строительных конструкций, режимом работы здания и рядом других факторов [1].

Объект рассмотрения – двухэтажный жилой дом. Добиться снижения теплотребования такого здания, прежде всего, можно благодаря использованию современных изоляционных материалов и грамотному выбору системы отопления.

Проектирование системы отопления начинается с определения тепловых потерь по подробной методике. В зависимости от них выбирается количество секций отопительного прибора.

Разработка различных вариантов системы отопления позволяет оценить материалоемкость, особенности эксплуатации и в конечном итоге остановится на одной варианте.

С чего собственно начинается проектирование системы отопления? С изучения самого здания: его назначения, географического расположения, поэтажного плана и характеристик материалов.

В данной статье произведено сравнение следующих вариантов системы отопления: однотрубная вертикальная с естественной циркуляцией и верхней разводкой, двухтрубная вертикальная с принудительной циркуляцией и нижней разводкой, однотрубная горизонтальная система с принудительной циркуляцией.

Сравнение систем отопления произведено на примере жилого двухэтажного дома из пеноблока, облицованного белым силикатным кирпичом, с неотапливаемыми подвалом и чердаком. Расчет системы отопления опирается на расчет тепловых потерь здания.

Тепловые потери включают в себя, прежде всего, потери через наружные ограждения, потери с инфильтрацией и вентиляцией воздуха. Расчет проводится для максимально-зимнего режима по подробной методике, для каждого отапливаемого помещения.

Суммарные потери с 237 м^2 здания составили $15,7 \text{ кВт}$.

Системы отопления жилых зданий предназначены для искусственного обогрева помещений и зданий с возмещением теплотерь, для поддержания в них температуры на заданном уровне, определенном условиями теплового комфорта находящихся там людей [3].

Система водяного отопления представляет собой разветвленную закольцованную сеть труб и приборов, заполненных водой. В течение всего отопительного сезона вода непрерывно движется по теплопроводам. Нагреваясь у источника, она распределяется по приборам, а затем, охлаждаясь, собирается воедино и вновь направляется к источнику – котлу или теплообменнику. Теплопроводы предназначены для транспортировки и передачи необходимого количества тепловой энергии в каждое обогреваемое помещение здания.

Чаще всего в жилых зданиях большая часть тепловой энергии в помещение передается от обогревательных приборов. Так же рекомендуется учитывать теплоотдачу от самих теплопроводов.

Проектирование системы отопления включает аксонометрическую схему, гидравлический расчет, расчет тепловой мощности системы отопления и расчет отопительных приборов.

Принят температурный график 95/70 °С. Радиатор чугунный. Повышающий коэффициент согласно нормам 1,07.

Первая рассмотренная система - однотрубная вертикальная с естественной циркуляцией представлена на рисунке 1. Системы с естественной циркуляцией воды просты и относительно надёжны, но не всегда имеют высокую эффективность.

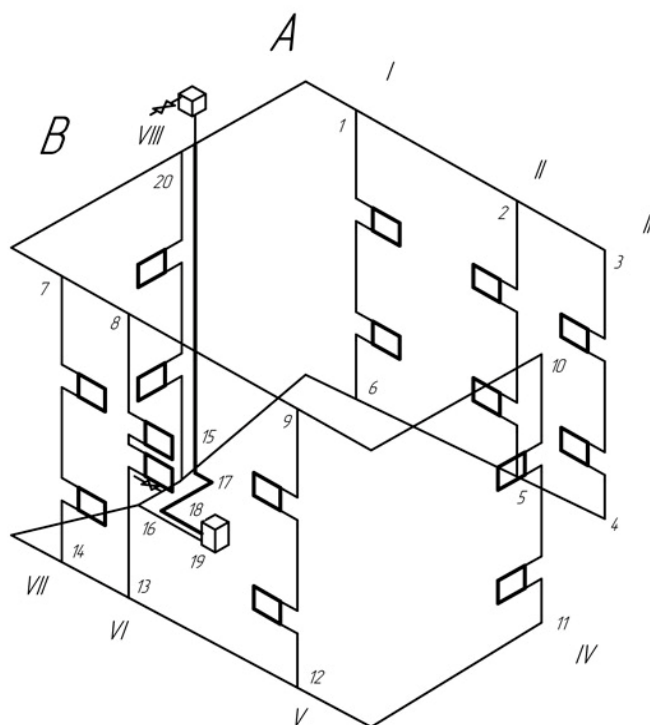


Рис. 1. Система с естественной циркуляцией

Гидравлический расчет и расчет отопительных приборов следует вести параллельно, т.к. они тесно взаимосвязаны. Так, например, каждая дополнительная секция отопительного прибора является дополнительным местным сопротивлением, теплоотдача теплопроводов зависит от их наружного диаметра и так далее. Поэтому расчеты удобно выполнять с использованием ЭВМ.

В конце расчета необходимо проверить выполнение условия - не превышает ли сумма гидравлических сопротивлений естественное давление, возникающее вследствие разности плотностей.

Выполнены расчеты двухтрубной и горизонтальной систем с принудительной циркуляцией воды, установлен насос. Система становится электрозависимой.

Для двухтрубной особенность, представленной на рисунке 2 - независимость отопительных приборов, возможность местного количественного регулирования, вплоть до полного отключения отдельных приборов.

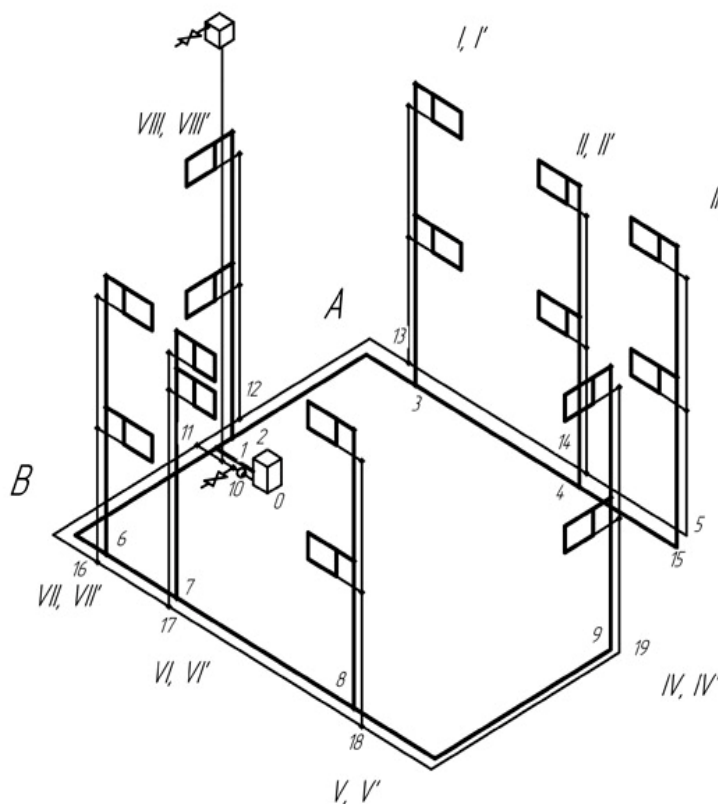


Рис. 2. Двухтрубная система

Для горизонтальной однотрубной особенность - наибольшее число последовательно соединенных приборов является недостатком. Горизонтальная система изображена на рисунке 3.

У каждой из отопительных систем есть свои достоинства и недостатки.

К достоинствам системы с естественной циркуляцией относится простота устройства такой системы. Также такая система не зависит от электроэнергии. Недостаток: повышенная опасность замерзания воды в неотапливаемых помещениях, замедленное включение.

Достоинства двухтрубной системы - независимость приборов, возможность местного количественного регулирования на каждом приборе, лучшая ремонтпригодность ввиду того, что приборы независимы и могут быть отключены.

Однотрубная с естественной циркуляцией и двухтрубная с вынужденной системы имеют взаимоисключающие достоинства и недостатки.

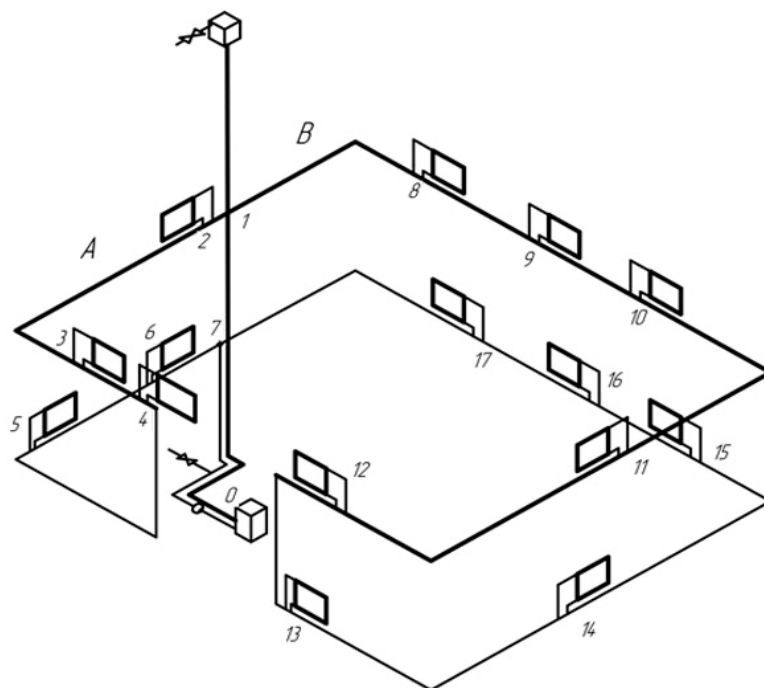


Рис. 3. Горизонтальная система

Главным достоинством горизонтальной системы являются наименьшие капитальные затраты. Однако такие системы, при выполнении теплопроводов из металла, занимают большие площади внутри помещений, что не практично и не эстетично. Современные полимерные отопительные системы позволяют избежать этой проблемы. Приборы соединяются по независимой схеме, теплопроводы "прячутся" в стяжку пола, используется лучевая разводка.

Гидравлические потери считаются по самому протяженному отопительному кольцу каждой схемы.

Для первой схемы условные диаметры труб: 32 мм на чердаке и в подвале, 20 мм в жилых помещениях. Давление: $\Delta p_e \geq \Delta p_c$, $1427,772 \geq 638,823$ Па.

Для второй условные диаметры труб: 20 и 32 мм в подвале, 15 мм в жилых помещениях. Давление: $\Delta p_e + \Delta p_n \geq \Delta p_c$, $\Delta p_e = 1051,217$ Па, $\Delta p_c = 1787,732$ Па, $\Delta p_n = 883,818$ Па.

Для третьей схемы условные диаметры труб: 15 мм - кольцо А, 20 мм – кольцо В, 25 мм – общие участки. Давление: $\Delta p_e + \Delta p_n \geq \Delta p_c$, $\Delta p_e = 1051,217$ Па, $\Delta p_c = 5971,956$ Па, $\Delta p_n = 5904,881$ Па.

Энергоэффективность здания во многом зависит от качества и свойств материалов конструкций, а также способа изоляции. Эти факторы уменьшают тепловые потери через ограждающие конструкции. Режим течения воздуха тоже оказывает сильное воздействие; унос теплоты с воздухом при инфильтрации и вентиляции помещений необходимо компенсировать.

Капитальные затраты для всех трех рассмотренных отопительных систем достаточно близки как видно из таблицы 1. Следовательно, капиталозатраты не являются решающим фактором выбора системы для данного здания.

Таблица 1 - Сравнение капитальных затрат

Система	Дн, мм		Факт. кол-во труб	Стои- мость труб, руб	Итого, руб	Кол-в о сек- сек- ций	Стои- мость секций, руб	Итого (вкл. насос), руб
Естеств.	26	76,25	77	4752,44	12796,5 5	110	75460	88256,5 5
	42	80,24	80,24	8044,11				
Двух- труб.	20	107,7 1	108	5677,56	10148,3 2	108	74088	87836,3 2
	26	65,26	66	4073,52				
	42	3,7	4	397,24				
Гориз.	26	21,22	22	1357,84	7324,84	104	71344	82268,8 4
	32	56,62	57	4477,35				
	42	14,6	15	1489,65				

Что касается эксплуатационных затрат: для схем 2 и 3 необходимо обеспечить электроснабжение насоса. В обоих случаях достаточно 72 Вт потребляемой мощности. Для Смоленска отопительный сезон составляет 209 дней, в зависимости от тарифа затраты на электроэнергию в 2017 году составят от 800 до 1300 рублей в год.

В данном примере предпочтение следует отдать однотрубной системе с естественной циркуляцией, так как она является электронеависимой. Однако так же стоит включить в схему аварийный насос, который включится в случае поломки котла. Это позволит дольше не замерзнуть теплоносителю в системе.

Литература

1. Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление: учеб. для вузов. - М.:Стройиздат, 2011. - 735 с.
2. Данилов О.Л., Гаряев А.Б. и другие, Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов, под ред. Клименко А.В., - М.: Издательский дом МЭИ, 2010 - 424 с.: ил.
3. Сканава А.Н., Махов Л.М. Отопление, М.: АСВ, 2008 г. - 576с.
4. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. В 2-х частях. Под редакцией Староверова И.Г. Часть 1: отопление, водопровод, канализация. М.: Стройиздат, 2007 - 429 с. Авторы: Богословский В.Н., Копьев С.Ф. и другие

В.А. Галковский, к.т.н., доц.; П.И. Кукушкина, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г.Смоленске)

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКУПЕРАТИВНЫХ ТЕПЛООБМЕН- НЫХ АППАРАТОВ В СХЕМАХ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТА

В статье рассматриваются различные схемы присоединения систем ГВС и отопления в индивидуальном тепловом пункте к тепловой сети для трех температурных графиков 115/70°C, 130/70°C, 150/70°C; произведен расчет, анализ, и даны рекомендации по использованию кожухотрубных и пластинчатых теплообменных аппаратов.

Ключевые слова: централизованное теплоснабжение, индивидуальный тепловой пункт, температурный график, двухступенчатая последовательная схема присоединения, смешанная схема присоединения, параллельная схема присоединения, кожухотрубный теплообменник, пластинчатый теплообменник.

Так как в России в настоящее время централизованное теплоснабжение является одним из основных, то при строительстве новых зданий, а так же при реконструкции существующих тепловых сетей нередко встает вопрос о способах присоединения потребителей к тепловым сетям. И, как правило, выбор останавливается на присоединении через центральные тепловые пункты (ЦТП) или индивидуальные тепловые пункты (ИТП). Кроме того, второй задачей уже при эксплуатации водяных тепловых сетей является выбор температурных графиков. На сегодняшний день наиболее часто применяются температурные графики 115/70°C, 130/70°C, 150/70°C.

В данной работе рассмотрены схемы присоединения систем ГВС и отопления к тепловой сети, а именно двухступенчатая последовательная, двухступенчатая смешанная и параллельная для данных температурных графиков.

Большим преимуществом независимых схем присоединения является сохранение циркуляции в местных системах при повреждениях в наружных сетях [1].

Отличительная особенность двухступенчатой последовательной схемы присоединения систем ГВС и отопления к тепловой сети (рисунок 1) заключается в том, что вода с температурой $t_{\text{под.сети}}$ из подающего трубопровода тепловой сети, пройдя через подогреватель второй ступени (на выходе температура воды равна $t_{\text{вых}}''$), поступает в систему отопления с температурой $t_{\text{сет}}'$, а не в подогреватель первой ступени. Преимуществом этой схемы присоединения является то, что расчетный расход сетевой воды во всем диапазоне наружных температур постоянный и равен расходу сетевой воды на отопление [2].

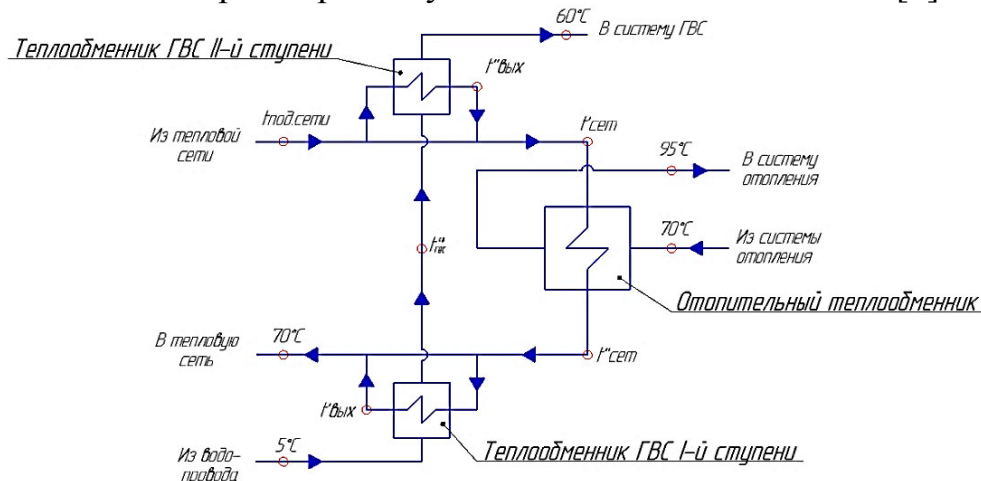


Рисунок 1 - Двухступенчатая последовательная схема присоединения системы ГВС к тепловой сети с независимым присоединением системы отопления в ИТП

Особенностью двухступенчатой смешанной схемы присоединения систем ГВС и отопления к тепловой сети (рисунок 2) является то, что в подогревателях первой ступени водопроводная вода нагревается обратной водой с температурой $t_{\text{вых}}''$ из подогревателя второй ступени, а температура сетевой воды $t_{\text{сет}}''$ на входе

в теплообменник первой ступени равна температуре, выходящей из теплообменника второй ступени.

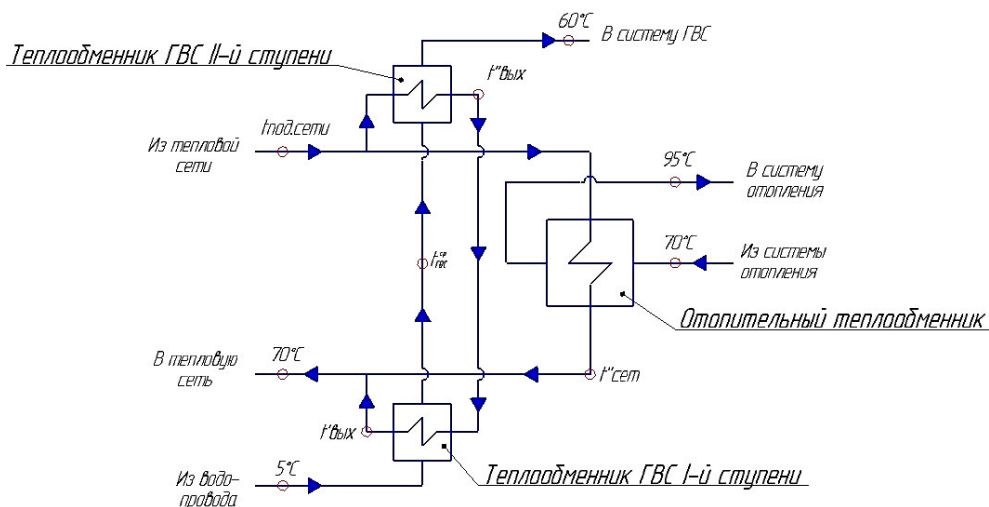


Рисунок 2 - Двухступенчатая смешанная схема присоединения системы ГВС к тепловой сети с независимым присоединением системы отопления в ИТП

По сравнению с двухступенчатыми, параллельная схема (рисунок 3) обеспечивает меньшие гидравлические потери, меньшие теплотери, и, что немаловажно, она гораздо проще [2].

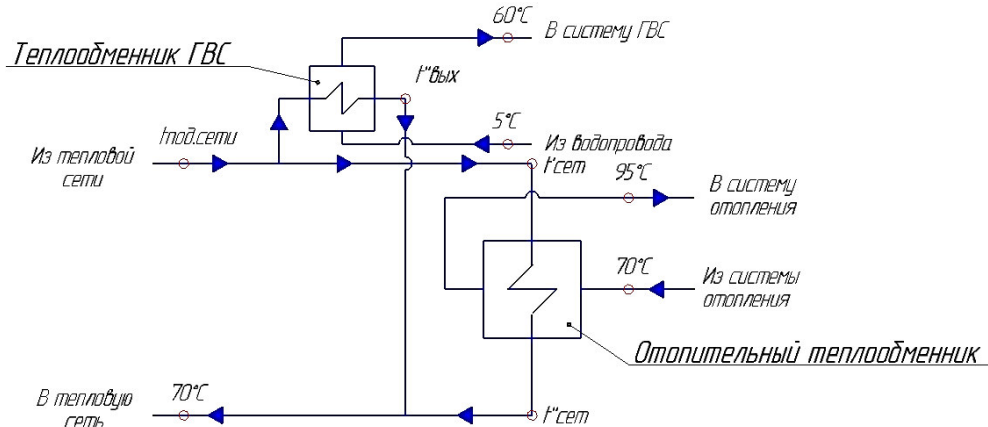


Рисунок 3 - Параллельная схема присоединения системы ГВС к тепловой сети с независимым присоединением системы отопления в ИТП

Для проведения расчетов был выбран 10-этажный 2-х секционный жилой дом в городе Смоленске объемом 150000 м².

В процессе расчета теплообменников для трех схем присоединения для данных температурных графиков были получены различные суммарные поверхности нагрева, $F = F^{ГВС} + F^{ОТ}$, м², рекуперативных теплообменников.

Из рисунков 4, 5, 6 видно, что для трех схем при температурных графиках 115/70°C, 130/70°C и 150/70°C по суммарной поверхности нагрева F явно выигрывают пластинчатые теплообменники у кожухотрубных. Причем, для параллельной схемы (рисунок 4) для трех температурных графиков пластинчатые

теплообменники имеют одинаковую поверхность нагрева $F = 46,8 \text{ м}^2$. В свою очередь, лучший по поверхности нагрева кожухотрубный теплообменник имеет параллельная схема при температурном графике $150/70^\circ\text{C}$, и она составляет $F = 58,79 \text{ м}^2$.

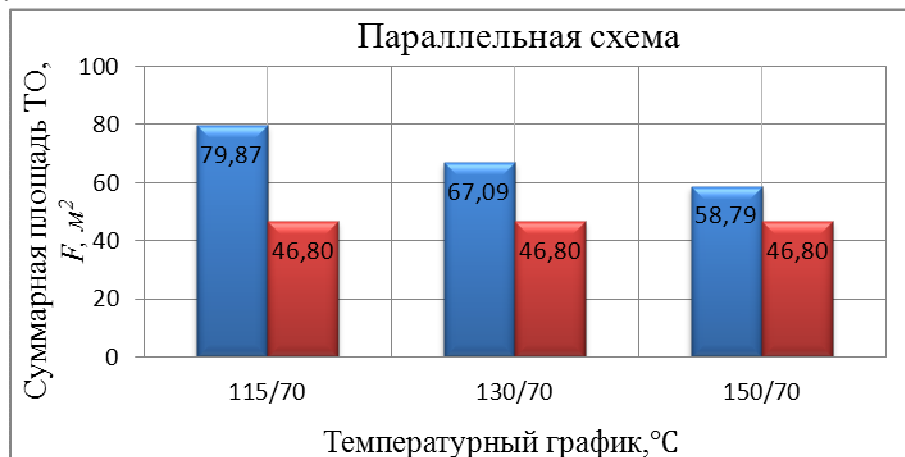


Рисунок 4 - Суммарная площадь рекуперативных теплообменников для различных температурных графиков параллельной схемы присоединения

Из рисунка 5 видно, что наименьшую поверхность нагрева имеет кожухотрубный теплообменник при температурном графике $150/70^\circ\text{C}$, и она составляет $F = 102,48 \text{ м}^2$. А у пластинчатых теплообменников – лучшая поверхность нагрева одинакова у температурных графиков $130/70^\circ\text{C}$ и $150/70^\circ\text{C}$ и составляет $F = 71,4 \text{ м}^2$.

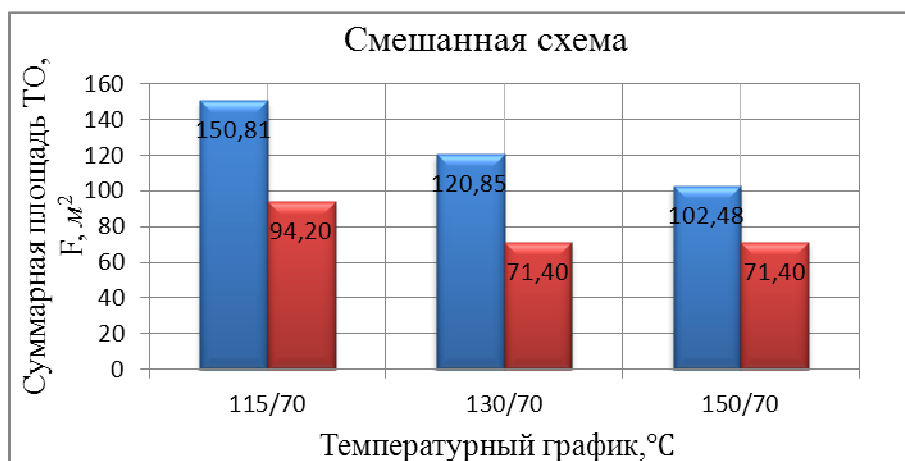


Рисунок 5 - Суммарная площадь рекуперативных теплообменников для различных температурных графиков смешанной схемы присоединения

Анализируя рисунок 6, видно, что, пластинчатый ТО при температурном графике $150/70^\circ\text{C}$ имеет наименьшую $F = 46,2 \text{ м}^2$. В свою очередь, лучший по поверхности нагрева кожухотрубный теплообменник имеет схема при температурном графике $150/70^\circ\text{C}$, она составляет $F = 85,4 \text{ м}^2$.

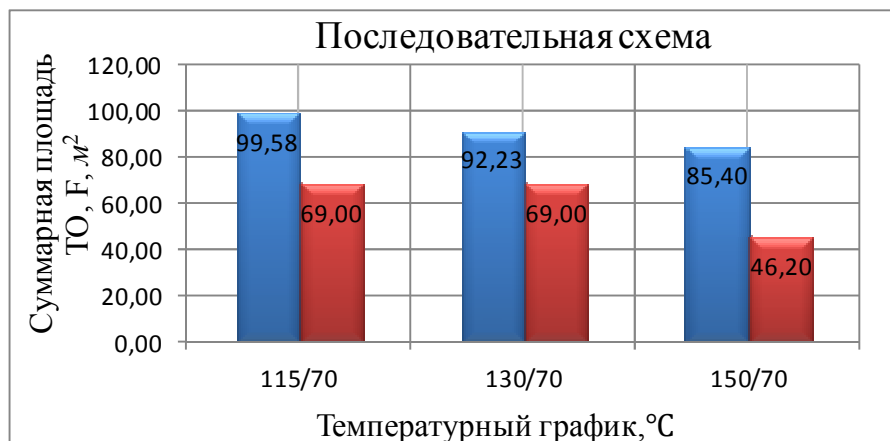


Рисунок 6 - Суммарная площадь рекуперативных теплообменников для различных температурных графиков последовательной схемы присоединения

Сравним в отдельности суммарные поверхности нагрева, $F, м^2$, кожухотрубных (рисунок 7) и пластинчатых теплообменников (рисунок 8) для трех рассмотренных схем для температурных графиков 115/70°C, 130/70°C, 150/70°C, установленных в ИТП выбранного жилого дома.

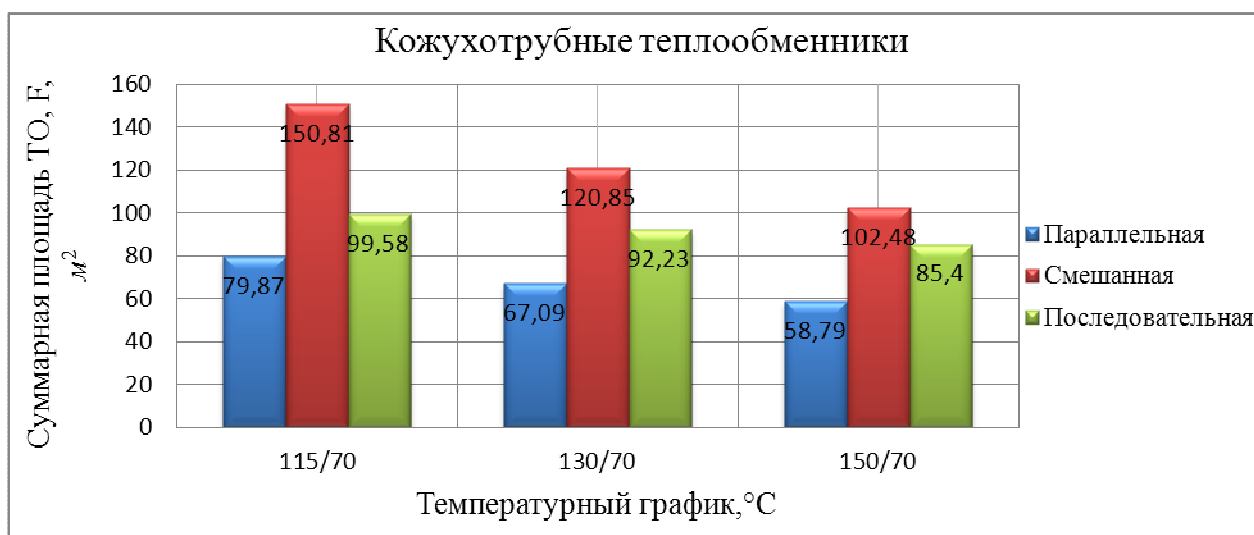


Рисунок 7 - Суммарная площадь кожухотрубных теплообменников для различных температурных графиков схем присоединения

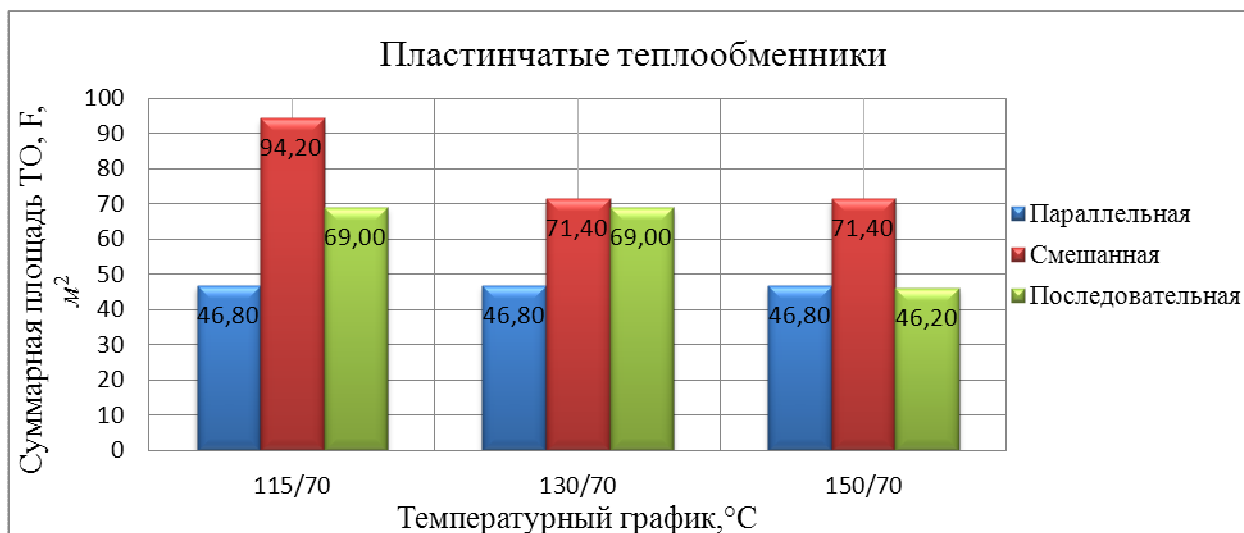


Рисунок 8 - Суммарная площадь пластинчатых теплообменников для различных температурных графиков схем присоединения

Из рисунков 7, 8 видно, что из рассмотренных схем наилучший пластинчатый теплообменник с меньшей поверхностью нагрева $F = 46,20 \text{ м}^2$ имеется в двухступенчатой последовательной схеме при температурном графике $150/70^\circ\text{C}$. В свою очередь, лучший по поверхности нагрева кожухотрубный теплообменник имеет параллельная схема при температурном графике $150/70^\circ\text{C}$, и она составляет $F = 58,79 \text{ м}^2$.

Литература

1. Горячее водоснабжение: курс лекций для студентов специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» высших учебных заведений: в 3 ч. / В. М. Копко. – Минск: БНТУ, 2011. – Ч. 1. – 119 с.
2. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. – Москва. – 83 с.

*В.А. Галковский, к.т.н., доц.; Д.А. Тютюнков, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МАТЕРИАЛЬНЫЕ ПОТЕРИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

В статье рассматривается проблема определения объема утечек теплоносителя из-за повреждений трубопроводов водяных тепловых сетей.

Ключевые слова: материальные потери, транспортировка теплоносителя, тепловые сети, утечки, повреждение теплотрассы.

Особое внимание необходимо уделять материальным потерям теплоносителя, так как они являются достаточно существенными. Теплоноситель весьма дорог и его утечка означает потерю сырой воды, стоимости ее дальнейшей химводоподготовки и тепловой энергии, что она несет, а так же дополнительных средств затрачиваемых на восполнение потерь в системе теплоснабжения.

В связи с этим возникает необходимость определения объема утечек теплоносителя, но далеко не все потребители тепловой энергии обладают прибо-

рами учета. В результате возникает проблема, связанная с подсчетом величины утечек, зависящей от размеров коррозионных свищей, трещин и т.д.

Формула для определения объема утечек представлена в методике [1]:

$$Q^{ут} = 9600 \cdot t \cdot s \cdot \sqrt{H}, \quad (1)$$

где s - площадь живого сечения отверстия, м^2 ;

H - средний напор воды в трубопроводе на поврежденном участке, м;

t - продолжительность утечки по фактическим данным с момента заявки до локализации, ч.

Данная зависимость имеет недостаток, связанный с тем, что не учитывается температура теплоносителя, а, следовательно, его плотность и кинематическая вязкость. Однако анализ зависимостей представленных в [2] и справочнике [3], позволяет избавиться от этого недостатка.

Рассмотрим следующую ситуацию, большой резервуар с жидкостью под давлением P_0 , имеющий малое круглое отверстие в стенке на достаточно большой глубине H_0 от свободной поверхности (рисунок 1).

При истечении через малое отверстие струя при выходе претерпевает сжатие и площадь ее сечения S_c становится меньше, чем площадь отверстия S_0 .

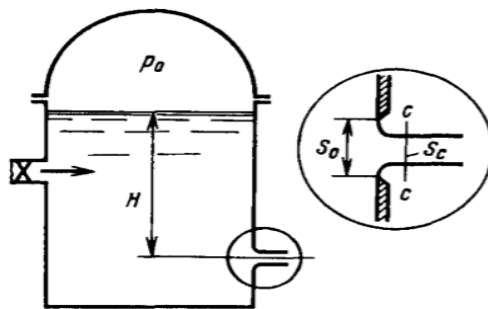


Рисунок 1 – Истечение из резервуара через малое отверстие

Степень сжатия оценивается коэффициентом сжатия:

$$\varepsilon = \frac{S_c}{S_0} = \left(\frac{d_c}{d_0}\right)^2, \quad (2)$$

где S_c и S_0 – площади поперечного сечения струи и отверстия соответственно, м^2 ;

d_c и d_0 – диаметры струи и отверстия соответственно, м .

Скорость истечения жидкости через такое отверстия:

$$v = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \quad (3)$$

где H , м – напор жидкости, определяется как:

$$H = H_0 + \frac{P_0 - P_1}{\rho \cdot g}; \quad (4)$$

φ – коэффициент скорости, который определяется как:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}}, \quad (5)$$

где α – коэффициент Кориолиса;

ξ – коэффициент сопротивления отверстия.

Расход жидкости определяется как произведение действительной скорости истечения на фактическую площадь сечения, $\text{м}^3/\text{с}$;

$$Q = S_c \cdot v = \varepsilon \cdot S_0 \cdot \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (6)$$

Произведение ε и φ принято обозначать буквой μ и называть коэффициентом расхода:

$$\mu = \varepsilon \cdot \varphi \quad (7)$$

В итоге получаем расход Q , $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = \mu \cdot S_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \mu \cdot S_0 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P}{\rho}}, \quad (8)$$

где ΔP – расчетная разность давлений, под действием которой происходит истечение, Па.

При помощи этого выражения решается основная задача – определяется расход.

Значение коэффициента сжатия ε , сопротивление ξ , скорости φ и расхода μ для круглого отверстия можно определить по эмпирически построенным зависимостям. На рисунке 3 показаны зависимости коэффициентов ε , ξ и μ от числа Рейнольдса, посчитанного для идеальной скорости:

$$Re_n = \frac{d \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P}{\rho}}}{\nu}, \quad (9)$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$

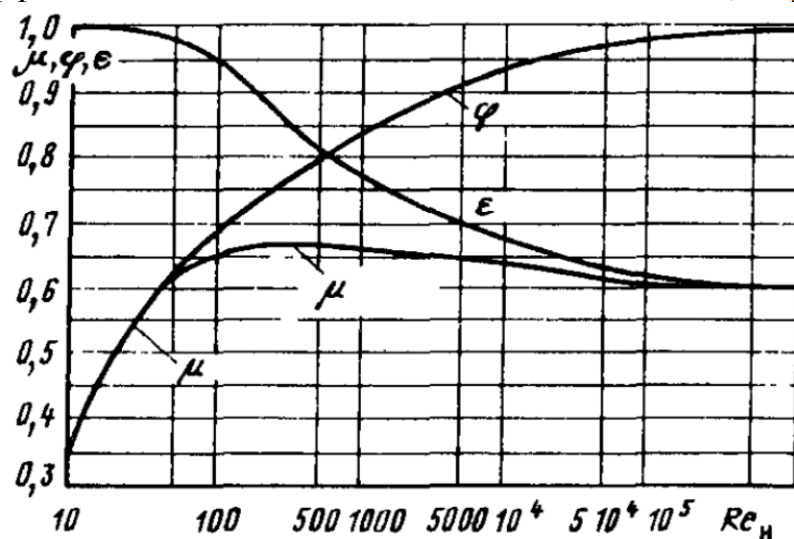


Рисунок 2 – Зависимость ε , ξ и μ от числа Re_n .

Финансовые потери из-за утечки теплоносителя:

$$З = Q^{yt} \cdot C_p \cdot t \cdot \rho \cdot Z_{уд}, \quad (10)$$

где C_p – изобарная теплоемкость, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;

t – температура теплоносителя, $^\circ\text{C}$;

ρ – плотность теплоносителя, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

$Z_{уд}$ – удельный затраты на единицу теплоты, руб/Дж.

Для сравнения методик предложенной в [1] и выведенной из [2] и [3] был произведен расчет с различными площадями повреждений трубопроводов. Результаты расчета по методике [1] и [2] представлены в таблице 1 и таблице 2 соответственно.

Таблица 1 — Потери теплоносителя и затраты в зависимости от размеров свища

$\tau, ч$	$S, м^2$	$H, м$	$Q^{ут}, м^3$	$Э, руб.$
24	0,05	100	11,52	912,3
24	0,1	100	23,04	1824,6
24	0,2	100	46,08	3649,2
24	0,3	100	69,12	5473,8
24	0,4	100	92,16	7298,5
24	0,5	100	115,2	9123,1
24	0,6	100	138,24	10947,7
24	0,7	100	161,28	12772,3
24	0,8	100	184,32	14596,9
24	0,9	100	207,36	16421,5
24	1	100	230,4	18246,2

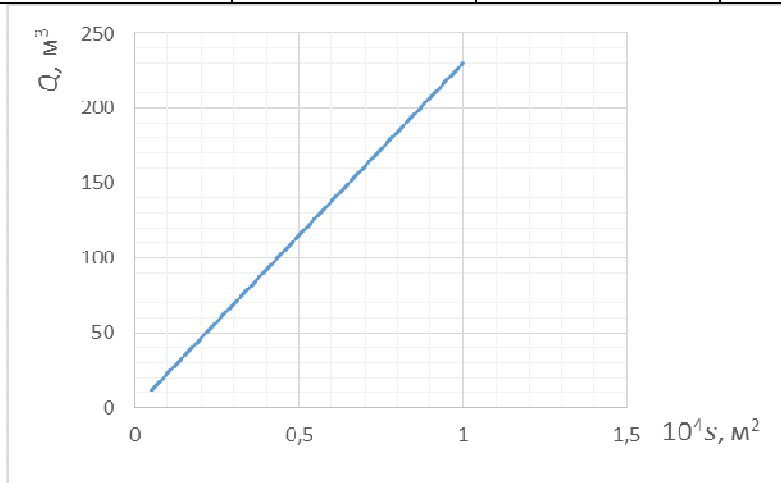


Рисунок 3 — Зависимость объема утечки от площади свища

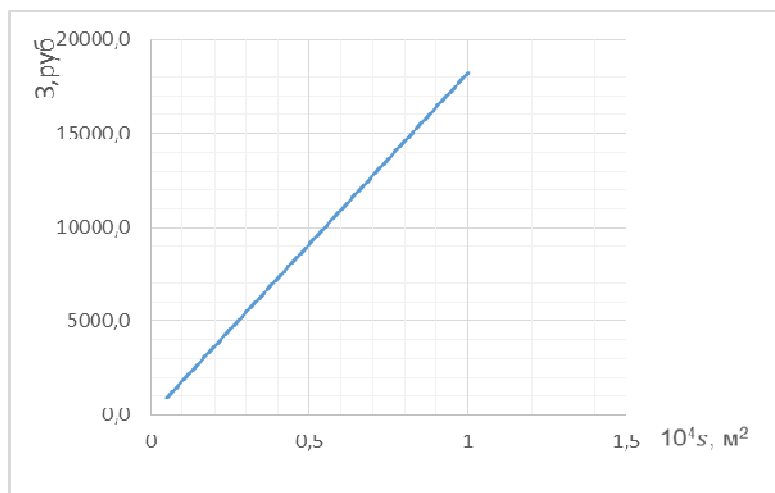


Рисунок 4 — Зависимость затрат вызванной течью от ее площади

Таблица 2 — Потери теплоносителя и затраты в зависимости от размеров свища

$S, \text{ м}^2$	$v, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$P, \text{ МПа}$	Re	μ	$Q_{\text{с}}^{\text{ут}}, \text{ м}^3$	$Q_{\text{д}}^{\text{ут}}, \text{ м}^3$	$З, \text{ руб.}$	$\delta, \%$
0,05	0,328	965,3	1	694	0,66	0,00015	12,98	1041,8	12,43
0,1	0,328	965,3	1	1388	0,66	0,0003	25,96	2083,6	12,43
0,2	0,328	965,3	1	2775	0,66	0,000601	51,91	4167,2	12,43
0,3	0,328	965,3	1	4163	0,66	0,000901	77,87	6250,9	12,43
0,4	0,328	965,3	1	5551	0,65	0,001183	102,25	8208,2	11,08
0,5	0,328	965,3	1	6939	0,65	0,001479	127,81	10260,2	11,08
0,6	0,328	965,3	1	8326	0,65	0,001775	153,38	12312,3	11,08
0,7	0,328	965,3	1	9714	0,64	0,002039	176,19	14143,4	9,69
0,8	0,328	965,3	1	11102	0,64	0,002331	201,36	16163,8	9,69
0,9	0,328	965,3	1	12490	0,64	0,002622	226,53	18184,3	9,69
1	0,328	965,3	1	13877	0,64	0,002913	251,70	20204,8	9,69

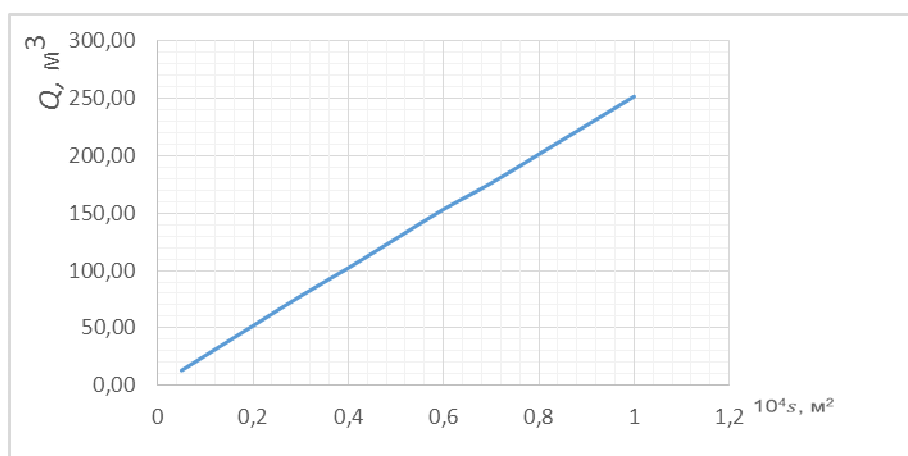


Рисунок 5 — Зависимость объема утечки от площади свища

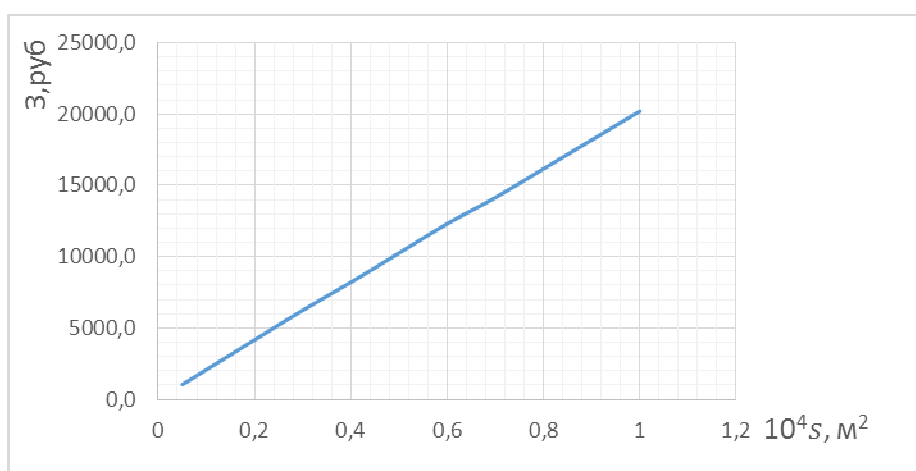


Рисунок 6 — Зависимость затрат вызванной течью от ее площади

По результатам расчетов можно сделать вывод о нежелательности использования методики, предложенной в [1], в связи с дополнительной погрешностью вычисления потерь теплоносителя в размере 10-12%, которую она вносит, особенно в тех случаях, когда продолжительность утечки по фактическим данным с момента заявки до локализации будет продолжительным.

Литература

1. Методика определения неучтенных расходов и потерь воды в системах коммунального водоснабжения. Утв. приказом Минпромэнерго РФ от 20 декабря 2004 г. № 172 // журнал "ЖКХ. Журнал руководителя и главного бухгалтера" № 1, 2. 2006.
2. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под общ. Ред. Чл. Корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Издательство МЭИ, 2001. 564 с.
3. Чугаев Р.Р Гидравлика: Учебник для вузов. – 6 изд. – М.: Бастет, 2013, 672 с.

**В.А. Галковский, к.т.н., доцент; С.Р. Фирсов, студент
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)**

МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В данной статье рассматриваются популярные методы анализа и оптимизации технологических объектов при их реконструкции или проектировании, а также возможность использования этих методов для анализа сложных объектов теплоэнергетики и теплотехники.

Ключевые слова: Метод тепловых балансов, Эксергетический метод, Энтропийный метод, Структурный метод, Структурно-вариантный метод, Пинч-анализ, теплотехнологическая система.

Производство и потребление энергии растет с каждым годом во всем мире, что связано с увеличением объемов производства во всех хозяйственных отраслях и внедрением новых технологий. В таких условиях значимую роль играет экономия энергоресурсов. Поэтому при реконструкции устаревших, и при строительстве новых предприятий необходимо использовать современные энергосберегающие методы проектирования. Для создания энергосберегающих технологий и модернизации технологического оборудования применяются различные термодинамические методы анализа. С их помощью определяются возможности технологий и границы технически достижимых решений (особенно на начальных стадиях исследования и проектирования); они также позволяют минимизировать энергетические затраты. Однако окончательное решение задачи разработки и оптимизации технических систем опирается на экономические оценки эффективности. Связи между термодинамическими и технико-экономическими характеристиками весьма сложны. Поэтому оптимизация всегда проводится в два этапа. На первом средствами термодинамики находят относительно узкую область, в которой рассматриваемая система имеет приемлемую структуру и термодинамически наиболее выгодные параметры. На втором этапе проводится чисто экономическая оптимизация.

Самым распространенным методом анализа является метод тепловых балансов, основанный на первом законе термодинамики. Однако первый закон термодинамики не позволяет оценить степень термодинамического совершенства системы. При расчете этим методом составляются тепловые балансы, по которым в дальнейшем определяют показатели работы установок, например, термические КПД, холодильные коэффициенты и т.д.

В качестве меры совершенства термодинамической системы принимается величина подвода энергии от внешних источников. В этом случае принимается, что тепловые потоки, выходящие из системы, отводятся в окружающую среду, не участвуют в теплопередаче и не совершают работу.

Минусом такого подхода к оценке совершенства технологической системы является большое число показателей и их узкая направленность.

В современных технологиях, связанных с переработкой вещества и энергии, важное место занимают объекты, создание и усовершенствование которых требуют использования термодинамики. Классический аппарат этой науки часто оказывается недостаточным для решения новых задач необходимо не только его дальнейшее развитие, но и сопряжение с элементами системного подхода и экономики. Под влиянием этих требований был разработан эксергетический метод. Его основополагающая идея заключается во введении наряду с всеобщим, фундаментальным понятием энергии, дополнительного показателя – эксергии.

Анализируя термодинамические системы нужно учитывать не только первый, но и второй закон термодинамики. Эксергетический метод анализа систем, учитывает оба этих закона. Важное значение при использовании эксергетического метода анализа имеют параметры окружающей среды. Их значение не зависит от параметров исследуемой системы и, как правило, считаются постоянными.

Понятие энергии как общей меры движения материи в рассматриваемой системе недостаточно при решении технических задач. Фактическая ценность энергии зависит не только от ее параметров и формы, но и от параметров окружающей среды. Таким образом, далеко не вся энергия и не при любых условиях может быть полностью применима для практического использования.

Эксергия позволяет учесть тот факт, что энергия в зависимости от внешних условий может иметь разную ценность для практического использования (например, одно и то же количество теплоты при разном температурном потенциале источников). Расчеты балансов и различных характеристик технических систем с учетом эксергии дают возможность наиболее просто и наглядно решать множество научных, технических и технико-экономических задач. Они помогают исключить часто встречающиеся ошибки, связанные с игнорированием качественной стороны энергетических превращений.

Несмотря на то, что эксергетический метод давно уже получил признание, его внедрение в практику термодинамического анализа происходит довольно медленно. Причиной этому служит то, невозможность нахождения зависимости между эксергетическим КПД сложной схемы и эксергетическими КПД ее отдельных элементов. Поэтому анализ сложных термодинамических систем с регенерацией затруднен.

Исходя из второго закона термодинамики, любой реальный тепловой процесс сопровождается ростом энтропии системы. Следовательно, приращение

энтропии системы может стать критерием термодинамического совершенства системы.

В качестве основы энтропийного метода служит метод вычитания эксергетических потерь, заключающийся в том, что от первоначальной эксергии теплоты, вычитаются эксергетические потери. На выходе мы получаем эксергию теплоты, полученной потребителем. Вследствие аддитивности энтропии мы получаем возможность вычислить каждую из потерь отдельно или сумму нескольких сразу[2].

К недостаткам данного метода можно отнести невозможность определения КПД отдельных элементов системы, отсутствие качественной оценки потерь и как следствие невозможность полного термодинамического анализа системы только энтропийным методом.

При технико-экономической оптимизации как действующих, так и проектируемых энерготехнологических систем необходимым и часто определяющим этапом является термодинамическая оптимизация. В тех случаях, когда аналитические зависимости между эксергетическим КПД системы и ее параметрами известны, оптимизация превращается в чисто математическую задачу и проводится с помощью методов оптимизации рассмотренных ниже.

Структурный метод применяется в тех случаях, когда задана технологическая схема (структура) оптимизируемой системы. В его основе лежит составление структурной модели, представляющей собой комплекс связанных потоками эксергии элементов, в каждом из которых происходит определенный этап ее трансформации (т.е. выводится аналитическая зависимость между эксергетическими КПД отдельных элементов и КПД системы в целом). Изменение эксергетического КПД любого элемента приводит к изменению эффективности всей системы[1].

При реализации структурного метода встречаются серьезные затруднения: необходимость упрощения исходной структуры схемы и невозможность получения для широкого класса систем зависимости эксергетического КПД элементов от изменения количества эксергии, трансформируемой в каждом из элементов. Кроме того, из-за погрешности, обусловленной допущениями, принимаемыми при построении структурной модели, рассматриваемый метод может оказаться недостаточно точным даже при решении сравнительно несложных задач.

Структурно-вариантный метод позволяет исключить недостатки структурного. В нем аналитические зависимости не выводятся, а вместо них осуществляется вариантный расчет, во много раз сокращенный по сравнению с обычным вариантным перебором[1].

Изменив технические потери эксергии в отдельных элементах, можно найти новую совокупность технологических параметров, характеризующих систему в этих условиях. По ней на основе технологических расчетов определяются соответствующие изменения вводимых и выводимых потоков эксергии и, следовательно, изменения эксергетического КПД системы в целом.

Последнее и позволяет сделать вывод о влиянии на эксергетический КПД системы эффективности каждого элемента. Кроме этого, новая совокупность технологических параметров обуславливает и те конструктивные изменения, которые следует внести в элементы.

Применение структурно-вариантного метода позволяет уточнить основной путь оптимизации и сократить число расчетов, требующихся для решения той же самой задачи методом полноценного перебора.

Чтобы избежать недостатков и сложностей, присущих описанным ранее методам, при оптимизации структуры предприятия необходимо найти альтернативные методы, обладающие следующими свойствами: возможность нахождения альтернативных структур в районе оптимума, минимальный объем требуемой информации, учет качественно различных требований к параметрам предприятия (многокритериальность), получение простых структур, применимость к решению масштабных промышленных задач.

Метод проектирования, обладающий необходимыми свойствами, появился в Англии во время нефтяного кризиса середины 70х годов и интенсивно развивается в наши дни. Известен он под названием «Пинч-анализ».

Со времени появления пинч-технологии, экономическая ситуация в мире сильно изменилась, и вопреки прогнозам, стоимость энергоносителей снизилась. Но несмотря на это важность повышения эффективности проектов увеличивается благодаря трем основным требованиям: во-первых – это необходимость повышения эффективности использования капитальных вложений; во-вторых – необходимость уменьшения техногенного влияния промышленных предприятий на окружающую среду и в-третьих – это требование к общему увеличению “качества” в широком смысле. Эти три направления поспособствовали дальнейшему развитию пинч-технологии и расширению ее применения[3].

Пинч-анализ – метод снижения энергопотребления за счет выбора оптимальных значений энергопотребления и приближения к ним за счет оптимизации теплопередачи между процессами.

Сфера применения пинч-анализа очень широка. Он может применяться на предприятиях, где присутствуют технологические потоки, имеющие различную температуру. Изначальной сферой применения пинч-анализа была нефтехимия и нефтепереработка, а также крупные предприятия химической промышленности, где его применение приводило к существенной экономии средств. Однако в последнее время сфера применения пинч-анализа значительно выросла. Пинч-анализ используется в когенерации, фармацевтической, целлюлозно-бумажной и цементной промышленности, а также различных подотраслях пищевой промышленности.

В последнее время в различных областях промышленности начинает внедряться комбинированный пинч-эксергетический метод анализа систем. Его применение позволит избежать недостатков и ограничений, присущих эксергетическому и пинч-анализу по отдельности. Объединив положительные качества обоих методов, можно получить совершенно новую методику анализа

теплотехнологических потерь. Учитывая возможности данного метода, у него есть все шансы стать основой современного анализа и расчета сложных теплотехнологических систем.

На сегодняшний день задача повышения эффективности технологических и теплоэнергетических процессов становится все более актуальной. Постоянно происходит поиск новых методов оптимизации систем и процессов, а также совершенствуются уже известные. Каждая методика должна отвечать определенным требованиям и иметь возможность применения в различных отраслях производства. В связи с этим, применение зарекомендовавшего себя в других отраслях пинч-анализа к объектам теплоэнергетики является довольно перспективным.

Литература

1. Бродянский В. М. и др. Эксергетические расчеты технических систем: Справ. пособие / Под ред. А. А. Долинского, В. М. Бродянского. – Киев.: Наукова думка, 1991. - 359 с.
2. Казаков В.Г., Луканин П.В., Смирнова О.С. Эксергетические методы оценки эффективности теплотехнологических установок // Учебное пособие –Спб.: ГТУРП, 2013. - 93 с.
3. Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. Основы интеграции тепловых процессов. –Харьков.: НТУ ХПИ, 2000. - 458 с.

*В.А. Галковский, к.т.н., доц.; М.Ш. Хабибуллаева, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г.Смоленске)*

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье рассматриваются две основные конструкции ветроустановок: горизонтальная и вертикальная. В соответствии с существующими методиками проведены расчеты основных показателей энергоэффективности реальных ветрогенераторов в выбранном регионе (Россия, Республика Крым, г.Севастополь).

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка (ВЭУ), коэффициент использования энергии ветра, горизонтальные и вертикальные ветроустановки, выработка электроэнергии, оценка эффективности различных конструкций ВЭУ.

Трудно представить современную жизнь человека без энергии. Основными ее видами, позволяющими человеку не просто существовать, но жить в комфортных для него условиях, являются тепловая энергия и электроэнергия. Однако для их выработки необходимо в огромных количествах сжигать органическое топливо, что не может не привести к негативным последствиям. К ним относятся загрязнение окружающей среды выбросами энергетических объектов; глобальное потепление, обусловленное повышением концентрации парниковых газов в результате деятельности человека; ухудшение геологических условий добычи энергоресурсов.

В связи с этим встает вопрос об эффективном использовании нетрадиционных возобновляемых источников энергии, в частности, использовании энергии ветра. Экономический потенциал ветровых ресурсов России составляет приблизительно 260 млрд кВт·ч в год, что равняется 30% электроэнергии, производимой всеми электростанциями в нашей стране.

Устройство, преобразующее кинетическую энергию ветра в электрическую или механическую, - ветроэнергетическая установка. Основным признаком классификации ВЭУ является пространственная ориентация их осей: выделяют ВЭУ с горизонтальной и вертикальной осью вращения. При этом горизонтальные установки составляют около 98% от всех установленных [1].

Оценить эффективность работы ветряка можно с помощью коэффициента использования энергии ветра (КИЭВ), который показывает, какая часть энергии ветрового потока полезно используется. Данный коэффициент впервые был введен В.П.Ветчинкиным в 1914 году в рамках его теории идеального ветряка. В 1920 году профессор Н.Е.Жуковский изложил теорию «Ветровой мельницы НЕЖ», которая впоследствии стала называться классической. В ней указано, что максимальный КИЭВ идеального ветряка равен 0,593 [2].

Теоретически вычисленный коэффициент использования энергии ветра имеет завышенное значение по сравнению с тем, что можно получить на практике. Это объясняется тем, что в теории не учитываются потери, которые неизбежно возникают в процессе эксплуатации.

Как уже отмечалось выше, горизонтальные ветроустановки составляют около 98% от всех установленных. Для преобразования энергии ветра они преимущественно используют подъемную силу. Выполняются с различным числом лопастей, но, как правило, используются двух- и трехлопастные (имеют более плавный ход) ветроколеса.

В течение времени направление ветра меняется, поэтому система такой ветроэнергетической установки выполняется поворотной. Ветроколесо отслеживает новое направление ветра и поворачивается за счет установленного сервопривода или хвостового оперения. Строгая ориентация по ветру является одним из основных недостатков горизонтальных ВЭУ.

Данного недостатка лишены установки с вертикальной осью вращения. Роторы имеют конструкцию, позволяющие использовать энергию ветра вне зависимости от его направления. Среди вертикальных ветроустановок выделяют следующие наиболее распространенные виды [3]: чашечный ротор; ротор Савониуса (S-образный ротор); ротор Дарье; вихревое устройство башенного типа; ротор Флеттнера.

Каждая из упомянутых конструкций роторов имеет свои преимущества и недостатки. Если говорить о классе вертикальных ветроустановок в целом, то следует отметить следующие достоинства: производительность работы не зависит от направления ветра; вертикальные ветряки используют энергию не только горизонтальных ветровых потоков, но и вихревых, восходящих и нисходящих, вследствие чего их можно размещать в относительно закрытых пространствах; работа ветряка сопровождается гораздо более низким шумовым воздействием; эффективно генерируют электроэнергию при малых скоростях ветра; устойчивы к воздействию сильных ветров (до 50 м/с).

В данной работе производится оценка эффективности вертикальной ветроустановки путем сравнения ее с горизонтальной («эталонной»). Рассматриваются реальные ВЭУ: горизонтальная - 3KW-48V STORM USE, вертикальная -

МАГЛЕВ (Савониус+Дарье). Параметром сравнения здесь является количество электроэнергии, выработанное ветряками в зимнее время и при среднегодовых параметрах окружающей среды. Данный параметр рассчитывается через развиваемую мощность, для определения которой необходимы такие характеристики ветроустановок, как коэффициент использования энергии ветра, оптимальная угловая скорость вращения вала ветротурбины, вращающий момент на валу ветротурбины и др.

Для проведения расчетов был выбран город Севастополь (Республика Крым, Россия).

Для горизонтального ветряка мощность рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \eta_g \cdot \eta_m \cdot \rho \cdot C_p \cdot F \cdot V^3, \text{ Вт, где} \quad (1)$$

η_g — КПД генератора; η_m — КПД мультипликатора; ρ — плотность воздуха, кг/м³; C_p — коэффициент использования энергии ветра; F — ометаемая площадь ветроколеса, м²; d — диаметр ветроколеса, м; V — скорость воздушного потока, м/с.

Мощность вертикальной ветроустановки [39]:

$$P = M_{\text{вр}} \cdot \omega_o, \text{ где} \quad (2)$$

Оптимальная угловая скорость вращения вала ветротурбины:

$$\omega_o = \frac{0,45 \cdot U_T}{K_{\omega} \cdot R_T} \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot C_{\alpha\alpha} \cdot S_T \cdot b_1}{m_T}}, \text{ где} \quad (3)$$

U_T — средняя скорость воздушного потока в объеме ветротурбины, м/с; K_{ω} — коэффициент заполнения объема ветротурбины лопастями для определения ω_o ; R_T — усредненное расстояние от центров тяжести всех частей ветротурбины до оси вращения; S_T — площадь полуцилиндра, образованного ротором ветротурбины, м²; $b_1 = 1$ м; m_T — масса всех частей ветротурбины и ее крепежных деталей, кг.

Вращающий момент на валу ветротурбины определяется по формуле:

$$M_{\text{вр}} = \frac{1}{2} \cdot \left(U_T \cdot \frac{0,45}{K_{\omega M}} - \omega_o \cdot R_L \right)^2 \cdot \rho \cdot C_{\alpha\alpha} \cdot S_L \cdot n_1 \cdot R_L, \text{ где} \quad (4)$$

$K_{\omega M}$ — Коэффициент заполнения объема ветротурбины лопастями для определения $M_{\text{вр}}$; ρ — плотность воздуха, кг/м³; $C_{\alpha\alpha}$ — средний аэродинамический коэффициент лопасти при обдувании ее с поворотом вокруг вертикальной оси на 360°; S_L — среднее значение проекции площади лопасти при повороте ее вокруг вертикальной оси на 360°, м²; n_1 — число лопастей, расположенных только с наветренной стороны турбины.

Годовая выработка электроэнергии:

$$W = \frac{24 \cdot 365 \cdot P}{1000}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}, \text{ где} \quad (5)$$

P — вырабатываемая мощность ветроагрегата, Вт; 24 — число часов работы ветрогенератора в сутки; 365 — число дней работы ВЭУ в год.

Результаты расчета приведены в таблицах ниже.

Таблица 1 – Выработка электроэнергии горизонтальным ветряком

Время года	$W_1, \text{кВт} \cdot \text{ч/год}$ при $d_1 = 4\text{м}$	$W_2, \text{кВт} \cdot \text{ч/год}$ при $d_2 = 5\text{м}$	$W_3, \text{кВт} \cdot \text{ч/год}$ при $d_3 = 6\text{м}$	$W_4, \text{кВт} \cdot \text{ч/год}$ при $d_4 = 8\text{м}$	$W_5, \text{кВт} \cdot \text{ч/год}$ при $d_5 = 10\text{м}$
Зимой	2466,55	3853,9	5549,745	9866,22	15415,97
Весной	1459,17	2279,95	3283,13	5836,68	9119,82
Летом	978,60	1529,06	2201,85	3914,40	6116,25
Осенью	1345,53	2102,40	3027,44	5382,12	8409,56
Среднегод.	1551,23	2423,80	3490,26	6204,92	9695,18

Таблица 2 – Результаты расчета вертикальной ветроустановки МАГЛЕВ в зимнее время

$U_T, \text{м/с}$	$\omega_{\varphi}, \text{рад/с}$	$M_{вр}, \text{Н} \cdot \text{м}$	$P, \text{Вт}$	$W, \text{кВт} \cdot \text{ч/год}$
2	0,303	45,782	13,875	121,550
3	0,454	103,009	46,830	410,231
4	0,606	183,128	111,004	972,400
5	0,757	286,138	216,805	1899,218
6	0,909	412,039	374,640	3281,850

Таблица 3 – Результаты расчета вертикальной ветроустановки МАГЛЕВ при среднегодовых параметрах

$U_T, \text{м/с}$	$\omega_{\varphi}, \text{рад/с}$	$M_{вр}, \text{Н} \cdot \text{м}$	$P, \text{Вт}$	$W, \text{кВт} \cdot \text{ч/год}$
2	0,298	45,240	13,506	118,320
3	0,447	101,790	45,585	399,332
4	0,597	180,960	108,055	946,565
5	0,746	282,750	211,045	1848,760
6	0,895	407,160	364,686	3194,657

Результаты сравнения представлены в табл.4 (в скобках содержится информация о том, какой процент от выработки электроэнергии горизонтальным ветряком при данных условиях составляет количество электроэнергии, полученное на вертикальной ветроустановке).

Таблица 4 – Сравнение выработки электроэнергии ветряками

	Выработка электроэнергии, $\text{кВт} \cdot \text{ч/год}$	
	горизонтальная установка STORM USE	вертикальная установка МАГЛЕВ
Зима	2466,55	2136,36 (86,6%)
Среднегод.	1551,23	1347,75 (86,9%)

То есть в среднем вертикально-осевая ветроустановка МАГЛЕВ может обеспечить 86,75% от электроэнергии, вырабатываемой горизонтальным ветряком в том же регионе при тех же условиях.

Литература

1. Безруких П.П. Ветроэнергетика. (Справочное и методическое пособие). М.: - ИД «Энергия», 2010. – 320 с.

2. Никитенко Г.В. Автономное электроснабжение потребителей с использованием энергии ветра: монография / Г.В. Никитенко, Е.В. Коноплев, П.В. Коноплев. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2015. – 152 с.
3. Кривцов В.С. Неисчерпаемая энергия. Кн.2. Ветроэнергетика / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Учебник. – Харьков: Нац. аэрокос. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. тех. ун-т, 2004. - 519 с.
4. Хозяинов Б.П. Методика определения мощности ветротурбины с вертикальной осью вращения / Б.П. Хозяинов // Энергетик. – 2013. - №1. – С.47-49.

А.М. Ермачков, к.т.н. доц.

(ОГБПОУ СМОЛЕНСКАЯ академия профессионального образования в г. Смоленске)

В.Н. Новиков ст. преподаватель

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

СХЕМА ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В статье рассматриваются проблемы, которые на первый взгляд не всегда представляются связанными, базирясь на наблюдениях и используя модельные представления. Общей же задачей техники является применение созданных научных принципов для разработки и конструирования сложных систем, в частности различных технологических процессов. Перед инженерной наукой в целом, стоит задача выявить и описать закономерности в таких системах, «инженеринг» - инженерные проблемы.

Ключевые слова: система технологического назначения, система интеграции.

Под внешним трением понимают процессы, происходящие в подвижных соприкосновениях технических устройств при относительном движении их кинематических звеньев. Силы трения возникают и действуют на поверхности физических объектов, совершающих относительное перемещение. Вектор силы трения противоположен вектору относительной скорости. В зависимости от назначения технического устройства сила трения может быть либо вредной, либо полезной. В устройствах, предназначенных для поддержания движения (подшипники скольжения и качения, направляющие, винтовые и зубчатые передачи и другие), сила трения является вредной. Соответственно, материалы, применяемые в этих узлах, должны способствовать снижению потерь на трение. Такие материалы называются антифрикционными.

В устройствах, предназначенных для прекращения движения (тормозные системы), для передачи движения трением (муфты сцепления, ременные и фрикционные передачи) или для создания разъемных соединений (резьбовые детали), сила трения является полезной. Материалы для таких устройств должны способствовать увеличению трения в сопряжении. Их называют фрикционными. Сила трения (F) определяется известным уравнением

$$F = N\mu_{\text{тр}}, \quad (1.1)$$

где: N - нормальное усилие, N ; $\mu_{\text{тр}}$ - коэффициент трения, $\mu_{\text{тр}} = \text{actgr}$, ρ - угол трения.

Трение всегда, рано или поздно, сопровождается разрушением соприкасающихся поверхностей. Если продукты разрушения необратимо выносятся из зоны трения, то такой процесс называется износом. Темп изнашивания оценивается

интенсивностью износа, а сопротивление этому явлению называется износостойкостью.

Полимерные материалы, предназначенные для узлов трения, называются трибопластами.

Параметры трения и изнашивания

Процессы трения и сопровождающего его износа характеризуются следующими параметрами.

Коэффициент трения скольжения $\mu_{\text{тр}}$. Численно $\mu_{\text{тр}} = F/N$ (уравнение 1.1). По его величине все триб пласты подразделяются на фрикционные ($\mu_{\text{тр}} \geq 0,3$) и антифрикционные ($\mu_{\text{тр}} \leq 0,2$).

Интенсивность износа J равна отношению изменения размера, массы изнашиваемого изделия или затрат энергии на этот процесс к пути трения (L), называемого также пробегом.

Соответственно различают интенсивность износа:

$$\text{линейного } J_h = \Delta h/L; \quad (1.2)$$

$$\text{массового } J_g = \Delta g/L; \quad (1.3)$$

$$\text{энергетического } J_w = \Delta A_{\text{тр}}/L, \quad (1.4)$$

где Δh и Δg - толщина и масса изношенного слоя соответственно;
 $\Delta A_{\text{тр}}$ -работа трения на пути L (Дж).

Износостойкость – величина, обратная интенсивности износа $I = 1/J$. Соответственно различают износостойкость линейную (безразмерная величина), массовую (м/мг) или энергетическую (м/Дж).

Параметры режима трения: давление номинальное $P = N/S$, Па; скорость скольжения v , м/с. произведение $P \cdot v$ имеет весьма важное значение при оценке практической применимости материала в подшипниках скольжения, работающих в определенных энергетических условиях нагрузки (P) и скорости скольжения (v). Размерность $P \cdot v$ Вт/м². Каждый трибопласт характеризуется своим допускаемым параметром режима, обозначаемым $[P \cdot v]$

Условие трения определяется наличием смазочного слоя на поверхности трения. По этому параметру различают: сухое трение - смазочный слой полностью отсутствует. Такое трение реализуется в вакууме. Граничное трение - на поверхности скольжения присутствует молекулярной толщины слой влаги, конденсированной из воздуха или иное смазочное вещество. Полусухое трение-контрповерхности частично разделены слоем жидкой смазки. Жидкостное трение –контрповерхности полностью разделены слоем смазки, толщина которого превышает высоту микровыступов шероховатостей сопрягаемых поверхностей.

Условия трения существенно влияют на величину коэффициента трения. Наличие в зоне трения даже граничного смазочного слоя может понижать коэффициент трения во много раз.

НАИМЕНОВАНИЕ МАТЕРИАЛА	ХАРАКТЕРИСТИКИ						ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
	ПЛОТНОСТЬ, г/см ²	КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ	КОНТАКТНОЕ ДАВЛЕНИЕ, МПа	ЛИНЕЙНЫЙ ИЗНОС, мм/км	МАКС. Т ЭКСПЛ., °С	СКОРОСТЬ СКОЛЬЖ., м/с	
ОПМ – 94 НА ОСНОВЕ ТЕРМОСТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВОЛОКОН И ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ	1,35	0,08 – 0,023 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ	120	2-30x10 ⁻⁶	до 250	2,5	ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ, МЕТАЛЛУРГИЯ, НЕФТЕДОБЫЧА, ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА, АВТОМОБИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
УГЭТ – Т (УГЛЕПЛАСТИК)	1,45	0,12	40	0,04 мм ЗА 1000ч	от -60 до +120	0,005-0,5	СУДОВЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ, ГИДРОТУРБИНЫ
ФУТ (УГЛЕПЛАСТИК)	1,45	0,12	до 0,12	0,1 мм ЗА 1000ч	от -60 до +140	0,5-15	ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ, НАСОСЫ РАЗНЫХ ТИПОВ
УГЛЕПЛАСТИК С СОДЕРЖАНИЕМ МЕЛКОДИСПЕРС-НОГО ПОЛИЭТРА-ФОР-ЭТИЛЕНА	1,42	0,01 – 0,08 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ	до 50	1x10 ⁻¹¹	от -190 до +250	до 1	ПРЕЦИЗИОННОЕ СТАНКОСТРОЕНИЕ, НАСОСЫ, КРИОГЕННАЯ ТЕХНИКА

Применение антифрикционных пкм позволяет:

повысить ресурс работы изделий в 5 раз,

коэффициент демпфирования увеличить в 10 раз,

снизить металлоемкость изделий на 30%

Литература

1. Справочная серия Теплоэнергетика и теплотехника В.А. Григорьева, В.М. Зорина. М.Энергоиздат 1991.-499с.
2. Теплофикация и тепловые сети Е.Я. Соколов. М. Энергоиздат 1991.-353 с.
3. Справочная серия в четырех книгах Теплоэнергетика и теплотехника В.А. Григорьева, В.М. Зорина. М. Энергоиздат 1991-353с.
4. Технология машиностроения В.В. Данилевский М. Высшая школа 1992-412с

*И.А. Кабанова, к.т.н., доц.; К.А. Удилов, бакалавр
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГТУ В НЕРАСЧЕТНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

В статье рассмотрены вопросы оценки эффективности работы газотурбинных установок на нерасчетных режимах при использовании газообразного и жидкого топлива.

Ключевые слова: газотурбинная установка, парогазовая установка, мощность, коэффициент полезного действия, расход топлива

Применение газотурбинных установок (ГТУ) и парогазовых установок (ПГУ) несмотря на уже довольно большое время своего существования в энергетике до сих пор остаются одним из самых перспективных её направлений. В последние годы много внимания уделяется реконструкции мини-ТЭЦ на базе

ГТУ в установки с парогазовым циклом, а так же строятся новые мощные парогазовые энергоблоки.

Значительное внимание уделяется перспективным технологиям сжигания топлива в камерах сгорания, улучшению экологических показателей, продлению срока службы оборудования и уменьшению уровня шума вследствие работы подобных установок. Парогазовые установки на природном газе — единственные энергетические установки, которые в конденсационном режиме работы отпускают электроэнергию с КПД нетто более 58 % [1].

Однако отличительной особенностью работы энергетических ГТУ от паросиловых установок является то, что они редко работают в расчетном режиме по условиям международного стандарта ISO 2314, гласящим что, параметры воздуха в плоскости входного фланца компрессора (или входного патрубка) должны составлять: полная температура 15°C; атмосферное давление 101,3 кПа; относительная влажность воздуха 60 % [2].

Таким образом в процессе эксплуатации энергетических ГТУ почти непрерывно изменяются: параметры забираемого из атмосферы рабочего тела (воздуха), сопротивление на входе и выходе ГТУ, а так же качество и характеристики топлива. Из этого следует, что меняются и основные технические данные установки такие, как: мощность, электрический КПД, расход топлива, параметры выходных газов и др.

Для анализа влияния параметров наружного воздуха была выбрана установка ГТЭ-150, выпускаемая ПО "Ленинградский Металлический завод" (ЛМЗ) и предназначенная для работы в пиковом и полупроводниковом режимах эксплуатации при автономной работе, а также в цикле ПГУ. В качестве рабочего топлива был взят природный газ месторождения Безенчук – Чапаевск с низшей теплотой сгорания 47,3 МДж/кг, а в виде резервного – дизельное ($Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 42,4$ МДж/кг). Расчет проводился в диапазоне температур от -15°C до +30°C. В качестве основных параметров, определяющих эффективность работы были рассмотрены:

- расход топлива на газовую турбину:

$$B_{\text{zm}} = \frac{G_{\text{kc}}}{L_0 \alpha_{\text{kc}}}, \quad (1)$$

где G_{kc} - расход воздуха, подаваемого в камеру сгорания кг/с;

L_0

- теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 кг топлива, кг/кг; α_{kc} - коэффициент избытка воздуха в камере сгорания;

- электрическая мощность газотурбинной установки:

$$N_{\text{э}}^{\text{ГТУ}} = \left(N_i^{\text{zm}} \cdot \eta_{\text{м}}^{\text{zm}} - \frac{N_i^{\text{к}}}{\eta_{\text{м}}^{\text{к}}} \right) \cdot \eta_{\text{э}}, \quad (2)$$

где N_i^{zm} - внутренняя мощность газовой турбины, Вт; $\eta_{\text{м}}^{\text{zm}}$ - механический КПД газовой турбины, %; $N_i^{\text{к}}$ - внутренняя мощность компрессора, Вт;

$\eta_{\text{м}}^{\text{к}}$

- механический КПД компрессора, % ;

- производительность компрессора:

$$G_k = \overline{G}_k G_0 \frac{P_{\text{вс}}}{P_0^0} \sqrt{\frac{T_0^*}{T_{\text{нв}}}}, \quad (3)$$

где $\overline{G}_k$ - приведенный расход воздуха через компрессор; $P_{\text{вс}}$ - реальное давление воздуха на всасе компрессора, Па; P_0^0 - давление воздуха на всасе компрессора при расчетном режиме, Па; T_0^* - температура наружного воздуха в расчетном режиме, К; $T_{\text{нв}}$ - реальная температура наружного воздуха, К;

- температура воздуха за компрессором:

$$t_{\text{кк}} = t_{\text{нв}} + T_{\text{нв}} \left(\pi_k^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_k}, \quad (4)$$

где k - величина коэффициента адиабаты; η_k - КПД компрессора, %; π_k - степень сжатия воздуха в компрессоре;

- КПД газотурбинной установки:

$$\eta_{\text{гту}} = \frac{N_{\text{э}}^{\text{гту}}}{B_{\text{см}} \cdot Q_{\text{н}}^p}, \quad (5)$$

Результаты проделанных расчетов приведены в табл.1.

Таблица 1 - Результаты расчета

Величина и единица измерения	Температура наружного воздуха, °C							
	-15		0		+15		+30	
	ПГ	ЖТ	ПГ	ЖТ	ПГ	ЖТ	ПГ	ЖТ
Расход топлива, кг/с	13,53	13,77	12,48	12,70	11,37	11,50	10,38	10,56
Электрическая мощность, МВт	216,8	208,6	179,7	172,2	154,3	147,5	131,4	125,2
Расход воздуха через компрессор, кг/с	690,1		650,7		600,0		562,9	
Степень сжатия в компрессоре	15,8		14,4		13,0		11,7	
Температура газов за ГТУ, °C	472,1		486,4		503,1		520,7	
Температура воздуха после компрессора, °C	349,5		367,2		381,3		397,8	
Электрический КПД ГТУ, %	33,86	35,74	30,44	31,98	28,69	30,25	26,77	27,97
Изменение КПД с изменением температуры, %	+ 5.17	+ 5,49	+ 1,75	+ 1,73	—	—	- 1,92	- 2.28

Исходя из данных, полученных при расчетах, были сделаны следующие выводы. При увеличении температуры от -15°C до +30°C уменьшается расход рабочего тела через компрессор и камеру сгорания соответственно, вследствие чего уменьшается расход топлива: на 23,28 % для природного газа и для дизельного топлива на 23,31 % (рис.1,а). Эта зависимость линейная и изменяется с шагом примерно в 1 кг/с на каждые 15 °C.

Так же с понижением температуры меняется нагрузка на различные элементы ГТУ. Если отступать от установленных правил и режимов работы, то можно вызвать разрушение турбин, поломку компрессоров, взрывы в камерах сгорания. Чем ниже температура наружного воздуха, тем выше значения степени сжатия воздуха в компрессоре а, следовательно, и выше КПД всей установки (рис.1,б). То, что коэффициент полезного действия у дизельного топлива больше чем у газового обуславливается тем, что мощность ГТУ при работе на жидком

топливе хоть и меньше, чем при работе на природном газе, но она достигается при сжигании топлива с более низкой калорийностью.

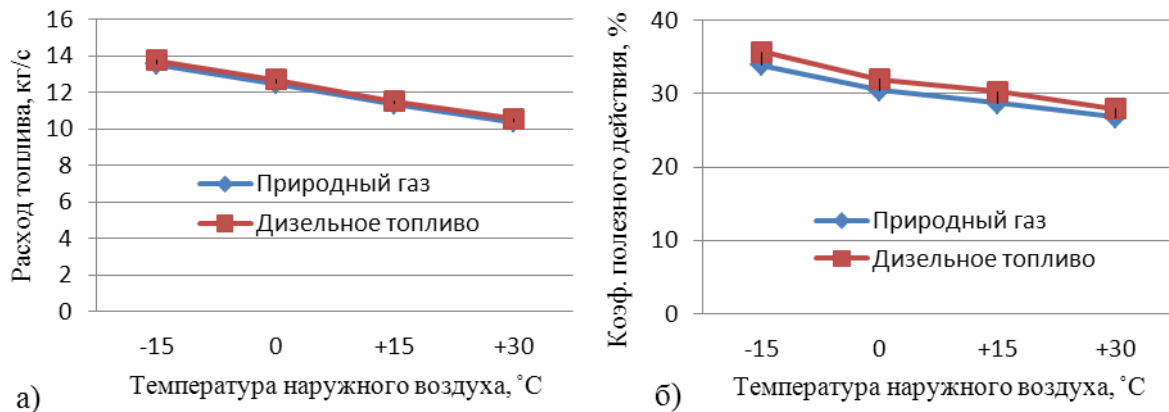


Рисунок 1 – Зависимости изменения а) расхода топлива; б) коэффициента полезного действия от температуры наружного воздуха

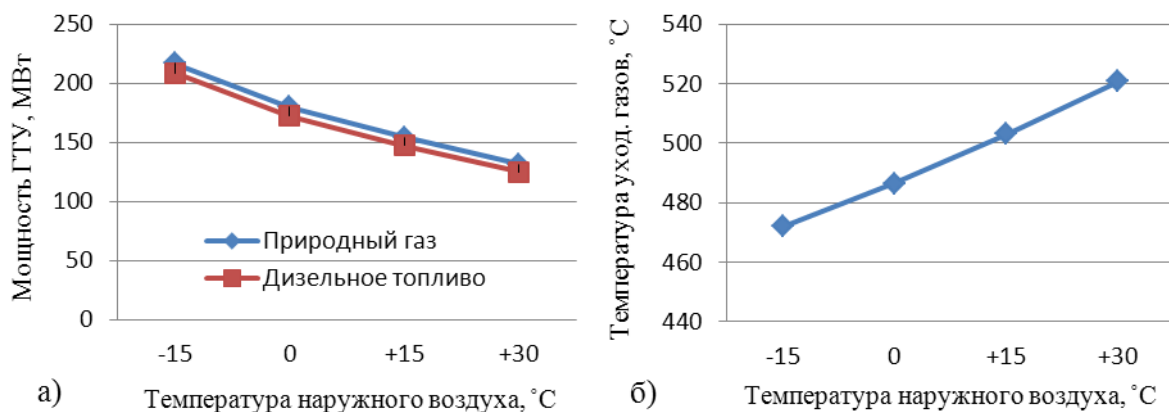


Рисунок 2 - Зависимость изменения а) мощности; б) температуры уходящих газов от температуры наружного воздуха

В сравнении с расчетным режимом при температуре в -15 °C наблюдается повышение мощности на 28,81 % для природного газа и на 29,29 % для дизельного топлива, а при температуре +30°C мощность установки понизится на 14,86 % для газового топлива и на 15,12 % для жидкого топлива (рис.2,а).

С увеличением температуры наружного воздуха увеличивается температура газов после газовой турбины (рис.2,б), что целесообразно использовать в парогазовом цикле путем утилизации теплоты уходящих газов в котле-утилизаторе. Кроме того температуру забираемого из атмосферы воздуха можно изменять в зоне высоких положительных температур, что позволяет улучшить характеристики ГТУ. Относительно простое решение это размещение во входном канале воздухозаборного устройства после воздушных фильтров испарительного охладителя или теплообменной поверхности специального холодильного агрегата.

Литература

1. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и паросиловые установки тепловых электростанций, под ред. Цанева С.В. – 3-е изд., М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 584 с.;
2. ISO 2314:2009 Gas turbines — Acceptance tests, Publication date: 2009-12, ICS 27.040, пункт 3.9

И.А. Кабанова, к.т.н., доц., Е.В. Безфамильная, студ.

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИИ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ВОЗДУХА

В статье рассматриваются вопросы применения и оценки эффективности рециркуляции воздуха в системах вентиляции. Выполнены исследования влияния параметров наружного и внутреннего воздуха при различных схемных решениях на количество утилизируемой теплоты для различных объектов.

Ключевые слова: система вентиляции, микроклимат, воздухообмен, рециркуляция, калорифер.

Микроклимат в помещениях промышленных, общественных и жилых зданий должен обеспечивать человеку возможность длительного времени нахождения в них и выполнения необходимой работы, не испытывая при этом дискомфорта. Комфортный микроклимат создается при определенных сочетаниях параметров воздушной среды в помещениях. Наибольшее влияние на самочувствие человека оказывают температура, относительная влажность и скорость движения воздуха; содержание в воздухе пыли, токсических паров, газов, аэрозолей; температуры обращенных в сторону человека поверхностей технологических аппаратов и ограждений помещения. Для компенсации отклонений параметров микроклимата от их комфортных сочетаний помещения оборудуются энергетическими системами: отопления, вентиляции и кондиционирования. Работа данных систем сопряжена со значительными затратами теплоты, электроэнергии, воды и холода.

В настоящее время в холодный период года в современных зданиях расходуется около 25-50% тепла на нагрев приточного воздуха [1]. В теплый период года в зданиях, которые оборудованы системами кондиционирования воздуха теплоизбытки уменьшаются благодаря охлаждению приточного воздуха.

Системы вентиляции помещений подразделяются на несколько типов. Наиболее распространена естественная вентиляция, при которой приток и отток воздуха проводится через вентиляционные шахты, открытие форточки и окна, а также сквозь щели и неплотности конструкции. В основном данные системы имеют место в зданиях жилой и административной застройки, повышение эффективности работы данных систем может быть обеспечено за счет установки специальных приточных клапанов, приточно-вентиляционных установок и монтажа сплит-систем кондиционирования. Принудительная вентиляция в отличие от естественной в независимости от изменений условий наружного воздуха обеспечивает:

- любую необходимую кратность обмена воздухом;

- подачу в помещение наружного воздуха, очищенного в фильтрах и подогретого в калориферах;
- равномерное вентилирование всего объема помещений, без образования застойных зон.

Экономия теплоты в данных системах становится возможной благодаря рециркуляции воздуха и утилизации теплоты вентиляционных выбросов.

Наиболее простым, доступным и дешевым, способом утилизации теплоты вентиляционных выбросов является рециркуляция воздуха, осуществление которой возможно по двум вариантам (рисунок 1).

По варианту, соответствующему рис.1,а, наружный воздух смешивается с рециркуляционным (луч НУ), затем смесь (т.С) подогревается в калорифере (луч СП), приточный воздух (т.П) подается в помещение, где изменяет свое состояние, поглощая тепло и влагу (луч ПВУ). По варианту на рисунке 1,б наружный воздух подогревается в калориферах (луч НН'), затем смешивается с рециркуляционным (луч Н'У) и полученная приточный воздух (т.П) подается в помещение.

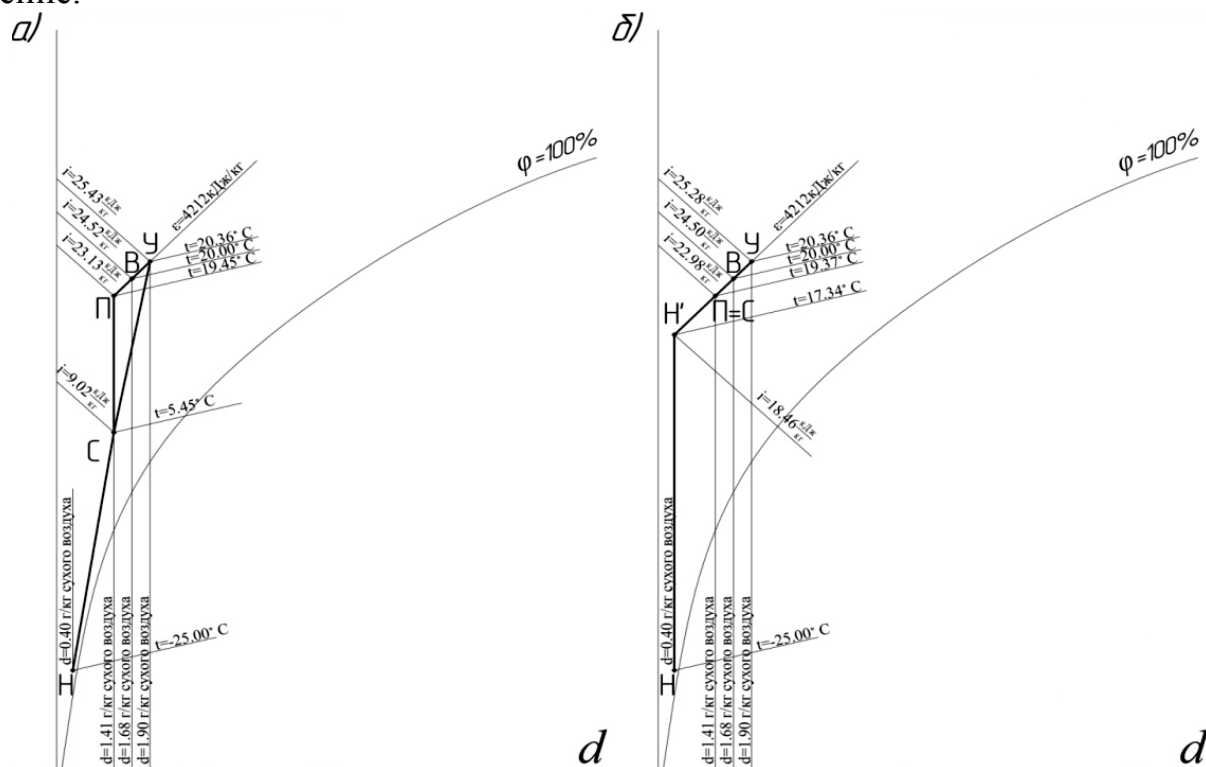


Рисунок 3 – Процессы обработки воздуха в системе вентиляции с рециркуляцией при смешении: а) до калорифера, б) после калорифера

Наиболее часто применяется система с рециркуляцией при смешении до калорифера. Ее основное преимущество заключается в том, что она позволяет при закрытии клапана наружного воздуха осуществлять 100% рециркуляцию, используя вентиляционную систему в режиме воздушного отопления.

Система с рециркуляцией при смешении после калорифера применяется в том случае, если непосредственное смешивание наружного воздуха и рециркуляционного приводит к выпадению конденсата.

Избежать образование конденсата позволяет некоторое усложнение системы, при этом сохраняется возможность работы системы в режиме 100% рециркуляции. Этот пример возможно осуществить при использовании смешанного варианта рециркуляции с двухступенчатым нагревом воздуха: предварительный подогрев наружного воздуха (1-й подогрев) и окончательный нагрев смеси (2-й подогрев).

Расход теплоты на нагревание воздуха в калориферах при этом определяется по формулам [2]:

– вариант на рис.1,а

$$Q = c_p \cdot G \cdot (t_n - t_c) \quad (1)$$

– вариант на рис.1,б

$$Q = c_p \cdot G_n \cdot (t_{n'} - t_n) \quad (2)$$

где G – расход приточного воздуха (кг/ч);

$$G = G_n + G_p \quad (3)$$

G_n – расход наружного воздуха (кг/ч);

G_p – расход рециркуляционного воздуха (кг/ч);

c_p – удельная теплоемкость (Дж/(кг·К));

$t_n, t_{n'}, t_c, t_{п}$ – температуры наружного воздуха, в точке смешения с рециркуляционным, после калорифера и приточного воздуха (°C).

Эффективность утилизации теплоты при рециркуляции зависит от параметров наружного и внутреннего воздуха, а также в значительной степени количеством приточного воздуха, принимаемого по санитарным нормам для различных производственных условий труда, причем рециркуляцию удаляемого воздуха можно применять только в производственных помещениях, где выделяются вредные вещества 4-го класса опасности [3].

В рамках работы был выполнен анализ эффективности работы систем вентиляции с рециркуляцией воздуха при изменении количества рециркуляционного воздуха и параметров наружного воздуха. В качестве объекта исследования принято общественное здание с требуемым воздухообменом $G=18250$ кг/ч при параметрах наружного воздуха: $t_n = -25^\circ\text{C}$, $\phi_n=86\%$, воздуха внутри помещений $t_b = 20^\circ\text{C}$. (таблица 1)

Таблица 1 - Оценка эффективности рециркуляции воздуха

Параметры	Процент рекуперации воздуха (G_p/G), %						
	67	57	47	37	27	17	7
Q , кВт	236,3						
G_p , кг/ч	12250	10402,5	8577,5	6762,5	4927,5	3102,5	1277,5
Q_p , кВт	71,4	93,3	114,8	136,2	157,13	178,8	201,6

В результате расчетов было отмечено, что затраты теплоты на подогрев воздуха по представленным схемам практически одинаковы с расхождением до

1% и дают значительный эффект в экономии теплоты (табл.1). Ограничения на допустимую величину рециркуляции воздуха могут быть наложены производственными условиями и требованиями по количеству свежего воздуха на одно рабочее место. Для более полного анализа необходимо выполнить технико-экономическое сопоставление вариантов.

Кроме того, исследования показали, что в процессе работы системы в соответствии с рис.1а параметры точки смешения в значительной степени зависят от параметров наружного воздуха и влажности воздуха внутри помещения. Так для помещений с высокой степенью влажности, например, $\varphi=60\%$ и выше, что характерно, например, для бассейнов, данный вариант неприемлем, т.к. точка С может оказаться ниже кривой насыщения $\varphi = 100\%$. Это приведет к выпадению конденсата и его дальнейшему замерзанию на стенках смесительной камеры, поэтому для избежания обмерзания смесительной камеры необходимо предварительно подогревать наружный воздух или осуществить предварительную осушку удаляемого воздуха.

Для бассейнов необходимое количество приточного наружного воздуха определяется условием, при котором влагосодержание воздушной смеси будет равно влагосодержанию приточного воздуха. Это обусловлено, прежде всего, спецификой микроклимата плавательных бассейнов, а также климатическими условиями района строительства бассейна: в холодный период года наружный воздух имеет достаточно низкое влагосодержание, и подогретый воздух перед подачей в помещение необходимо увлажнять. Поскольку помещение бассейна характеризуется наличием больших избытков влаги, для увлажнения подогретого воздуха можно применить рециркуляцию.

Возможно применение рециркуляции двумя способами. В первом наружный воздух сначала подогревается до требуемой температуры, затем используется рециркуляция для увлажнения воздуха. В другом случае возможно применение рециркуляции после подогрева воздуха до такой температуры, чтобы прямая, описывающая процесс рециркуляции не пересекала кривую $\varphi=100\%$, иначе необходимо предусматривать отвод конденсата. После рециркуляции воздух дополнительно подогревается до температуры притока (рис.2).

При рассмотрении вопроса рециркуляции воздуха в плавательных бассейнах в качестве объекта исследования был рассмотрен плавательный бассейн площадью помещения 480 м^2 , объем помещения – 4320 м^3 по климатическим параметрам г. Смоленска. Предварительный расчет позволил определить расход приточного наружного воздуха в количестве $43971 \text{ м}^3/\text{ч}$:

Минимально необходимый расход приточного воздуха при этом влагосодержании обеспечивается.

Экономия энергии, полученная в результате применения рециркуляции при низких температурах наружного воздуха, определяется по формуле (4):

$$Q_o = G_n \cdot \rho_{см} \cdot (i_c - i_k) \quad (4)$$

где: G_n — расход наружного воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$\rho_{см}$ — плотность воздушной смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$;

i_c, i_k — удельная энтальпия воздушной смеси и воздуха после подогрева в калорифере соответственно, кДж/кг.

Экономия тепла при использовании рециркуляции в первом случае $Q_{p1} = 363 \text{ кВт}$. Расход тепла на подогрев воздуха до параметров приточного составил $Q_{з1} = 639 \text{ кВт}$.

Во втором случае экономия теплоты $Q_{p2} = 706 \text{ кВт}$. Затраты на подогрев воздуха будут включать в себя затраты на подогрев воздуха до его смешения и на его догрев после рециркуляции: $Q_{з2} = 285 \text{ кВт}$.

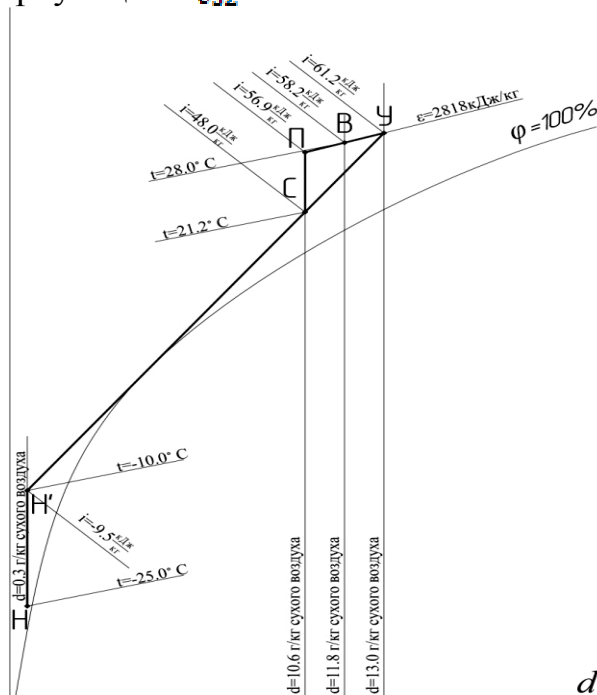


Рисунок 2 – Процессы обработки воздуха в системе вентиляции с рециркуляцией для бассейна

Таким образом, применение второго варианта компоновки системы вентиляции с рециркуляцией для бассейна позволяет экономить до 50 % теплоты, но при этом требуются большие капитальные затраты на реализацию проекта.

Применение рециркуляции позволяет только частично сократить затраты на подогрев наружного воздуха, при больших расходах воздуха ее использование целесообразно совместно с другими энергосберегающими мероприятиями. Кроме того, если в удаляемом воздухе содержатся вредные вещества 1, 2 и 3 класса опасности, рециркуляция воздуха невозможна. В таких случаях целесообразно использовать теплоту вентиляционных выбросов в утилизационных рекуперативных или регенеративных теплообменных аппаратах.

Литература

1. Ананьев В.А. Системы вентиляции и кондиционирования . теория и практика / В.А. Ананьев, Л.Н. Балужева, А.Д. Гальперия. – М.: Евроклимат, 2001.- 416 с.
2. Антонов П.П. Методика расчета микроклимата в помещениях плавательных бассейнов, М.: - «Мир климата», спецвыпуск «Проектировщику», 2010.-32 с.
3. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. М.: Минрегион России, 2012.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ С ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКОЙ

В статье рассматривается возможность применения тепловых насосов типа «воздух-воздух» в системах кондиционирования для отопления в холодный период года. Приведен сравнительный анализ воздушных систем отопления.

Ключевые слова: теплонасосная установка, источник низкопотенциальной теплоты, коэффициент использования теплоты, электрический воздушнонагреватель.

За последнее время существенно расширилось применение тепловых насосов для вентиляции и кондиционирования воздуха, которые являются универсальным климатическим оборудованием. Данные системы занимают немного места, но при этом работают стабильно, не вызывают шума и не приводят к колебаниям температуры и влажности в помещении.

В холодный период года тепловые насосы можно использовать в режиме нагрева, в теплый период – в режиме охлаждения. Для реализации работы теплового насоса необходимо обладать низкопотенциальным источником теплоты (НПИТ), который дает возможность эффективно отводить холод от испарителя. В конденсаторе, при помощи фазового перехода горячего рабочего агента, теплота конденсации отводится для нагрева воздуха в помещении.

Когда температура воздуха становится ниже 0°C показатель преобразования электроэнергии в теплоту уменьшается из-за снижения температуры кипения хладагента. По данным производителей, теплонасосная установка (ТНУ) эффективно работает до температур наружного воздуха -10°C .

Для районов России, находящихся в умеренной климатической зоне, наружный воздух не может быть использован в качестве источника низкопотенциальной теплоты, и система кондиционирования с ТНУ является неэффективной.

Для того, чтобы эта система стала энергетически эффективной, стоит добавить вне её устройство, повышающее температурный потенциал воздуха на входе в аппарат ТНУ. Многие специалисты советуют помещать в вентиляционном канале электронагреватель, увеличивающий температуру наружного воздуха. Тем не менее, применение электричества для отопления имеет показатель преобразования энергии (КОП) равный (или меньший, с учётом мощности вентилятора) единице. Поэтому во время проектирования систем данного вида рассматривается возможность использования температурного потенциала вентиляционных выбросов -утилизации теплоты воздуха, устраняемого из помещения. Для этого в систему вместо электронагревателя (рис.1) включают теплообменники-утилизаторы разного рода конструкций.

Целью исследования является сравнение эффективности систем воздушного отопления с использованием:

1. электрического подогрева (тип А);
2. электроподогрева и теплонасосной установки (тип Б);

3. утилизатора стандартной конструкции и теплонасосной установкой (тип В).

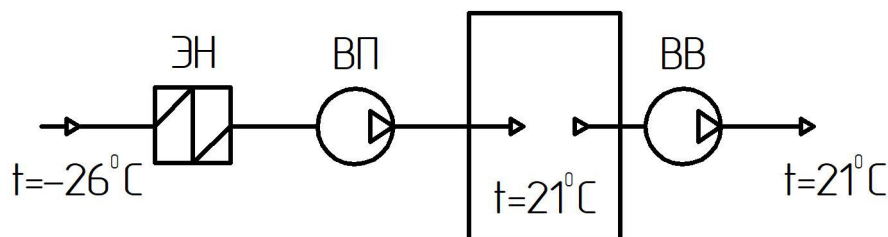


Рисунок 1 – Система кондиционирования с использованием электрического воздушонагревателя:

ЭН – электрический воздушонагреватель ВП – вентилятор приточный; ВВ – вентилятор вытяжной

В качестве критерия оценки был выбран коэффициент использования теплоты (КОП), который с удовлетворительной степенью точности показывает, какое количество теплоты получаем, затратив 1 кВт энергии (например, электрической) [1].

В качестве исходных данных были приняты следующие величины:

- расход воздуха в системе $v_{в1} = 1,11 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;
- температура воздуха на входе в конденсатор ТНУ $T'_{в2} = 21^\circ \text{C}$;
- температура воздуха на выходе из конденсатора ТНУ (на притоке) $T''_{в2} = 35^\circ \text{C}$
- расчётная температура наружного воздуха $T^p_{н} = -25^\circ \text{C}$.

1.Электронагреватель повышает температуру воздуха от наружной расчётной -25°C до 25°C . Воздух с такой температурой подаётся в помещение.

Мощность такого прибора равна:

$$N_{эл.н1} = V_{в1} \cdot c_p \cdot \rho_v (T''_{в2} - T^p_{н}) \quad (1)$$

КОП₁ в этом случае будет ниже единицы, т.к. энергия затрачивается на привод вентиляторов.

Кроме того, необходимо дополнительно увлажнять воздух в помещении.

2.Электрический воздушонагреватель будет применяться для нагрева наружного воздуха от температур -25°C до температуры $T'_{в1} = -8^\circ \text{C}$ (согласно [2] работа ТНУ эффективна, начиная с этой температуры). Мощность электронагревателя определяется по формуле:

$$N_{эл.н2} = V_{в1} \cdot c_p \cdot \rho_v (T'_{в1} - T^p_{н}) \quad (2)$$

Далее включается теплонасосная установка (схема представлена на рис. 2), которая согласно каталожным данным [3] даёт тепловую мощность в количестве $N_{ТНУ} = 11 \text{ кВт}$. Типоразмер ТНУ выбран исходя из производительности по воздуху.

Поскольку температура воздуха на притоке должна быть 35°C , то необходимо дополнительно установить второй электронагреватель, мощностью

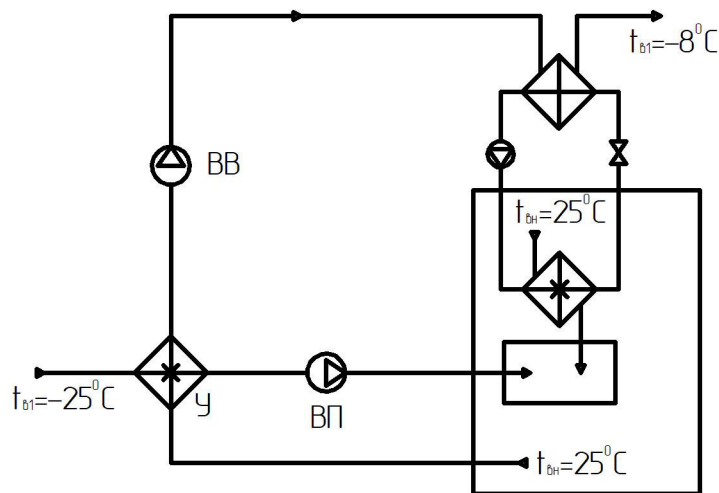


Рисунок 2 – Система кондиционирования с двухступенчатой утилизацией теплоты удаляемого воздуха: У – утилизатор, ВП – вентилятор приточный; ВВ – вентилятор вытяжной

$$N_{\text{эл.н2}}^* = N_{\text{эл.н1}} - N_{\text{эл.н2}} - N_{\text{ТНУ}} \quad (3)$$

$$\text{КОП}_2 = \frac{Q_{\text{Т}}}{N_{\text{к}} + N_{\text{эл.н1}} + N_{\text{эл.н2}}} \quad (4)$$

Как видно из расчёта, данная схема явно неэффективна из-за низкого значения КОП теплонасосной установки.

Поэтому рациональнее установить перед теплонасосной установкой электронагреватель мощности большей, чем $N_{\text{эл.н2}}$, подняв тем самым температурный потенциал наружного воздуха на входе в ТНУ.

3. Специальный утилизатор нагревает наружный воздух с температурой -25°C до температуры $T_{\text{в2}}''' = -3^\circ\text{C}$ (при заданной эффективности $\varepsilon_{\text{yt}} = 0,5$). При этом количество теплоты, переданное наружному воздуху равно:

$$Q_{\text{yt.ст.}} = V_{\text{в1}} \cdot c_p \cdot \rho_{\text{в}} (T_{\text{в2}}''' - T_{\text{н}}^{\text{п}}) \quad (5)$$

Мощность теплонасосной установки вырастет до 12,5 кВт.

Тогда мощность дополнительного электрического воздушонагревателя составит:

$$N_{\text{эл.н3}} = N_{\text{эл.н1}} - N_{\text{эл.н2}} - N_{\text{ТНУ}} \quad (6)$$

$$\text{КОП}_2 = \frac{Q_{\text{Т}}}{N_{\text{к}} + N_{\text{эл.н3}}} \quad (7)$$

Расчёт показал, что при установке утилизаторов, коэффициент преобразования энергии существенно возрастает. Установка электроподогрева до утилизатора теплоты позволит решить проблему обмерзания теплообменного оборудования при отрицательных температурах наружного воздуха и, как в предыдущем случае, повысить температуру на входе в теплонасосную установку

(увеличить её мощность). Однако такая конструкция снизит эффект от применения утилизатора.

Результаты сравнительного анализа эффективности систем воздушного отопления представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнительного анализа

Тип системы воздушного отопления	Тип А	Тип Б	Тип В
Мощность первого эл. нагревателя $N_{эл.н1}$, кВт	67	23	24,5
Мощность второго эл. нагревателя $N_{эл.н2}$, кВт	-	33	-
КОП	<1	1,1	2,4

Таким образом, как с энергетической, так и с экономической точек зрения, непосредственный электрический обогрев является наименее выгодным.

Применение теплового насоса существенно повысит коэффициент преобразования теплоты, а установка теплообменника-утилизатора позволит поднять его величину примерно в 2÷2,5 раза относительно электрического обогрева.

Литература

1. Ананьев В.А., Балуева Л.Н., Гальперин А.Д. и др. Системы вентиляции и кондиционирования. //Теория и практика. Учебное пособие - М.: Евроклимат, издательство Арина, 2000. - 416 с.
2. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с Изменением N 2)
3. Каталог фирмы «Carrier», 2015.

О.Г. Казаков, к.х.н., проф.; А.А. Малаханов, к.т.н., доц.; А.В. Радьков, асп.
(Брянский государственный технический университет)

ПРОБЛЕМА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН

В статье рассмотрены проблемы повышения качества кремниевых пластин, в частности механической прочности. В этой связи, механическая прочность во многом обусловлена образованием и развитием трещин при механической обработке.

Ключевые слова: качество, полупроводниковые приборы, кремниевые пластины, механическая прочность, трещины, механические напряжения.

Современные силовые полупроводниковые приборы включают в себе пространственные и линейные элементы, которые работают в условиях статических и динамических напряжений. Одним из основных материалов на данный момент для изготовления таких приборов является кремний (пластины кремния). Большое число пластин, более 50 процентов которых, не выдерживают весь технологический цикл и разрушаются. Одними из свойств пластин, которое влияет на их качество, является механическая прочность, на которую могут оказывать влияния поверхностные и внутренние дефекты – трещины, микровключения, дислокации.

Первые работы в области распространения трещин в деформируемом твердом теле относятся к работам Гриффитса, в которых развивалась идея об учете сил межчастичного сцепления в тупиковой части трещин. Это позволило ему сформулировать энергетический метод определения предельно равновес-

ного состояния хрупкого тела с трещиной и впервые найти решение задачи о разрушающей (предельной) нагрузке ($\sigma = \sigma_*$) для тела с изолированной прямолинейной трещиной [1].

$$\sigma_* = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi l}},$$

где E – модуль Юнга; γ – плотность эффективной поверхности энергии материала, l – длина трещины.

В дальнейшем на основе идей Гриффитса эту проблему развивали в своих работах следующие ученые: Сак, Эллиот, Ирвин, Орован, Панасюк и др. [2-4].

Сак применил энергетический метод Гриффитса для решения пространственной задачи о разрушении хрупкого тела, ослабленного макроскопической дискообразной трещиной, когда тело подвергнуто на бесконечности растяжению полем однородных напряжений σ , направленных перпендикулярно к плоскости трещины. Вычислив упругую энергию $W(a, p)$ трещины при действии напряжений σ и применив энергетический принцип Гриффитса, Сак установил следующую формулу для определения значений предельных напряжений:

$$\sigma_* = \sqrt{\frac{\pi E \gamma}{2(1 - \nu^2) a'}}$$

где a – радиус трещины, ν – коэффициент Пуассона.

Эллиот обобщил задачи Гриффитса и Сака без привлечения энергетической теории. Вместе с вычислением предельных значений ($\sigma = \sigma_*$) была сделана попытка определить структуру края трещины. При решении задач о распространении трещин в твердом деформируемом теле Эллиот неоправданно пренебрег силами межчастичного притяжения между берегами развивающейся трещины по всей ее поверхности. Расстояние между берегами тупиковой части раскрывающейся трещины соизмеримо с межатомными расстояниями, поэтому в этой части трещины действуют еще силы межчастичного сцепления достаточной величины, которые, естественно, должны быть учтены при рассмотрении предельно равновесного состояния тела. Таким образом, распределение напряжений и смещений в окрестности тупиковой части трещины может существенно отличаться от соответствующих распределений, полученных Эллиотом.

Техническая прочность реальных макроскопических твердых тел отличается от теоретической (на два – три порядка ниже) из-за наличия дефектов структуры реальных макроскопических тел. Реальные твердые тела, как правило, неоднородны. В структуре таких тел всегда имеются различные дефекты: скопления дислокаций или вакансий, границы блоков или зерен, различные включения, поры, трещины и т. п. Дефекты возникают при образовании твердого тела из жидкого состояния и в процессе его деформации. Из-за неоднородности материала в областях, где расположены дефекты, происходит концентрация внутренних напряжений, в результате чего в отдельных областях тела внут-

рение напряжения достигают величины теоретической прочности, хотя средние значения напряжений сравнительно малы. Это приводит к тому, что в перенапряженных областях деформируемого твердого тела образуются мельчайшие трещины (локальное разрушение).

Появление мельчайших трещин в объеме деформируемого тела еще не означает, что исчерпана его несущая способность. Как показывают опыты, сопротивление такого тела воздействию внешней нагрузки сохраняется до некоторых пределов и после появления мельчайших трещин. Отсюда следует, в частности, то принципиальное научное и практическое значение, которое имеет разработка теории развития дефектов типа трещин в деформируемом теле, а также методов определения сопротивляемости материала развитию в нем трещины.

Наряду с поверхностными дефектами кремниевые пластины имеют остаточные напряжения, которые обусловлены технологией выращивания кремниевого слитка, а так же технологическими операциями их обработки. В данном случае рассматриваются напряжения I рода (макронапряжения).

Механические напряжения в кремниевых пластинах, причем значительные, возникают на первых стадиях технологического процесса изготовления пластин (резка слитка на пластины, шлифовальная и полировальная операции). Пластины со значительными остаточными напряжениями будут иметь низкую механическую прочность, и, следовательно, могут разрушиться при последующих технологических операциях (диффузии, окислении, эпитаксии и т.д.), поскольку они приводят к появлению дополнительных остаточных напряжений.

Процессы диффузии, окисления, эпитаксии обычно проводятся при высоких температурах. При этом они обычно сопровождаются образованием на поверхности полупроводниковых пластин слоев материалов, обладающих другими физико-механическими свойствами, нежели материал пластины. Различие в коэффициентах линейного расширения материалов приводит к тому, что при охлаждении пластина оказывается в напряженном состоянии.

Распределение напряжений и деформаций в многослойной системе зависит от совокупности конструктивных и технологических факторов и имеет довольно сложный характер. Обычно напряженное состояние подразделяется на двухосное и трехосное состояние. Двухосное напряженное состояние обусловлено в основном структурными и термическими напряжениями, возникающими в слоях в процессе их образования или после его окончания. Трехосное напряженное состояние возникает в микролокальных областях возле различного рода дефектов (трещин, пор, микровключений и скоплений дислокаций и т.д.).

При загрузке кремниевых пластин в термокамеру для соответствующей обработки или выгрузки из нее, за счет эффекта теплоизлучения возникает определенное распределение температур между центральной частью пластины и их периферийными участками. Возникающие при этом термические напряжения являются причиной пластических деформаций. На распределение температур и характер термических напряжений может влиять диаметр пластин, число пластин в партии, расстояние между ними, теплоемкость устройства, в которой

находятся пластины, и режимы термической обработки (температура, распределение температуры в окружающем устройстве пространстве, скорость загрузки пластин в камеру и скорость выгрузки).

Как отмечалось выше, значительные остаточные напряжения возникают в кремниевых пластинах в результате механической обработки. В этой связи они будут иметь более низкую прочность и могут разрушиться при последующих операциях.

Литература

1. Griffith, A.A. The phenomenon of rupture and flow in solids/A.A.Griffith //Phil. Trans. Roy. Soc.– 1920, ser. A.–1920.– № 221. – P. 163 – 198.
2. Irvin, G.R. Fracture Mechanics/ G.R.Irvin // Structural mechanics: Proc. Ist Symp. naval structural mechanics. – 1960.– P 557 –591.
3. Orowan, E. O. Fatigue and Fracture of metals/ E.O.Orowan, N. Y. Wiley: – 1950. – P. 139 – 167.
4. Панасюк, В.В. Предельное равновесие хрупких тел с трещинами /В.В. Панасюк – Киев.: Наукова думка. – 1968.– 246 с.

*В.А. Ковалева, маг., В.А. Михайлов, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОЦЕНКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

В статье рассматриваются проблемы реализации отходов деревообрабатывающих производств для получения вторичных энергоресурсов.

Ключевые слова: котел, энергосбережение, деревообрабатывающее производство.

Деревообрабатывающие производства характеризуется достаточной энергоемкостью на единицу продукции, относительно большими затратами человеческого труда и большим процентом отходов относительно от входного материала.

Пути энергосбережения в данном производстве находятся в утилизации отходов и получении вторичных энергоресурсов, которые возможно и необходимо направить в производство. К таким вторичным энергоресурсам относятся: тепло, холод и электроэнергия.

Первый наиболее традиционный способ сжигание отходов (а они в основном древесные) в водогрейных котельных с получением тепловой энергии направляемых на нужды отопления. Данный способ требует минимальных инвестиций на модернизацию котла и имеет минимальный срок окупаемости (полгода). Однако в летний период тепловая нагрузка не требуется и древесные отходы придется складывать. Прямое сжигание отходов следует считать недостаточно экономичным способом.

В настоящее время развивается направление мини-ТЭЦ, т.е. выработка тепловой и электрической энергии, тем самым увеличивается экономический и термодинамический эффект преобразования. Основных способов мини-ТЭЦ – четыре. Наиболее употребляемым для рассмотрения случая перевода водогрейной котельной в режиме мини-ТЭЦ. Данный вариант в инвестиционном

плане более затратный, но имеет цену тепловой энергии примерно в три раза меньше от централизованного поставщика. Цена электроэнергии получается в два раза ниже системной цены. Сроки окупаемости больше первого варианта и составляют от трех до пяти лет.

Ниже представлены результаты расчетов по преобразованию водогрейных котлов со снижением древесных отходов в мини-ТЭЦ.

Анализ эффективности работы современных энергетических паровых котлов показывает, что эксергетический КПД достигает порядка 0,67, а коэффициент использования топлива (КИТ) может достигать величины около 96% при условии утилизации теплоты дымовых газов.

КПД современных котлов, используемых в промышленной теплоэнергетике, составляет 0,3-0,4 для паровых и 0,25-0,3 в зависимости от температурного графика для водогрейных котлов.

В последнее время появились и реализованы проекты, направленные на повышение КПД паровых промышленных котлов, отпускающих на производство пар с давлением, значительно меньше номинального, путем замены редуцирующего устройства (РУ) на противодавленческую турбину.

Перевод водогрейных котлов на комбинированную выработку позволит производить перегретый пар давлением до 16 атм для водогрейных котлов мощностью менее 30 Гкал/ч, и давлением 23 атм для котлов большей мощности. Использование пара для выработки электроэнергии повысит КПД водогрейных котлов, работающих в комбинированном режиме, на 18%.

Вариант комбинированной выработки пара и горячей воды на базе водогрейных котлов предусматривает разделение конвективной шахты на паровую и водогрейную части, при этом в парообразующие контуры включаются экраны и в контуре устанавливаются три выносных циклона.

Следующий путь утилизации отходов - построение газогенераторного цикла переработки древесных отходов с дальнейшим сжиганием генераторного газа в газопоршневом двигателе. Способ фактически реализует схему мини-ТЭЦ, незаслуженно забыт и его стоит рассмотреть. По некоторым данным литературы сроки окупаемости таких проектов, так же составляют порядка трех лет. Способ может быть доработан использованием бросового тепла газогенераторной установки. Следующий более интересный способ утилизации – это разработка тригенерационных технологий. Под этим подразумевается комбинирование электрической, тепловой энергии и холода. Этот способ является наиболее эффективным с точки зрения повышения коэффициента использования топлива и решения экологических проблем. В настоящее время считается наиболее удачными системами с использованием термопреобразователя абсорбционного типа.

Краткая характеристика такой схемы :

В пароводяном отопительном теплообменнике такой установки отработавшие в турбине водяные пары отдают теплоту воде из тепловой сети, которая затем снова направляется в теплосеть. Параметры воды на входе и на выходе из теплообменник: $t_{вх}=70^{\circ}\text{C}$, $t_{вых}=90^{\circ}\text{C}$. Установленный котлоагрегат работает на

древесных отходах. Электроэнергия в системе вырабатывается в противодавленной турбине Р-0,6-1,3/0,2 номинальной мощностью 600 МВт. Нагретая вода поступает в тепловую сеть также из котла-утилизатора. Предварительно она нагревается в конденсаторе абсорбционного трансформатора тепла, куда поступает из тепловой сети. Для системы выбран бромисто-литиевый агрегат с совмещенными процессами тепломассопереноса в абсорбере и одноступенчатой генерацией пара в генераторе. Он вырабатывает как теплоту, так и холод. В нашей стране данные установки не выпускаются и поэтому потребуются дополнительные работы по проектированию и производству таких систем.

По результатам расчета было установлено, что проектируемая мини-ТЭЦ способна полностью обеспечивать теплоснабжение деревообрабатывающего завода, а излишки вырабатываемой теплоты отдавать в общую тепловую сеть. Вырабатываемый холод может быть использован для создания комфортных условий работающего персонала. Отдавая часть выработанной теплоты в тепловую сеть, предприятие способствует сбережению столь необходимых не возобновляемых энергетических ресурсов, затрачиваемых в котельных при теплоснабжении населения.

Но внедрение таких установок с тепловыми насосами в России на данный момент происходит медленно, так как ТНУ в стране практически не производится, а импортируемые установки достаточно дороги.

При энергоснабжении объектов, имеющих неравномерные и несогласованные графики потребления электрической и тепловой энергии, возникают проблемы, такие как низкая степень загрузки оборудования мини-ТЭЦ на протяжении суток и года, его вынужденное использование в частичных режимах, иногда с получением лишь одного вида энергии, дублирование оборудования, установка согласующих тепловых и электрических аккумуляторов. Это требует значительных капитальных вложений, медленно окупаемых вследствие заведомой неполноты использования установленного оборудования. Как правило, избыточным видом энергии в таких условиях является электрическая.

Решением данной проблемы является вариант энергоснабжения, предусматривающий возможность совместной работы мини-ТЭЦ и внешних сетей с обменом энергией между ними. В этом случае локальные мини-ТЭЦ отдают электроэнергию по индивидуальному графику и находятся под оперативным управлением со стороны регионального диспетчерского центра.

Внешний отпуск излишков энергии повышает коэффициент использования установленной мощности мини-ТЭЦ, что снижает инвестиционную составляющую издержек на получение единицы энергии. Более полная загрузка оборудования сокращает время вынужденной работы в режимах частичной нагрузки и выработки энергии по отдельной схеме, что приводит к уменьшению эксплуатационных производственных издержек. Наряду с этим реализация излишков энергии избавляет от выбора оборудования мини-ТЭЦ по величине соотношения тепловой и электрической мощности, вытекающего из специфики объекта энергоснабжения, что позволяет, в частности, применять оборудование

с большим значением теплофикационного коэффициента и соответственно электрическим КПД.

Поскольку все варианты предполагают в том или ином виде реализацию схемы мини-ТЭЦ, следует рассмотреть и решить вопрос снижения отрицательного эффекта от неравномерности графика потребления энергии в течение года. Критерием оптимизации этих вариантов будет нахождение наименьших ежегодных затрат на сооружение и эксплуатацию предполагаемых источников энергии тепловых и электрических сетей.

Литература

1. Клер А.М. Оптимизация развития и функционирования автономных энергетических систем. Новосибирск: Наука, 2001.
2. Бакластов А.М. Проектирование, монтаж и эксплуатация теплоиспользующих установок. М.: Энергоиздат, 1981.
3. Орехов И.И., Тимофеевский Л.С. Абсорбционные преобразователи теплоты. Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1989.

**К.К. Крутиков, к.т.н., доц; В.В. Рожков, к.т.н., доц.;
Бутримов С.Г., зам. начальника электроцеха, В.Н. Иванов, вед. инженер
(филиал ФБГОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске,
филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Смоленская атомная станция»)**

ДИАГНОСТИКА РАБОТЫ РЕЗЕРВНОГО ТРАНСФОРМАТОРА СОБСТВЕННЫХ НУЖД ПРИ ЗАМЫКАНИИ ФАЗЫ НА ЗЕМЛЮ

Рассмотрен несимметричный режим работы трансформатора собственных нужд АЭС в случае обрыва сетевого провода и падения его на землю, что в существующей системе защиты определяется затруднительно. На основании компьютерного моделирования и аналитических расчетов предлагается простой способ диагностики.

Ключевые слова: резервный трансформатор собственных нужд, несимметричные режимы, компьютерное моделирование, диагностика

При выводе в ремонт рабочего трансформатора собственных нужд (ТСН) питание собственных нужд САЭС номинальным напряжением 6.3 кВ возможно от резервного (РТСН) [1]-[2], который, в свою очередь, запитан по своей первичной стороне от энергосистемы.

Основными параметрами РТСН являются: полная мощность $S_n=63$ МВА; структура – трехобмоточная по схеме $Y(c \text{ нейтралью})/\Delta/\Delta$; напряжение питания первичной обмотки $U_{1л} = 330 \pm 12 \times 1\%$ кВ; напряжение питания двух вторичных обмоток $U_{2л1} = U_{2л2} = 6.3$ кВ; номинальный ток первичной обмотки $I_{1н} = 110$ А; напряжение короткого замыкания, в % - $U_k = 11\%$.

Одним из возможных опасных несимметричных режимов, требующих тонкой настройки релейной защиты, является обрыв фазы от РТСН с последующим замыканием на землю. При этом по обмоткам начинают протекать токи, превышающие номинальный, возникает значительный ток в нейтральном

проводе. Схема РТСН с измеренными во время реального инцидента токами фаз первичной обмотки и нейтрали приведена на рис.1.

Среди задач, возникающих в связи с вышеописанными проблемами, можно выделить следующие: аналитически рассчитать режим РТСН; современными средствами моделирования исследовать возникающий режим; произвести сопоставление и внести рекомендации по диагностике.

Схема модели показана на рис.2.

Она содержит сеть 330 кВ, модель трансформатора РТСН, имитатор замыкания на землю, высокоомную нагрузку РТСН, имитирующую холостой ход, приборы визуализации и контроля.

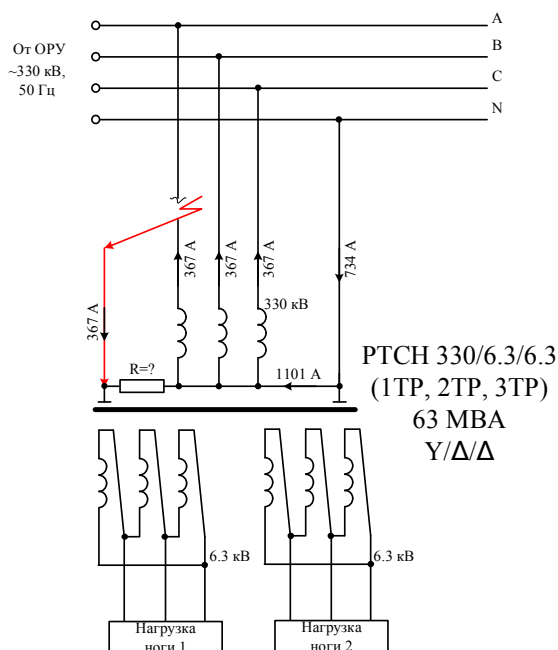


Рисунок 1 – Схема РТСН с измеренными токами

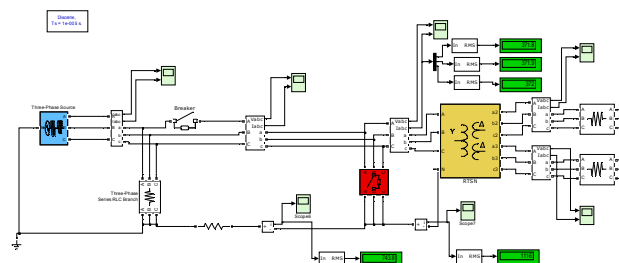


Рисунок 2 – Схема модели РТСН в *MatLab*

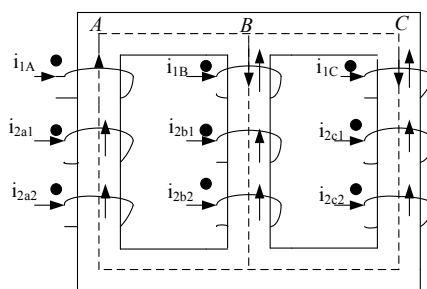


Рисунок 3 – Модель магнитной системы РТСН

Компьютерный эксперимент состоит в следующем: РТСН подключается к сети в нулевой момент времени и работает в режиме, близком к холостому ходу, во временном интервале до 0.3 с; в 0.3 с фаза со стороны РТСН обрывается; в 0.34 с (считаем, что 2 периода сети виртуальный провод «падает» на землю)

имитатор замыкания на землю соединяет эту фазу через некоторое сопротивление (в модели принято 50 Ом) с нейтралью сети.

Токи в модели близки к реальным: в фазах трансформатора 372 А (против 367 А измеренных в реальном опыте); в нейтрали звезды первичной обмотки трансформатора 1116 А (против 1101 А измеренных); в нейтральном проводе четырехпроводной сети энергосистемы 744 А (против 734 А измеренных).

Аналитически произвести расчет этого несимметричного режима гораздо труднее. При этом необходимо: 1) - для трехобмоточного трехфазного трансформатора с общей трехстержневой плоской магнитной системой (см. рис.3) по схеме Y/Δ/Δ определить параметры собственных и взаимных сопротивлений обмоток, расположенных: на одном стержне магнитной системы, на разных стержнях; 2) - составить уравнения электрического состояния для фаз первичной сети при соединении в «звезду» с выведенной нейтралью и каждого из треугольников вторичной сети в установившемся режиме холостого хода; 3) - решить полученные уравнения как в симметричном режиме, так и при различных неполнофазных и аварийных режимах.

Приближенная оценка реактивностей РТСН по паспортным данным.

В симметричном режиме холостого хода для каждой из фаз первичной сети 330 кВ при принятых положительных направлениях токов, разметке зажимов и указанных направлениях намотки на рис.3 справедливо:

$$U_A = I_{Ax} \cdot jX_{L1} + I_{Bx} \cdot jX_{MAB} + I_{Cx} \cdot jX_{MAC} \quad (1)$$

Далее можно учесть, что в симметричном режиме векторная сумма токов равна нулю.

Тогда в режиме холостого хода из (1) следует:

$$U_A = I_{Ax} (jX_{L1} + j \cdot |X_{MAB}|) \quad (2)$$

Примем рассеяние первичного поля между первичными обмотками на уровне 5%. Тогда

$$I_{1x} = \frac{U_1}{\sqrt{3} \cdot X_x} = \frac{U_1}{\sqrt{3} \cdot X_{L1} (1 + \frac{1}{2} k_{CB})}.$$

Далее можно задать в процентах от номинального ток холостого хода (для рассматриваемого трансформатора он составляет 1%, т.е. 1.12 А). Отсюда получается сопротивление холостого хода и его составляющие:

$$X_x = \frac{330 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1.12} = 190.8 \cdot 10^3 \text{ Ом}; \quad X_{L1} = \frac{X_x}{1 + 0.475} = 129.4 \cdot 10^3 \text{ Ом}.$$

Взаимные сопротивления фаз первичной обмотки – отрицательные, по модулю составляют:

$$|X_{MAB}| = |X_{MBC}| = |X_{MCA}| = 0.475 \cdot X_{L1} = 61.4 \cdot 10^3 \text{ Ом}.$$

Вторичные обмотки треугольников, расположенные на одноименных стержнях с первичными, при идеальной связи с ними имеют собственную реактивность:

$$X_{L2} \approx X_{L1} \cdot \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^2 = X_{L1} \cdot \left(\frac{U_{2\phi}}{U_{1\phi}} \right)^2 = X_{L1} \cdot \left(\frac{U_2 \cdot \sqrt{3}}{U_1} \right)^2 = 129 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{6,3 \cdot \sqrt{3}}{330} \right)^2 = 141 \text{ Ом.}$$

С учетом возможного (1-5)%-го рассеяния можно принять $X_{L2} = 139 \text{ Ом}$.

Взаимно-индуктивное сопротивление между первичными и вторичными обмотками, расположенными на общих стержнях, при малом рассеянии равно

$$X_{MAa} \approx 0,99 \sqrt{X_{L1} X_{L2}} = 4,19 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Это сопротивление – положительное. Взаимно-индуктивное сопротивление первичных и вторичных обмоток, расположенных на разных стержнях, отрицательны, поскольку их поля направлены встречно. Рассеяние этих полей - больше. По модулю эти сопротивления могут быть оценены как:

$$|X_{MAb}| = 0,97 \cdot \frac{1}{2} \sqrt{X_{L1} X_{L2}} = 2071 \text{ Ом.}$$

Взаимно-индуктивное сопротивление между двумя вторичными обмотками, расположенными на общем стержне, при малом рассеянии между ними можно оценить как: $X_{MAa} = 0,99 X_{L2} = 137,6 \text{ Ом}$.

Взаимно-индуктивное сопротивление двух вторичных обмоток, расположенных на разных стержнях, отрицательны:

$$|X_{Mab}| = 0,97 \cdot \frac{1}{2} \sqrt{X_{L2} \cdot X_{L2}} = \frac{0,97}{2} \cdot X_{L2} = 68,4 \text{ Ом.}$$

Уравнения Кирхгофа. Первичные обмотки.

Рассматривается режим с нулевым сопротивлением нейтрали, так что «смещение нейтрали» отсутствует. Тогда уравнения для каждой из трех фаз сети имеют вид:

$$U_A = I_{1A} \cdot jX_{L1} - I_{1B} \cdot j|X_{MAB}| - I_{1C} \cdot j|X_{MAC}| + I_{21} \cdot jX_{MAa} - I_{21} \cdot j|X_{MAb}| - I_{21} \cdot j|X_{MAc}| + \\ + I_{22} \cdot jX_{MAa} - I_{22} \cdot j|X_{MAb}| - I_{22} \cdot j|X_{MAc}| \quad (3)$$

Здесь влияние двух вторичных обмоток «Δ» показано отдельно. Принимая режимы холостого хода этих обмоток одинаковыми, можно индексы вторичных токов опустить, а их влияние на первичную сеть удвоить:

$$U_A = I_{1A} \cdot jX_{L1} - I_{1B} \cdot j|X_{MAB}| - I_{1C} \cdot j|X_{MAC}| + 2I_2 \cdot j(X_{MAa} - |X_{MAb}| - |X_{MAc}|) \quad (4)$$

$$U_B = I_{1B} \cdot jX_{L1} - I_{1A} \cdot j|X_{MAB}| - I_{1C} \cdot j|X_{MBC}| + 2I_2 \cdot j(X_{MBb} - |X_{MBa}| - |X_{MBC}|) \quad (5)$$

$$U_C = I_{1C} \cdot jX_{L1} - I_{1A} \cdot j|X_{MAC}| - I_{1B} \cdot j|X_{MBC}| + 2I_2 \cdot j(X_{MCc} - |X_{MCa}| - |X_{MBC}|) \quad (6)$$

Для каждого из вторичных «Δ» уравнение по его замкнутому контуру:

$$0 = I_{1A} \cdot j(X_{MAa} - |X_{Mab}| - |X_{Mac}|) + I_{1B} \cdot j(X_{MBb} - |X_{MBa}| - |X_{MBc}|) + I_{1C} \cdot j(X_{MCc} - |X_{MCa}| - |X_{MCb}|) + I_{21} \cdot j(3X_{L2} - 3|X_{Mab}| - 3|X_{Mac}|) + I_{22} \cdot j(3X_{Maa} - 3|X_{Mab}| - 3|X_{Mac}|) \quad (7)$$

Здесь в каждом из треугольников при последовательном соединении элементов фаз учитывается: взаимные напряжения от первичных токов на всех обмотках рассматриваемого «Δ», расположенных как на одноименных, так и разноименных стержнях с первичными обмотками; все собственные напряжения самоиндукции от «своего» тока; все взаимные напряжения на обмотках своего «Δ» от тока «своего Δ», расположенных на разноименных стержнях; все взаимные напряжения на обмотках «своего Δ» от тока «чужого Δ», расположенных на одноименных и разноименных стержнях с обмотками «чужого Δ».

При анализе режима «падения» провода первичной обмотки одной из фаз, (например, фазы А), на землю, можно в уравнении (4) для первичного контура этой фазы положить, что источник фазного напряжения равен нулю.

Решение приведенной системы уравнений выполнен средствами *MathCad*.

$$\text{Find}(I_{1A}, I_{1B}, I_{1C}, I_2) \rightarrow \begin{pmatrix} -378.46135315010493155j \\ -0.80226480390404386319 - 377.9981653496095695j \\ 0.80226480390404386319 - 377.9981653496095695j \\ 6077.9754911342499543j \end{pmatrix} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & -378.46j \\ \hline 1 & -0.80-378.00j \\ \hline 2 & 0.80-378.00j \\ \hline 3 & 6.08j \cdot 10^3 \\ \hline \end{array}$$

Ток нейтрали при этом

$$-378.46j + (-0.80 - 378j) + (0.80 - 378j) = -1.13j \times 10^3$$

Все оценочные результаты по собственным и взаимным сопротивлениям обмоток трансформатора дают большую ошибку в решении. При этом необходимо определенными мерами производить их коррекцию до приведенных выше правильных значений.

Выводы.

Резервные трансформаторы атомных электростанций со вторичными обмотками, соединенными в «треугольник», и их защита наряду с положительными свойствами приобретают неожиданные отрицательные, на которые до сих пор не удавалось обратить внимание эксплуатирующим службам. Так, при обрыве провода фазы и падении его на землю существующие продольные дифференциальные защиты не диагностируют этот режим, поскольку измеряемые первичные токи фаз по модулю почти одинаковы и лежат в допустимых пределах. Токи вторичных «треугольников» не измеряются, хотя они при этом более чем втрое превосходят номинальные значения. Ток нейтрали первичной сети также в существующей практике не измерялся, хотя он в этом режиме велик. В результате рассмотренный неполнофазный режим с возможными негативными

последствиями мог существовать длительное время. Диагностирование этого режима может быть с использованием измерения тока первичной нейтрали. Можно разработать вариант диагностики только по существующей информации о токах сети, но с учетом их особенностей.

Литература

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Раздел 3.2. Релейная защита. Подразделы 3.2.51, 3.2.53, 3.2.54, 3.2.55. Защита трансформаторов (автотрансформаторов) с обмоткой высшего напряжения 3 кВ и выше.
2. Зильберман В.А. Релейная защита сети собственных нужд атомных электростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 128 с.: ил. - Глава 2. Разделы «Защита рабочих ТСН с низшим напряжением 6.3 кВ», «Защита резервных ТСН с низшим напряжением 6.3 кВ».

С.П. Курилин, д.т.н., проф.; В.Н. Денисов, д.т.н., доц.;
А.А. Филатенков, маг.; А.С. Катюшин, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО НИУ “МЭИ” в г. Смоленске)

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ПУСКОВОГО ТОКА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В статье анализируются классические и современные методы и средства снижения пускового тока асинхронных электродвигателей. Решение проблемы представляется компромиссом между требованиями высоких номинальных показателей и высоких пусковых показателей машины. В качестве технических примеров реализации компромисса представляются разработанные конструкции клеток ротора

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, пусковой ток, эффект вытеснения тока, конструкция клетки ротора

Разработка и выпуск асинхронных двигателей (АД) классов энергоэффективности IE3, IE4 предполагает установку на них клеток ротора, обладающих высокой добротностью. Она обеспечивается минимальным, с позиций технической реализуемости, значением внутреннего сопротивления клетки и близким к единице коэффициентом её мощности. Однако в пусковых режимах АД высокая добротность клетки играет негативную роль, обеспечивая значения кратности пусковых токов порядка 7 - 10. Современные реалии мировых торговых площадок таковы, что АД с подобной кратностью пускового тока в недалёком будущем окажутся неконкурентоспособными. В связи с этим перед производителями электротехнического оборудования весьма остро встаёт задача снижения пускового тока без существенной потери пускового момента и номинальных показателей АД. Данная статья отражает некоторые результаты научных работ авторов, проводимых в направлении её решения.

Решением задачи должно быть снижение кратности пускового тока серийных АД на 30 – 50% за счет потери добротности клетки в диапазоне пусковых режимов с практически полным её восстановлением в диапазоне рабочих режимов. Нелинейным физическим явлением, положенным в основу решения, могло бы стать явление вытеснения тока в элементах клетки. Однако опыт эксплуатации АД с классическими конструкциями клеток ротора свидетельствует о том, что влияние вытеснения тока на величину пускового тока невелико. Более того, эффект, как правило, способствует повышению пускового тока по причине

снижения полного пускового сопротивления клетки. Повышение в 2 – 2,5 раза пускового активного сопротивления имеет малый вес на фоне снижения на 15 – 25 % пускового индуктивного сопротивления. При этом коэффициент изменения активного сопротивления при пуске $k_r = 2 - 2,5$ соответствует пределу возможностей классической конструкции клетки с вытеснением тока в стержнях. Косвенным подтверждением этого факта является повсеместное использование аппаратных средств, таких как пусковые реакторы и автотрансформаторы, для снижения пускового тока мощных АД. Очевидно, что наличие аппаратных решений не добавляет конкурентных преимуществ выпускаемым АД.

Эффект вытеснения тока мог бы стать основой решения задачи если бы удалось интенсифицировать его до такой степени, которая обеспечила бы коэффициент k_r на уровне 10 и более. Как уже отмечалось, классические конструкции клеток не обеспечивают такого уровня интенсивности. Поэтому внимание авторов было обращено на конструкции с интенсивным вытеснением тока в короткозамыкающих кольцах клетки. Следует отметить, что подобные технические решения ранее использовались с целью повышения пускового момента. Так предметом изобретения [1] является клетка, снабженная П-образными ферромагнитными экранами, наложенными поочерёдно с обеих сторон короткозамыкающего кольца и усиливающими эффект вытеснения тока в его элементах. Недостаток этого и подобных ему решений состоит в снижении коэффициента мощности клетки в номинальном режиме, что связано с влиянием ферромагнитных экранов на номинальное индуктивное сопротивление клетки. Попытка заменить экраны проточками на кольцах, предпринятая в [2] и представленная на рисунке 1, дала положительный технико-экономический эффект, заключающийся в повышении пускового момента на 18% и снижении расхода цветного металла на 21%. Вместе с тем, заметного снижения пускового тока такая клетка не продемонстрировала.

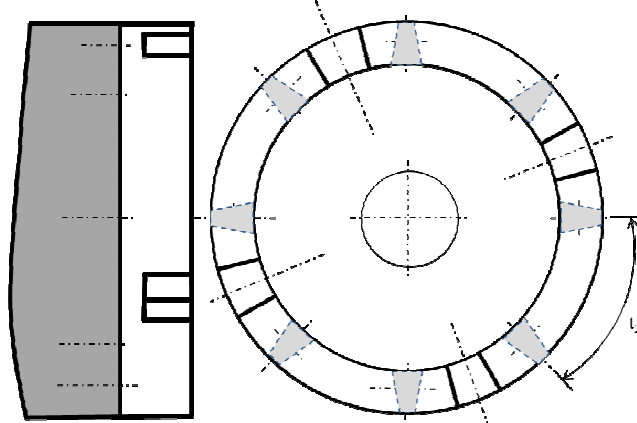


Рисунок 1.- Клетка с проточками на кольцах

В целом, проведенные авторами исследования различных исполнений клетки позволяют заявить следующие принципиальные положения.

1. Разрешение проблемы снижения пускового тока на существующем материально-технологическом уровне возможно только путем компромисса между противоречивыми требованиями высоких номинальных

показателей, в частности – коэффициента мощности, и высоких пусковых показателей, в частности – пускового тока.

2. В основу метода разрешения проблемы может быть положена интенсификация эффекта вытеснения тока в элементах короткозамыкающих колец, обеспечивающая $k_r \geq 10$.
3. Техническим средством решения задачи интенсификации могут служить ферромагнитные экраны и шунты различной конфигурации, расположенные на короткозамыкающих кольцах клетки.

В качестве примеров конструкций, реализующих заявленные положения, ниже описываются две модифицированные конструкции клеток с кольцевыми экранами Г-образной формы. Для обеих конструкций базовой была клетка серийного электродвигателя 4A250S4Y3, имеющего кратность пускового тока 6,03, кратность пускового момента 1,45, коэффициент $k_r = 1,99$ и снабженного клеткой с алюминиевыми короткозамыкающими кольцами прямоугольного сечения размером 28x44 мм.

Модифицированная конструкция клетки по рисунку 2 имеет кольцевой однородный экран Г-образного сечения, выполненный толщиной 2 мм из СТ10 и наложенный на внешние грани короткозамыкающего кольца.

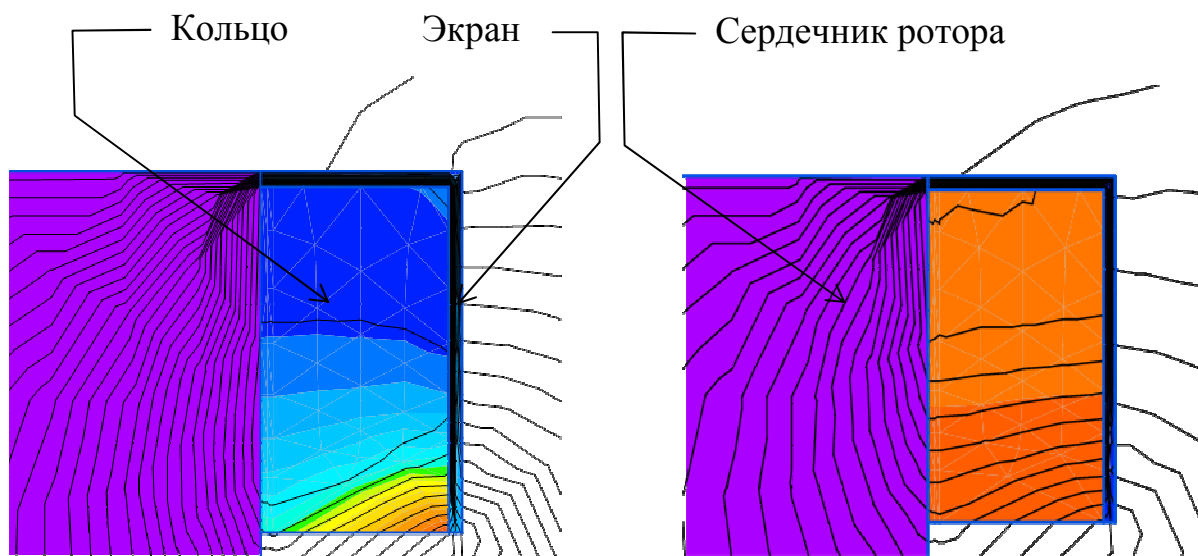


Рисунок 2 – Клетка с кольцевым однородным экраном

На рисунке 2 показано также распределение плотности тока по сечению кольца в пусковом режиме (слева) и в номинальном режиме (справа). Вытеснение пускового тока происходит в правый нижний угол профиля, оставляя большую часть сечения кольца обесточенным.

Конструкция такой клетки обеспечивает следующие технические показатели, которые приводятся абсолютно и в сравнении с показателями базовой конструкции.

Кратность пускового тока 1,93 (снижение в 3,1 раза).

Кратность пускового момента 0,54 (снижение в 2,7 раза).

Коэффициент $k_r = 7,26$ (рост в 3,6 раза).

Индуктивное сопротивление в номинальном режиме $1,12 \cdot 10^{-5}$ Ом (рост в 3,7 раза).

Еще одна модифицированная конструкция клетки аналогична показанной на рисунке 2, но имеет слоистый экран. Внутренний слой экрана, толщиной 1 мм, выполнен из СТ10. Внешний слой экрана, толщиной 1 мм, выполнен из меди. Такая конструкция клетки обеспечивает следующие технические показатели.

Кратность пускового тока 3,18 (снижение в 1,9 раза).

Кратность пускового момента 2,13 (рост в 1,5 раза).

Коэффициент $k_r = 10,54$ (рост в 5,3 раза).

Индуктивное сопротивление в номинальном режиме $0,73 \cdot 10^{-5}$ Ом (рост в 2,5 раза).

Обе представленные конструкции имеют негативные свойства. В первую очередь это относится к существенно возросшему индуктивному сопротивлению кольца в номинальном режиме. Следствием этого будет снижение номинального коэффициента мощности электродвигателя. Вместе с тем, обе представленные конструкции демонстрируют тот факт, что техническая задача снижения пускового тока может быть решена путём интенсификации эффекта вытеснения тока в кольцах клетки. При этом придётся пойти на некоторое снижение коэффициента мощности электродвигателя. Насколько допустимо такое снижение? Это и есть предмет компромиссного разрешения проблемы пускового тока, которое должно осуществить профессиональное сообщество.

Литература:

1. Ротор асинхронного короткозамкнутого двигателя. А. с. СССР № 1103326. Опубл. 15.07.84. Бюл. № 26// В.А. Повстень
2. Ротор асинхронного электродвигателя. Патент РФ № 2617445. Опубл. 25.04.2017. Бюл. №12//Л.Н. Макаров, В.Н. Денисов, С.П. Курилин, А.А. Власенков

С.П. Курилин, д.т.н., проф.; А.С. Катюшин, маг.; А.А. Филатенков, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО НИУ “МЭИ” в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В статье представляется проект линейного асинхронного двигателя многоцелевого назначения, имеющего рабочий ход до 100 мм и тяговое усилие до 100 Н. Представляются данные проекторочного расчета и результаты моделирования электромагнитного поля и тяговых усилий электродвигателя

Ключевые слова: линейный асинхронный двигатель, технические данные, рабочие характеристики, моделирование, электромагнитное поле, тяговая сила

Линейные электроприводы являются инновационной технологией решения транспортной задачи для различных областей промышленности и транспорта. Один из таких электроприводов разрабатывается на кафедре электромеханических систем Смоленского филиала МЭИ. В рамках разработки в настоящее время создан проект линейного асинхронного электродвигателя (ЛАД) с коротким рабочим ходом до 100 мм.

Основная цель проекта состоит в обеспечении разработок тяговых линейных асинхронных электродвигателей для транспортных систем макетными испытаниями различных путевых структур. Вместе с тем, разработанный ЛАД может использоваться в различных технических службах как силовой элемент электроприводов стрелок, сортировочных устройств автоматизированных складов, контрольно-сигнальной и контактной аппаратуры, запорной арматуры трубопроводов и других. Компоновочная схема ЛАД представлена на рисунке 1.

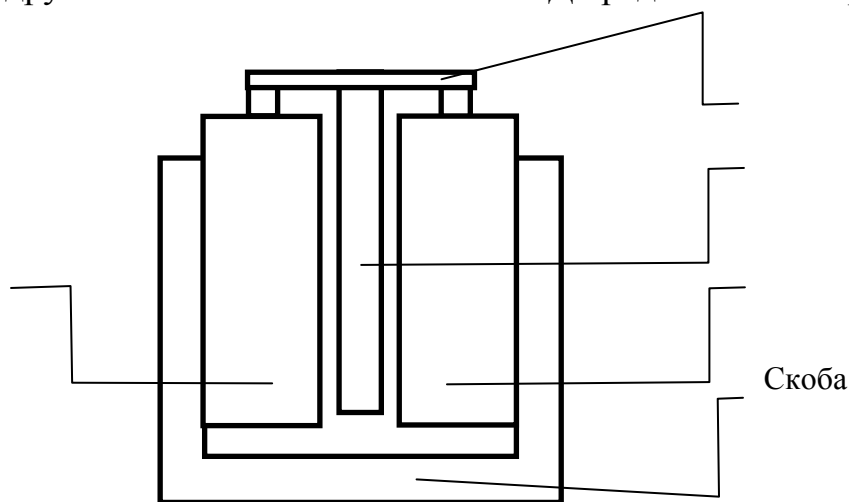


Рисунок 1 – Компоновочная схема ЛАД

Конструктивно ЛАД относится к классу электродвигателей с коротким вторичным элементом (ВЭ). Двигатель представляет собой вертикальную конструкцию с двусторонним индуктором длиной 403 мм и подвижной кареткой длиной 273 мм и может комплектоваться различными вариантами конструктивного исполнения ВЭ. Основным вариантом исполнения ВЭ – реактивный ВЭ из стального профиля, с алюминиевым покрытием. Могут быть установлены и другие исполнения активной части. При этом конструктивные, установочные размеры и способы крепления активной части каретки – полностью унифицированы. Индуктор ЛАД имеет двухмодульное исполнение. Модули индуктора крепятся на U-образной скобе из алюминиевого сплава, которая является основой всей конструкции изделия. На индукторе закреплены опоры, по которым катится каретка. В пазах модулей индуктора размещена трёхфазная обмотка кольцевого типа, причём крепление лобовых частей обмотки осуществляется специальными текстолитовыми планками. В зазоре между модулями размещается ВЭ, закреплённый на каретке. Сама каретка опирается направляющими роликами на опоры в горизонтальном и вертикальном направлении. Фазы индуктора рассчитаны на соединение в схему "звезда" и питание от трёхфазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Проектирование ЛАД было осуществлено по методике, основанной на теории детализированных схем замещения [1]. Ниже, в таблицах 1, 2, 3, представлены основные технические характеристики ЛАД. Рабочие характеристики ЛАД представлены на рисунке 2.

Таблица 1 — Геометрические и конструктивные данные ЛАД

Число пар полюсов индуктора	2
Ток в фазе индуктора, А	7
Число пазов индуктора	36
Зазор между индуктором и вторичным элементом, м	$1 \cdot 10^{-3}$
Скорость движения вторичного элемента, м/с	5
Толщина модуля индуктора, м	0.025
Длина индуктора, м	0.403
Ширина индуктора, м	0.1
Высота прямоугольного паза, м	0.012
Ширина прямоугольного паза, м	0.004
Ширина зубца, м	$7 \cdot 10^{-3}$
Толщина сердечника ВЭ, м	$6 \cdot 10^{-3}$
Толщина покрытия ВЭ, м	$1 \cdot 10^{-3}$
Длина активной части ВЭ, м	0.273

Таблица 2 — Технические показатели ЛАД в пусковом режиме

Коэффициент мощности, о.е.	0.786
Тяговая сила $F_{\text{пуск}}$, Н	98
Потребляемая мощность $P_{\text{пуск}}$, Вт	1978.6
Потребляемый ток $I_{\text{пуск}}$, А	7

Таблица 3 — Технические показатели ЛАД в номинальном режиме

Скорость ВЭ, м/с	5
КПД, о.е.	0.284
Коэффициент мощности, о.е.	0.726
Тяговая сила $F_{\text{ном}}$, Н	83.3
Потребляемая мощность $P_{\text{ном}}$, Вт	1916.4

Как следует из представленных выше материалов ЛАД развивает тяговую силу до 98 Н и способен развивать скорость до 9.9 м/с, потребляя, при этом, мощность не более 2000 Вт и ток не более 7 А. Максимальный КПД двигателя невелик и составляет 0.34 о.е., что не существенно, так как предполагается эксплуатация ЛАД в кратковременном режиме. В ряде случаев возможна эксплуатация ЛАД в однофазном режиме [2], что дополнительно даст существенное снижение потребления энергии.

В проекте было предпринято исследование распределения главного магнитного поля и удельной тяговой силы ЛАД. Эти распределения для случая неподвижного ВЭ представлены в виде графиков на рисунке 3 и рисунке 4.

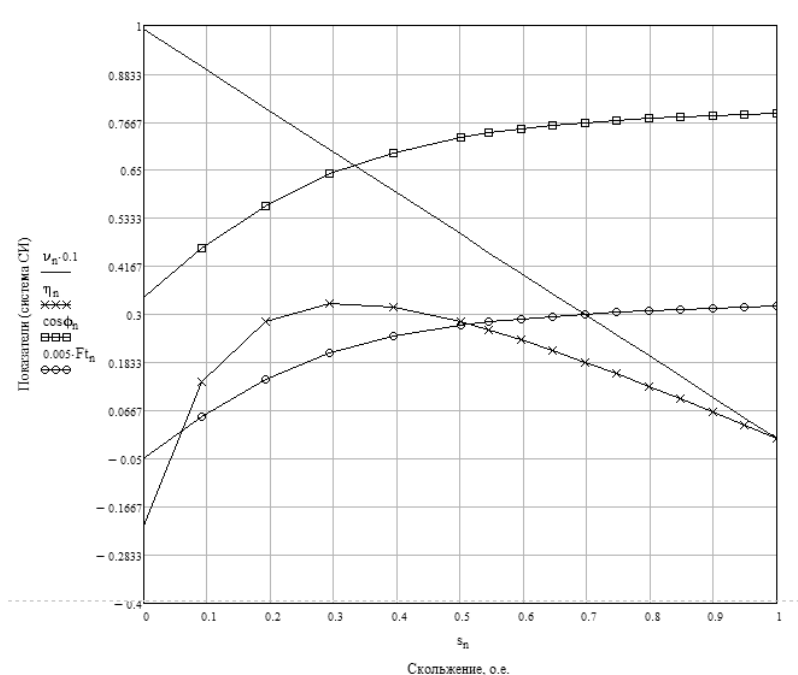


Рисунок 2 – Рабочие характеристики ЛАД

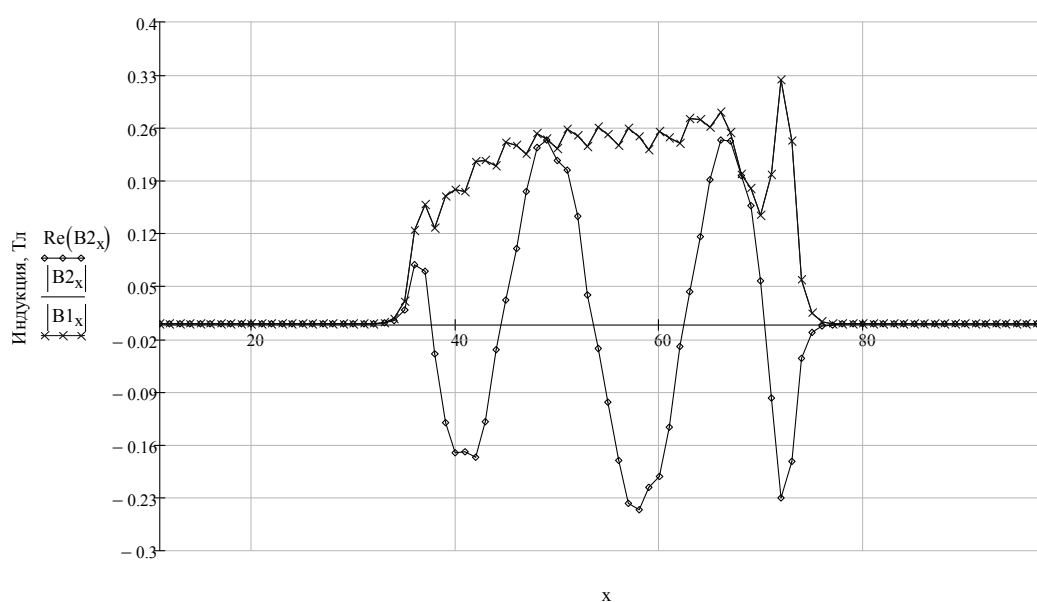


Рисунок 3 – Магнитная индукция в зазоре ЛАД

На рисунке 3 представлены мгновенное распределение и огибающая кривая магнитной индукции по длине зазора ЛАД. На рисунке 4 представлено распределение удельной тяговой силы по длине ЛАД. Как свидетельствуют данные, приведенные на рисунках 3 и 4 электромагнитное поле и тяговая сила существенно ослаблены в краевых зонах, которые охватывают по 5 – 6 зубцовых делений на левом и правом краях индуктора. Очевидно, что каретка, имеющая в длину 24 зубцовых деления, при её расположении на краях индуктора будет развивать примерно 80% пускового усилия. При расположении каретки в центральной области индуктора пусковое усилие будет полным. Полученные данные станут исходными при проектировании системы управления ЛАД.

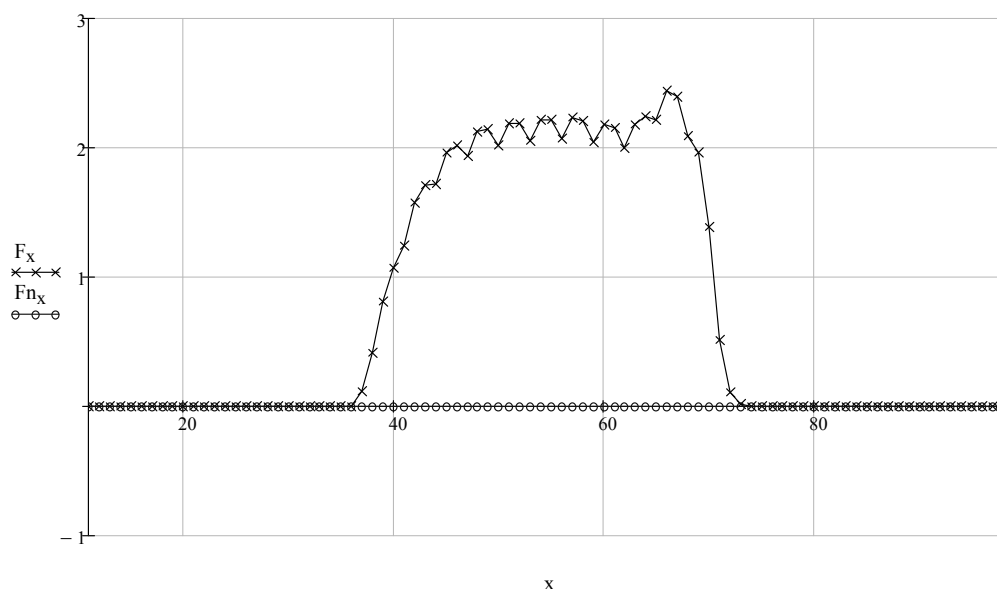


Рисунок 4 – Распределение удельной тяговой силы в ЛАД

Литература

1. Сарапулов Ф. Н., Сарапулов С. Ф., Шимчак П. Математические модели линейных индукционных машин на основе схем замещения. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005, 431 с.
2. Способ пуска однофазного линейного асинхронного электродвигателя и устройство его реализующее. Патент РФ № 2620602. Опубл. 29.05.2017 Бюл № 16 // Литвин В.И., Макаров Л.Н., Курилин С.П., Денисов В.Н.

*М.А. Кучеренко к.т.н.¹, О.А. Макеевкова, к.т.н.²
(¹ филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, ²СмолГУ)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЁТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ ПРИВЕДЕННЫХ ИНТЕГРАЛОВ СТОЛКНОВЕНИЯ ДЛЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЯЗКОСТИ И ВЗАИМНОЙ ДИФФУЗИИ ДЛЯ СИСТЕМ H_2-CH_4 И H_2-CO_2

В работе приведены значения отношения приведенных интегралов столкновения для коэффициентов вязкости и диффузии, найденные из экспериментальной температурной зависимости коэффициентов взаимной диффузии и вычисленные другими методами для двух систем газов H_2-CH_4 и H_2-CO_2 .

Ключевые слова: вязкость, взаимная диффузия, газовые смеси, интегралы столкновения, метод расчета.

Практически все тепломассообменные процессы в газах в природе и технологических процессах происходят в смесях различных газов, поэтому расчеты транспортных свойств смесей газов приобретают важное значение. В разреженных газах при небольших давлениях расчеты теплофизических свойств газовых смесей можно проводить в рамках молекулярно-кинетической теории, учитывая только парные столкновения молекул [1].

В настоящее время обобщение и расчет теплофизических свойств неполярных газов и газовых смесей проводится двумя различными способами. В одном проводится анализ и обобщение экспериментальных данных отдельно

чистых газов и отдельно смесей газов с учетом обобщения результатов для чистых газов. Во втором случае анализ и обработка экспериментальных данных ведется одновременно с использованием некоторого критерия на базе молекулярно-кинетической теории с учетом взаимодействия между однородными и разнородными атомами и молекулами. Кроме того, обобщение и расчет теплофизических свойств газов проводится различными полуэмпирическими методами. Предполагаемые полуэмпирические методы, как правило позволяют найти коэффициенты только одного теплофизического свойства [2].

В работе [3] нами был предложен метод, позволяющий в рамках строгой кинетической теории рассчитать коэффициент вязкости бинарной смеси газов и коэффициент взаимной диффузии газов (КВД). Рассмотрим применительно к диффузии этот метод подробнее. Согласно строгой кинетической теории [1] выражение для расчета КВД в разреженной газовой смеси можно записать в следующем виде:

$$D_{12} = 0.001858 T^{\frac{3}{2}} \frac{\left[(M_1 + M_2) / (M_1 M_2) \right]^{\frac{1}{2}} A_{12}^*}{p \cdot \sigma_{12}^2 \Omega_{12}^{(22)*}} \cdot f_D, \quad (1)$$

где p и T – давление и температура газовой смеси;

M_1 и M_2 – молекулярные массы первого и второго газа в смеси;

A_{12}^* – фракция комбинации приведенных интегралов столкновения:

$$A_{ij}^* = \Omega_{ij}^{(22)*} / \Omega_{ij}^{(11)*}; \quad (2)$$

$\sigma_{12}^2 \Omega_{12}^{(22)*}$ – значение произведения квадрата эффективного диаметра двух молекул на приведенный интеграл столкновений первого и второго газов можно вычислить по следующей формуле:

$$\sigma_{ij}^2 \Omega_{ij}^{(22)*} = \frac{2 \sigma_i^2 \Omega_i^{(22)*} \cdot \sigma_j^2 \Omega_j^{(22)*}}{\sigma_i^2 \Omega_i^{(22)*} + \sigma_j^2 \Omega_j^{(22)*}}; \quad (3)$$

f_D – корректирующий множитель [14], имеющий значение порядка единицы, и для большинства газов $[f_D]^2$ находится в пределах 1,000 – 1,008; значение $[f_D]^k$ для более высоких приближений не превышает 1,03.

Значение произведения квадрата эффективного диаметра на соответствующий приведенный интеграл столкновений можно вычислить согласно строгой кинетической теории [1] через экспериментальные значения вязкости чистых газов по следующей формуле:

$$\sigma_i^2 \Omega_i^{(22)*} = 266.93 \frac{\sqrt{M_i T}}{\eta_i}, \quad (4)$$

Определив из экспериментальных значений вязкости чистых газов значение $\sigma_i^2 \Omega_i^{(22)*}$ можно по формуле (3) вычислить значение $\sigma_{ij}^2 \Omega_{ij}^{(22)*}$, и затем с использованием формулы (1) вычислить значения $A_{ij}^* \cdot [f_D]^k$. Обычно эксперименты по измерению КВД D_{ij} имеют погрешность 1—4 %.

Имея экспериментальные значения D_{ij} и полагая $[f_D]^k = 1$, можно вычислить A_{ij}^* с использованием формулы (1). Учитывая погрешность эксперимента и

погрешность $[f_D]^k$, получаем, что можно определить значение A_{ij}^* с погрешностью 4—6 %.

По изложенной схеме расчета A_{ij}^* нами были проведены расчеты для двух систем газов: H_2-CH_4 и H_2-CO_2 . Значения КВД находились по полуэмпирическим формулам, приведенным в монографии [2]. Результаты расчетов приведены на рисунках 1 и 2 для систем H_2-CH_4 и H_2-CO_2 , соответственно. Приведены значения, полученные по предложенной методике, а также для сравнения приведены значения A_{ij}^* , полученные линейной аппроксимацией значений, приведенных в [1], а также расчетные значения A_{ij}^* из [4]. Также на рисунках 3 и 4 для этих же систем при тех же температурах приведены значения КВД рассчитанные по уравнениям из [2] и значения, рассчитанные в [4].

Как видно из рисунков 1 и 2, значения A_{ij}^* , полученные из экспериментальных данных по теплофизическим свойствам газов [1, 4], согласуются со значениями, рассчитанными по предложенной нами методике в пределах ошибки эксперимента. Аналогично, имеет место и совпадение для значений КВД.

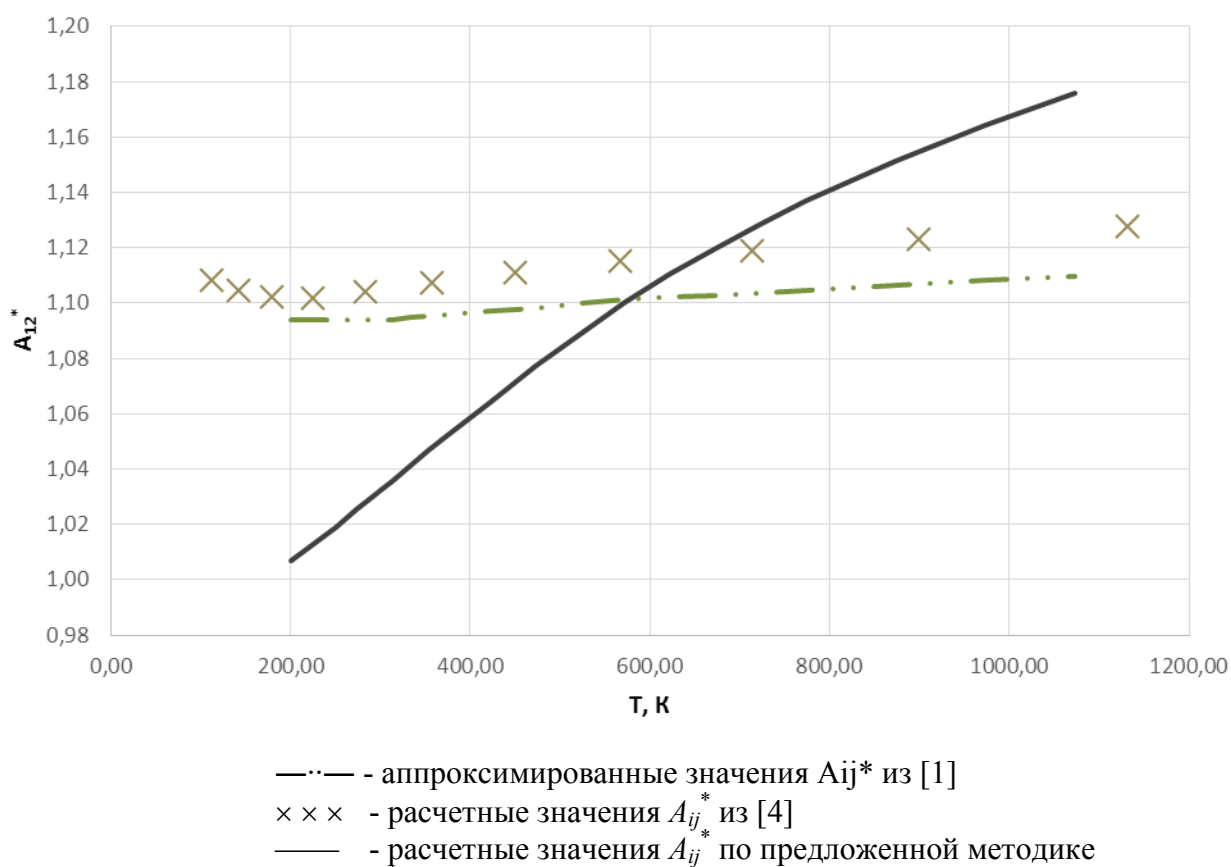
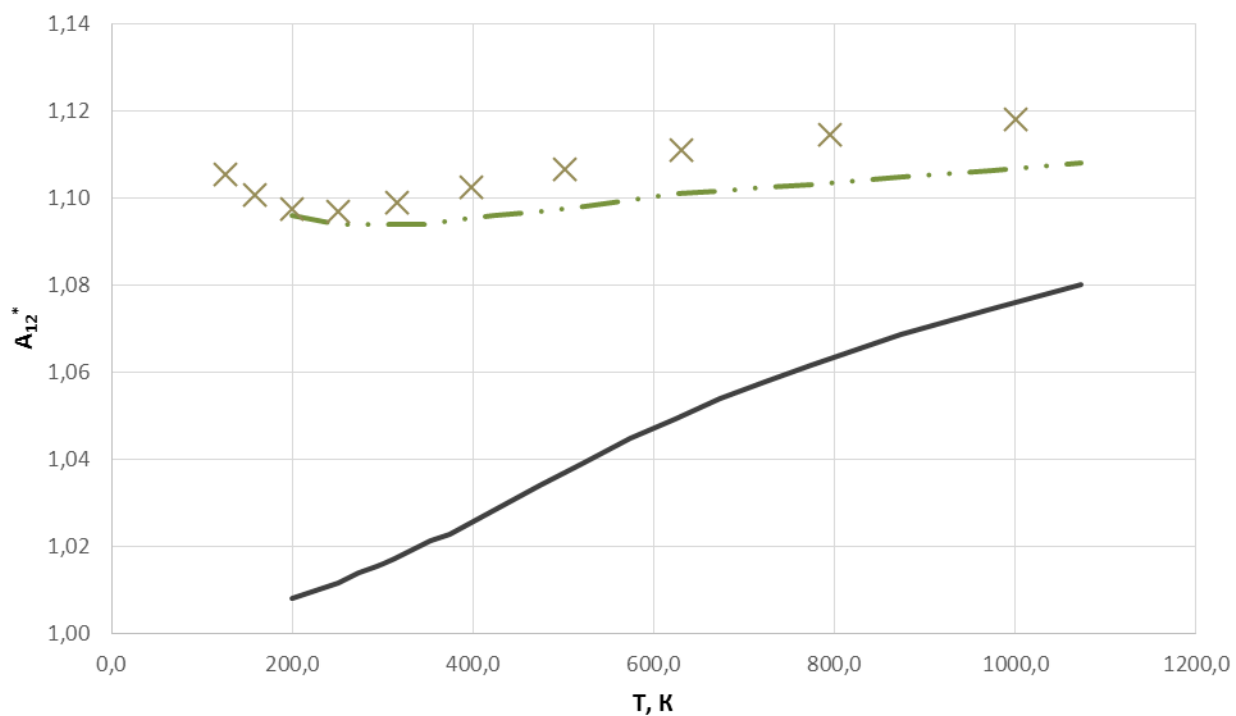
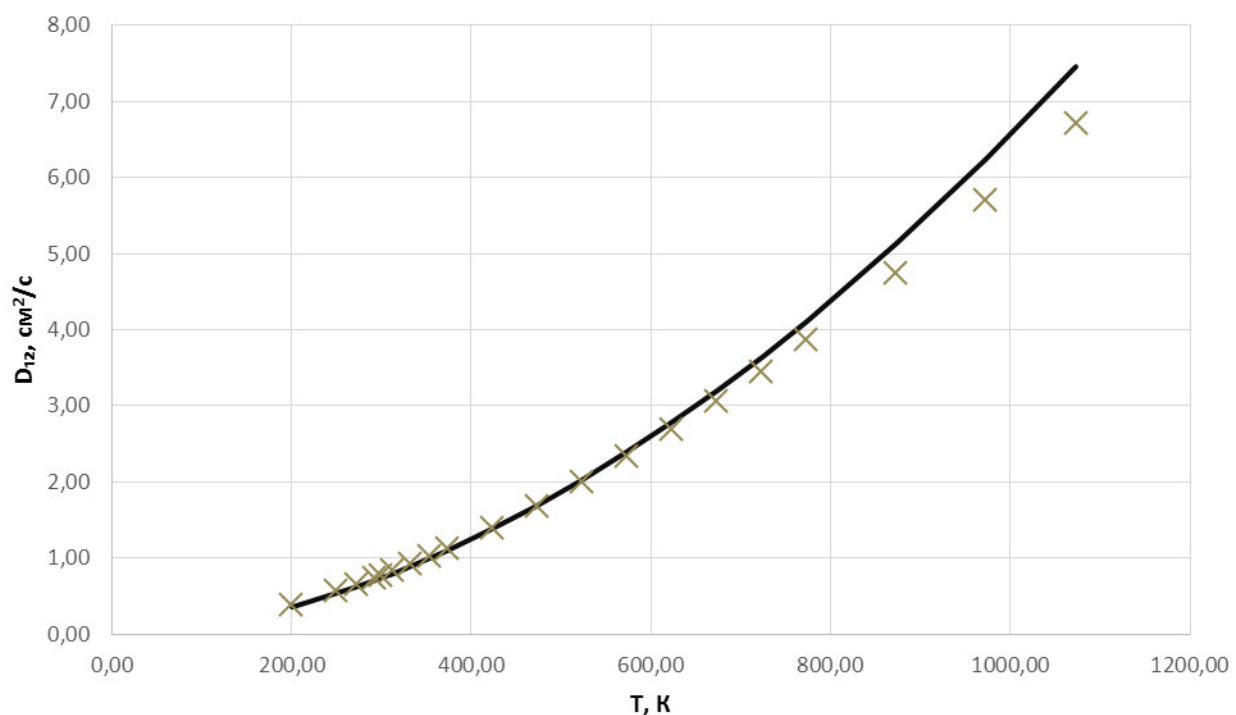


Рисунок 1 – Значения величины A_{ij}^* для различных температур для газовой системы H_2-CH_4



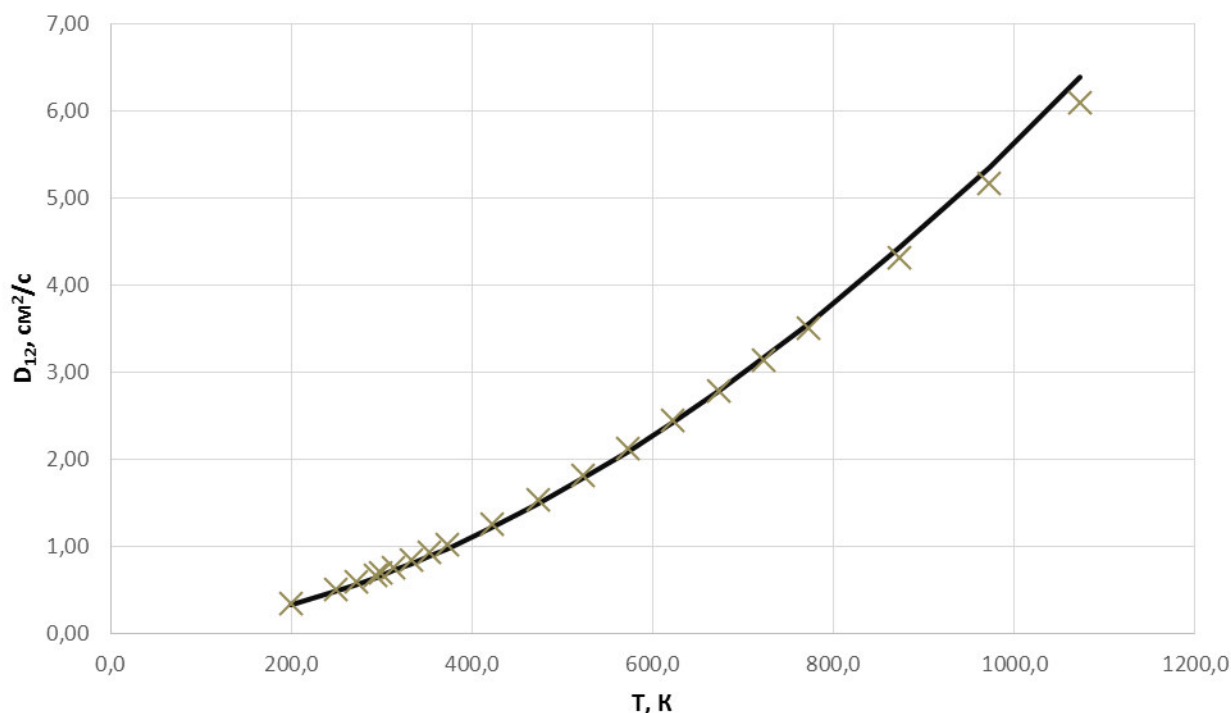
- · — - аппроксимированные значения A_{ij}^* из [1]
 × × × - расчетные значения A_{ij}^* из [4]
 — - расчетные значения A_{ij}^* по предложенной методике

Рисунок 2 – Значения величины A_{ij}^* для различных температур для газовой системы H_2-CO_2



- × × × - расчетные значения D_{12} из [4]
 — - расчетные значения D_{12} по уравнениям из [2]

Рисунок 3 – Значения D_{12} для различных температур для газовой системы H_2-CH_4



× × × - расчетные значения D_{12} из [4]

— - расчетные значения D_{12} по уравнениям из [2]

Рисунок 4 – Значения D_{12} для различных температур для газовой системы $\text{H}_2\text{-CO}_2$

Литература

1. Гирифельдер Д., Кертис Ч., Берд Р. Молекулярная теория газов и жидкостей. М.: ИИЛ, 1961. 929 с.
2. Богатырев А.Ф., Григорьев Б.А., Незовитина М.А. Коэффициенты взаимной диффузии углеводородных и природных газов. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2016. 144 с.
3. Bogatyrev A.F., Makeenkova O.A., Belalov V.R., Kucherenko M.A. Calculation of viscosity and diffusion coefficients in binary mixtures of dilute gases // Advanced Studies in Theoretical Physics, 2017. Vol. 11. No. 6. 283-296.
4. Moghadasi J., Papari M.M., Yousefi F., and Haghighi B. Transport coefficients of natural gases // J. Chem. Eng. Jpn. 2007. Vol. 40. No. 9. pp. 698-710.

*Т.С. Ларькина, аспирант; рук. В.В. Льготчиков, д.т.н., проф.,
(филиал ФГБОУ ВО "НИУ МЭИ" в г. Смоленске)*

ОБЗОР МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИСТЕМЫ С ИНДУКЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ НАГРЕВА С РАЗРАБОТКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ

В статье рассматривается общая классификация методов идентификации. В настоящее время проблема построения адекватных, эффективных моделей, используемых в дальнейшем, в частности, для синтеза системы управления, находит свое решение во многих областях науки и техники. Предложен метод идентификации для инерционной системы с индукционной технологией нагрева. Предложена функциональная схема системы.

Ключевые слова: система с индукционным нагревом, метод идентификации, детерминирование, идентификация, управление.

В настоящее время формализация объекта и понятие модели применяются во многих областях техники и науки, которые ставят своей целью решение сложных задач технологии, технологичности и экономики. При изучении

свойств и особенностей объектов подобные задачи возникают с целью последующего управления, при создании адаптивных систем, в которых на основе построенной модели объекта вырабатываются оптимальные управляющие воздействия.

На стадии создания и эксплуатации систем управления объектами применяются различные типы моделей рассматриваемых объектов, систем или процессов. Это обуславливает актуальность проблемы построения эффективных моделей объектов технических, технологических, экономических или социальных процессов [1].

Основное содержание идентификации составляет построение математических моделей того или иного типа на основе результатов наблюдений за поведением объектов и исследование их свойств.

В общем случае задача идентификации сводится к определению оператора модели, который преобразует входные воздействия объекта в выходные величины [2].

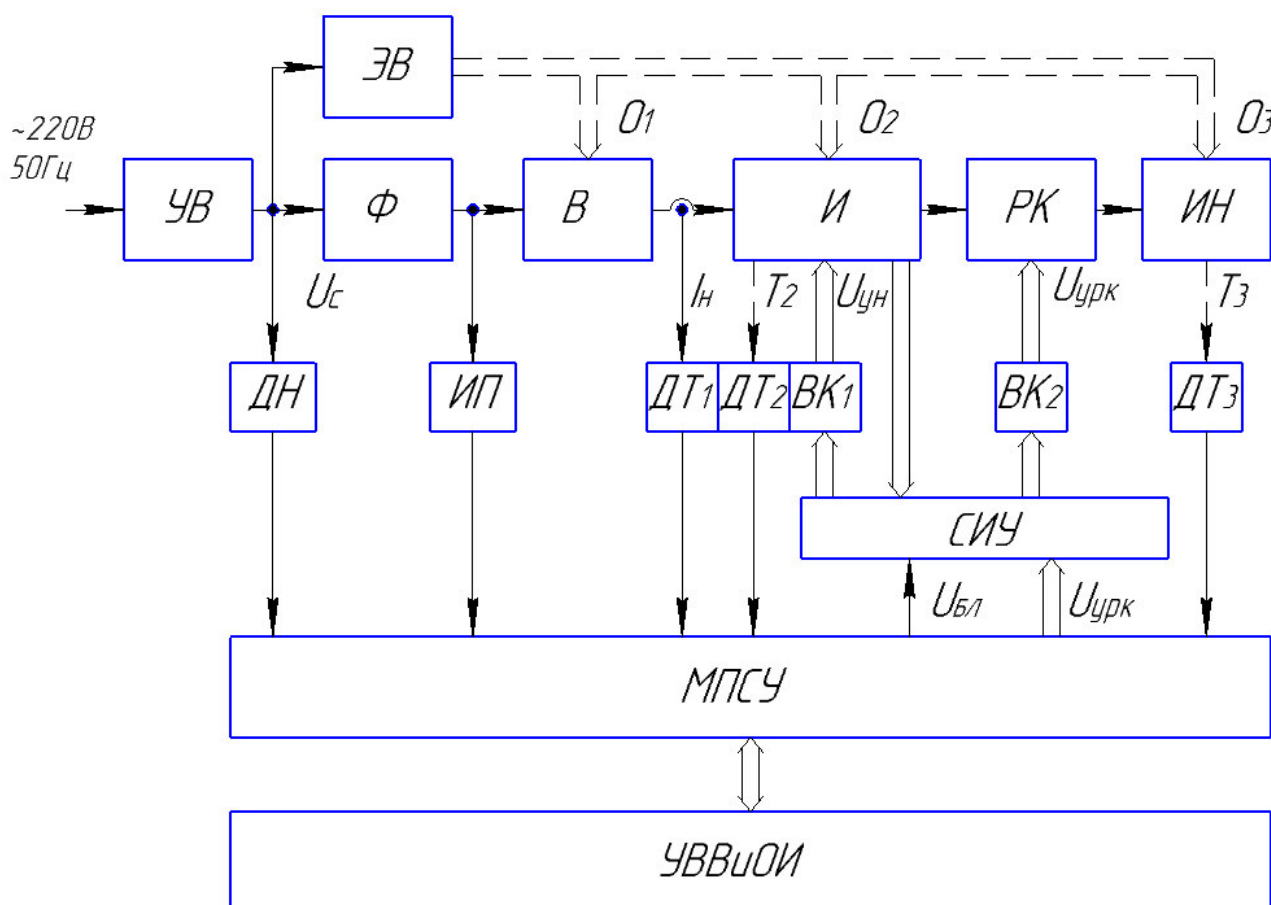
При структурной идентификации определяют вид и структуру оператора объекта, т.е. вид математической модели объекта.

Параметрическую идентификацию проводят после того, как математическая модель объекта определена. Данная операция заключается в определении числовых параметров данной математической модели.

Функциональная схема системы с индукционной технологией нагрева представлена на рисунке 1.

Система с индукционной технологией нагрева является сложным техническим объектом, в котором протекают физические процессы различной природы, в том числе электромагнитной, тепловой, гидравлической. В общем случае математическое описание таких объектов представляет собой систему детерминированных нелинейных интегральных и дифференциальных уравнений, записанных для многосвязных и многомерных областей. Ввиду сложной геометрии аналитическое описание электромагнитных и тепловых процессов в данной системе требует дополнительного разбиения модели на участки и дальнейшего исследования рассматриваемых процессов на этих участках с последующим объединением результатов. Таким образом, формируется дополнительная погрешность.

При расчете электромагнитного поля в отдельной зоне индукционного нагревателя с учетом вихревых токов, которые протекают по массивным участкам или проводникам обмоток индукторов, как правило, преследуют цель исследования дополнительных потерь, вызванных этими токами, и снижения индуктивных сопротивлений по причине размагничивающего действия реакции вихревых токов, т. е. в первую очередь определения интегральных характеристик. Тем не менее, отметим, что особый интерес представляет изменение структуры поля вблизи массивных элементов и границ, а также распределение вихревых токов и вызванных ими потерь. Это связано с тем, что термическая стойкость обмоток и других активных элементов установки определяется не средними, а местными максимальными потерями.



ЭВ – электрический вентилятор; O_1 – охлаждение выпрямителя; O_2 – охлаждение инвертора; O_3 – охлаждение индукционного нагревателя; УВ – устройство силового ввода; Φ – сетевой фильтр; В – выпрямитель; И – инвертор; ИН – индуктор; РК – релейный коммутатор; И – индуктор; U_c – измерение напряжения питающей сети; I_n – измерение тока нагрузки; T_2 – измерение температуры инвертора; U_{yn} – управление инвертором; $U_{урк}$ – управление релейным коммутатором; T_3 – измерение температуры индукционного нагревателя; ДН – датчик напряжения; ИП – источник питания; ДТ₁ – датчик тока; ДТ₂ – датчик температуры инвертора; ДТ₃ – датчик температуры индукционного нагревателя; ВК₁ – выходной каскад управления инвертором; ВК₂ – выходной каскад управления релейным коммутатором; СИУ – система импульсного управления; $U_{бл}$ – сигнал блокировки; МПСУ – микропроцессорная система управления; УВВ и ОИ – устройство ввода-вывода и отображения информации

Рисунок 1 – Функциональная схема системы с индукционной технологией нагрева

Тепловая задача в процессе исследования рассматриваемого объекта может формироваться как задача расчета температурного поля, которое обусловлено электромагнитными источниками тепла в заданной системе.

Электротепловыми моделями являются модели, которые учитывают взаимное влияние электромагнитного и температурного полей в процессе нагрева. Такие модели дают исчерпывающую характеристику индукционного устройства с точки зрения потребления энергии от внешнего источника питания и выделения ее в нагрузке [3].

В общем случае индукционный нагрев основан на двух физических законах: законе электромагнитной индукции Фарадея-Максвелла и законе Джоуля-Ленца с соответствующими краевыми условиями.

Для решения тепловой задачи используется первый закон термодинамики, записанный в виде дифференциальных уравнений для объемных тел.

Данная система с индукционной технологией нагрева обладает инерционностью (памятью). Это также означает, что выходное воздействие объекта зависит не только от входного воздействия в текущий момент времени, но и от предыдущих значений входа. В свою очередь объект – динамический, и математические модели динамических объектов задают его поведение во времени.

В реальных условиях наблюдаемые выходные сигналы изменяются не только под воздействием наблюдаемых входов, но и из-за многочисленных ненаблюдаемых случайных помех.

Поскольку параметры установки изменяются в процессе работы для управления подобными системами необходимы адаптивные системы автоматического управления с переменной структурой.

Литература

1. Дилигенская А.Н. Идентификация объектов управления. Учебное пособие / А.Н. Дилигенская – Самара: СГТУ, 2009. – 136 с.
2. Штейнберг Ш.Е. Идентификация в системах управления. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 80 с.
3. Исследование электромагнитных и тепловых полей в технологической установке для производства пластмассы. [Текст]//Л.С. Зимин// Вестн. Самар. Гос. Техн. Ун-та. Сер. Техн. Науки. – 2007. Вып. №1(19) – с. 131-135.

*Т.С. Любова, к.ф.-м.н.; А.И. Завальнюк
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ВАРИАЦИИ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ПОТРЕБИТЕЛЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДОЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

В статье рассматривается возможность эффективной работы существующей парогазовой установки при увеличении тепловой нагрузки потребителя, использование процесса дожигания в котле-утилизаторе, определение дополнительного расхода топлива, выявление необходимых замен оборудования для осуществления работоспособности установки.

Ключевые слова: парогазовая установка, тепловая мощность потребителя, котел-утилизатор, дожигание топлива, дополнительный расход, конфигурация тепловой сети, доля теплоты затраченной на внешнего потребителя.

Проблема повышения эффективности выработки тепловой и электрической энергии всегда была и остается актуальной в современном мире. Главным преимуществом ПГУ является высокая термодинамическая эффективность, лучший КПД, по сравнению с другими энергетическими установками и меньший расход топлива. Высокая термодинамическая эффективность парогазовых установок обусловлена использованием бинарного цикла Ренкина-Брайтона. КПД современных ПГУ составляет 55-58% [1]. Современное развитие ПГУ заключается в росте температуры и давления газа перед паровой турбиной, единичной мощности установки и ее КПД, распространении малотоксичных камер сгорания,

улучшении эксплуатационных качеств и систем обслуживания ГТУ и ПГУ, их вспомогательных систем и оборудования [2]. Для получения дополнительной мощности на ПГУ необходимо обеспечить возможность пропуска через проточную часть турбины дополнительного расхода пара. В рамках разработки программы «Дополнительная мощность» специалисты ОАО НПО ЦКТИ проанализировали резервы действующих турбин и установили, что значительные резервы пропускной способности проточной части имеются у большинства турбин мощностью до 60 МВт с регулируемыми промышленными и теплофикационными отборами пара [3]. Таким образом, применение ПГУ, получение дополнительной мощности паровой турбины и совершенствование процессов бинарного цикла, являются одними из основных направлений развития современной энергетики, как в мире, так и в России.

Выбранная газотурбинная установка покрывает нагрузку предприятия электронной промышленности и предполагаемого жилого фонда. В качестве топлива используется природный газ с низшей теплотой сгорания $Q_c^H = 33470 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$. Схема мини-ТЭЦ представлена на рисунке 1.

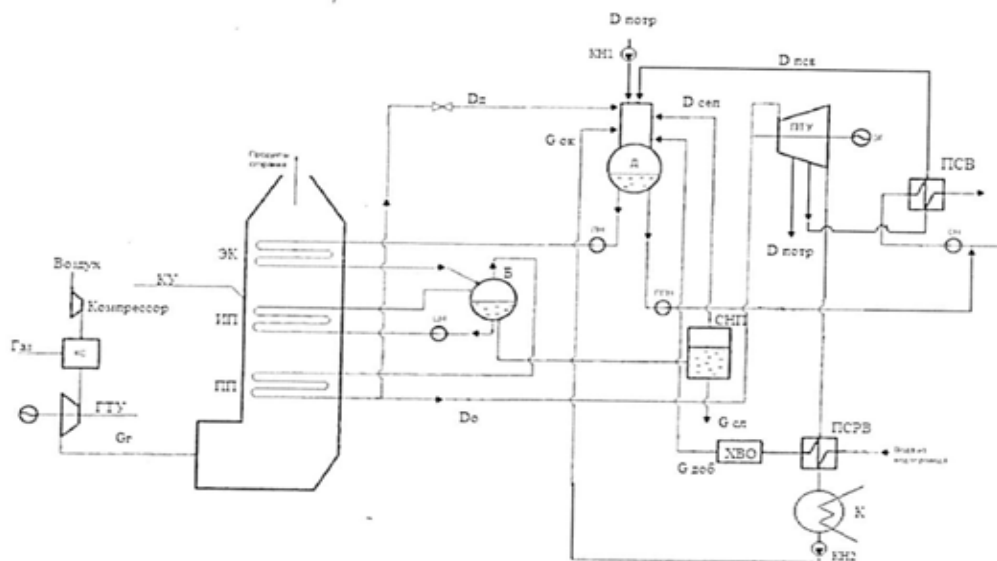


Рисунок 1 « Принципиальная схема мини-ТЭЦ с котлом-утилизатором»:

КС – камера сгорания, ГТУ – газотурбинная установка, КУ – котел-утилизатор, ПП – пароперегревающие поверхности, ИП – испарительные поверхности, ЭК – экономайзер, Б – барабан испаритель, Д – деаэратор, ПТУ – паротурбинная установка, СНП – сепаратор непрерывной продувки, ХВО – блок химводоочистки, К – конденсатор, ПСВ – подогреватель сетевой воды, ПСРВ – подогреватель сырой воды.

Проанализировав работу существующей парогазовой установки и выполнив все необходимые расчеты, при повышении тепловой нагрузки, определила величину оптимальной тепловой нагрузки, приводящей к минимальной замене

оборудования. Рассчитала максимальную тепловую нагрузку при использовании дожигания топлива в котле-утилизаторе. Тепловая мощность потребителя варьировалась от 5,2 – 13,8%. Выполнив необходимые тепловые расчеты при вариации нагрузки, можно сделать следующие выводы: Увеличение тепловой мощности до 5,2% приводит к замене только ПСВ, а при увеличении от 5,2% до 8,6% замене подлежит конденсационный насос и ПСВ, при дальнейшем повышении нагрузки на 10,4 – 13,8% требуют замены два конденсационных насоса, подогреватели сетевой и сырой воды. В первом случае, замена оборудования позволяет подключить дополнительно пять домов. Во втором – восемь. Увеличение тепловой мощности на 38,5% требует использование дожигания топлива в КУ, что приводит к замене всего оборудования, кроме котла-утилизатора и ГТУ и позволяет покрыть тепловую нагрузку шестнадцати домов. Расход дополнительного топлива в камере дожигания составил 0,279 кг/с.

Доля теплоты затраченной на внешнего потребителя рассчитывается как:

$$\beta_T = \frac{Q_T}{Q_H^c \cdot B_V} = \frac{13750}{33470 \cdot 0,779} = 0,527$$

Значения доли теплоты затраченной на внешнего потребителя, при увеличении нагрузки, сведены в таблицу 1

Таблица 1 – Доля теплоты, затраченной на внешнего потребителя

Тепловая нагрузка, Q_T , кВт	14466	14659	14933	15179	15373	15645
β_T	0,555	0,562	0,573	0,582	0,590	0,600

Доля же теплоты затраченной на внешнего потребителя при использовании дожигания топлива:

$$\beta_T = \frac{Q_T}{Q_H^c \cdot B_V} = \frac{19050}{33470 \cdot (0,779 + 0,279)} = 0,538$$

График, отражающий зависимость доли теплоты затраченной на внешнего потребителя от увеличения тепловой нагрузки представлен на рисунке 2:

При указанной вариации тепловой нагрузки доля затраченной теплоты на внешнего потребителя, в зависимости от увеличения тепловой мощности на 5,2% – 13,8% привела к росту от 0,53 до 0,6.

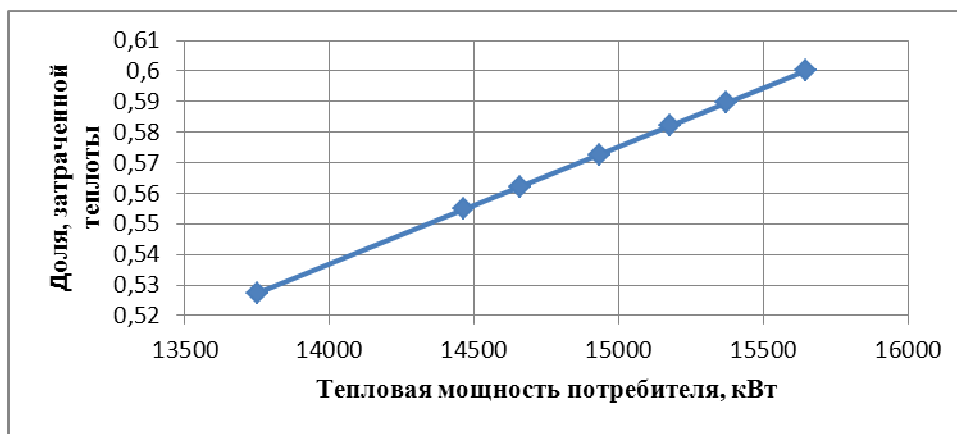


Рисунок 2 « Доля теплоты, затраченной на внешнего потребителя».

Литература

1. Тарасевич Л. А., Тузанкин А. И. Влияние параметров тепловой схемы ПГУ-КЭС с дополнительным сжиганием топлива на характер изменения тепловой экономичности установки // Интернет-журнал «Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика». – 2013. – №6.
2. Канев С. Н. Подключение потребителей к системе централизованного теплоснабжения в условиях дефицита мощности// Журнал «Электрические станции». – 2016. – №6.
3. СП 131.13330.2012 Строительная климатология, Актуализированная версия СНиП 23-01-99*, М – 2012.

О.А. Макеевкова, к.т.н.¹, А.Ф. Богатырев, д.т.н., проф.²
(¹СмолГУ, ²филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

К РАСЧЕТУ ВЯЗКОСТИ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ РАЗРЕЖЕННЫХ ГАЗОВ

В работе рассматривается влияние функции отношения интегралов столкновения для вязкости и диффузии на расчет вязкости бинарных смесей разреженных газов. Как показывают расчеты для четырех смесей газов, это отношение слабо влияет на предложенный нами в рамках строгой кинетической теории метод расчета вязкости газовых смесей.

Ключевые слова: вязкость, газовые смеси, интегралы столкновения, метод расчета, потенциал Леннарда-Джонса.

Тепломассообменные процессы в смесях газов играют важную роль в природе и различных технологических процессах. В разреженных газовых смесях расчет теплофизических свойств можно проводить в соответствии с положениями молекулярно-кинетической теории [1]. Согласно этой теории расчет и обобщение свойств проводится в рамках модели парных упругих столкновений атомов и молекул.

Согласно строгой кинетической теории [1], расчет и обобщение транспортных свойств газов строят на выборе той или иной модели сил межмолекулярного взаимодействия. Наиболее простой и популярной является двухпараметрическая модель Леннарда-Джонса (Л-Д):

$$\varphi(r) = 4\varepsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right], \quad (1)$$

где σ и ε – соответственно эффективный диаметр и характеристическая энергия межмолекулярного взаимодействия.

Обычно значения σ_i и ε_i находят путем обработки экспериментальных данных, например из вязкости чистых газов [1]. Таким способом находят вид потенциала межмолекулярного взаимодействия и его параметры. Как показывают многочисленные расчеты [1], использование потенциала (Л-Д) дает неплохие результаты для вязкости чистых газов в широком диапазоне температур.

Если в рамках кинетических теорий необходимо вычислить вязкость смеси газов при известных значениях потенциалов для чистых газов, то следует использовать так называемые комбинационные соотношения [1, 2]:

$$\varepsilon_{ij}\sigma_{ij}^6 = \sqrt{\varepsilon_i\sigma_i^6 \cdot \varepsilon_j\sigma_j^6} \quad \sigma_{ij} = (\sigma_i + \sigma_j)/2 \quad \varepsilon_{ij} = \sqrt{\varepsilon_i \cdot \varepsilon_j} \quad (2)$$

Первое из приведенных соотношений было получено на основе полуколичественных теоретических соображений, второе получено для модели твердых сфер, а третье следует из первого при условии $\sigma_i = \sigma_j$. Обычно в строгой кинетической теории для расчета вязкости смеси газов используют второе и третье соотношения.

Вязкость бинарной смеси газов согласно этой теории [1] находится в соответствии со следующим выражением:

$$\begin{aligned} \frac{1}{[\eta_{см}]_1} &= \frac{X_\eta + Y_\eta}{1 + Z_\eta} = X_\eta \left[\frac{1 + (Y_\eta/X_\eta)}{1 + Z_\eta} \right], \\ X_\eta &= \frac{x_i^2}{[\eta_i]_1} + \frac{2x_i x_j}{[\eta_{ij}]_1} + \frac{x_j^2}{[\eta_j]_1}, \\ Y_\eta &= \frac{3}{5} A_{ij}^* \left\{ \frac{x_i^2}{[\eta_i]_1} \left(\frac{M_i}{M_j} \right) + \frac{2x_i x_j}{[\eta_{ij}]_1} \left(\frac{(M_i + M_j)^2}{4M_i M_j} \right) \left(\frac{[\eta_{ij}]_1^2}{[\eta_i]_1 [\eta_j]_1} \right) + \frac{x_j^2}{[\eta_j]_1} \left(\frac{M_j}{M_i} \right) \right\}, \\ Z_\eta &= \frac{3}{5} A_{ij}^* \left\{ x_i^2 \left(\frac{M_i}{M_j} \right) + 2x_i x_j \left[\left(\frac{(M_i + M_j)^2}{4M_i M_j} \right) \left(\frac{[\eta_{ij}]_1}{[\eta_i]_1} + \frac{[\eta_{ij}]_1}{[\eta_j]_1} - 1 \right) \right] + x_j^2 \left(\frac{M_j}{M_i} \right) \right\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где x_i и x_j – мольные доли компонентов i и j ; $[\eta_i]_1$ и $[\eta_j]_1$ – коэффициенты вязкости компонентов i и j в первом приближении; M_i и M_j – молекулярные веса компонентов i и j ; A_{ij}^* – функция комбинации приведенных интегралов столкновения:

$$A_{ij}^* = \Omega_{ij}^{(22)*} / \Omega_{ij}^{(11)*}. \quad (4)$$

Функция A_{ij}^* очень медленно изменяется при изменении $T^* = kT/\varepsilon_i$.

Величина $[\eta_{ij}]_1$ определяется следующим выражением:

$$[\eta_{ij}]_1 \cdot 10^7 = 266,93 \frac{\sqrt{2M_i M_j T / (M_i + M_j)}}{\sigma_{ij}^2 \Omega_{ij}^{(22)*}(T^*)}. \quad (5)$$

Эту величину можно рассматривать как коэффициент вязкости гипотетического чистого газа, молекулы которого имеют молекулярный вес, равный $2M_i M_j / (M_i + M_j)$ и взаимодействуют по потенциальной кривой, определяемой параметрами взаимодействия σ_{ij} и ε_{ij}/k .

При известной потенциальной энергии взаимодействия между молекулами можно рассчитать величину приведенных интегралов столкновения для вязкости $\Omega_i^{(22)*}$. Используя значения $\Omega_i^{(22)*}$ как функцию T^* из коэффициентов вязкости чистого газа при различных температурах, можно получить значения σ_i и ε_i/k . Величины σ_{ij} и ε_{ij}/k обычно находят согласно соотношениям (2).

В работе [3] нами предложен несколько иной способ нахождения σ_{ij} и ε_{ij}/k , а именно на основе следующего комплекса:

$$\sigma_{ij}^2 \Omega_{ij}^{(22)*} = \frac{2\sigma_i^2 \Omega_i^{(22)*} \cdot \sigma_j^2 \Omega_j^{(22)*}}{\sigma_i^2 \Omega_i^{(22)*} + \sigma_j^2 \Omega_j^{(22)*}}. \quad (6)$$

Подставив полученное соотношение (6) в формулу (5), можно найти величину $[\eta_{cm}]_1$. Далее, имея значения $\sigma_{ij}^2 \Omega_{ij}^{(22)*}$ при различных температурах можно методом регрессии вычислить ε_{ij}/k , найти по приведенным в работах [1, 2] таблицам значение A_{ij}^* и затем по формуле (3) определить вязкость смеси газов.

Для потенциала Л-Д величина A_{ij}^* в разумном интервале температур 200 – 2000 К лежит в пределах 1,08 – 1,15 для большинства газовых смесей.

По описанной выше схеме нами были проведены вычисления влияния значения A_{ij}^* на величину коэффициента вязкости для четырех систем газов H_2 - CH_4 , CH_4 - CO_2 , CH_4 - N_2 , N_2 - CO_2 . Как показали наши расчеты, величина A_{ij}^* в большей степени влияет на величину коэффициента вязкости эквимольной газовой смеси при высоких температурах.

Результаты расчетов для эквимольных смесей газов приведены в таблицах 1 – 4.

Таблица 1 – Величина вязкости $[\eta_{cm}]_1$ эквимольной смеси газов H_2 - CH_4 в зависимости от значений коэффициента A_{ij}^*

T, К	A_{ij}^*					
	1,08	1,085	1,09	1,095	1,10	1,15
300	11,35	11,35	11,36	11,36	11,37	11,40
500	16,70	16,70	16,71	16,71	16,70	16,70
1000	27,23	27,24	27,25	27,26	27,24	27,24
1500	35,89	35,91	35,92	35,93	35,91	35,91

Таблица 2 – Величина вязкости $[\eta_{cm}]_1$ эквимольной смеси газов CH_4 - CO_2 в зависимости от значений коэффициента A_{ij}^*

T, К	A_{ij}^*					
	1,08	1,085	1,09	1,095	1,10	1,15
300	13,49	13,49	13,49	13,50	13,50	13,53
500	20,94	20,95	20,95	20,96	20,96	21,01
1000	35,42	35,43	35,44	35,45	35,45	35,54
1500	46,76	46,77	46,78	46,79	46,80	46,92

Таблица 3 – Величина вязкости $[\eta_{\text{см}}]_1$ эквимолярной смеси газов $\text{CH}_4\text{-N}_2$ в зависимости от значений коэффициента A_{ij}^*

T, К	A_{ij}^*					
	1,08	1,085	1,09	1,095	1,10	1,15
300	14,50	14,50	14,51	14,51	14,51	14,53
500	21,24	21,24	21,25	21,25	21,25	21,28
1000	34,34	34,35	34,35	34,36	34,36	34,41
1500	45,20	45,21	45,21	45,22	45,23	45,28

Таблица 4 – Величина вязкости $[\eta_{\text{см}}]_1$ эквимолярной смеси газов $\text{N}_2\text{-CO}_2$ в зависимости от значений коэффициента A_{ij}^*

T, К	A_{ij}^*					
	1,08	1,085	1,09	1,095	1,10	1,15
300	16,65	16,65	16,65	16,65	16,65	16,65
500	25,13	25,13	25,13	25,13	25,13	25,13
1000	41,71	41,71	41,71	41,71	41,72	41,73
1500	55,13	55,13	55,13	55,13	55,13	55,15

Как показали наши расчеты, для указанных выше смесей газов мы не наблюдали зависимости вязкости смеси от изменения A_{ij}^* , превышающей 0,5%. Это вполне укладывается в пределы ошибки измерения вязкости смесей газов, которая равна 0,5 – 1,5%. Следовательно, можно сделать вывод о том, что значение A_{ij}^* в достаточно малой степени влияет на расчетные значения вязкости газовых смесей, а более существенное значение имеет способ нахождения комплекса $\sigma_{ij}^2 \Omega_{ij}^{(22)*}$, что и было показано в работе [3].

Литература

5. Гиршфельдер Д., Кертис Ч., Берд Р. Молекулярная теория газов и жидкостей. М.: ИИЛ, 1961. 929 с.
6. Ферцигер Д., Капер Г. Математическая теория процессов переноса в газах. М.: Мир, 1976. 554 с.
7. Bogatyrev A.F., Makeenkova O.A., Belalov V.R., Kucherenko M.A. Calculation of viscosity and diffusion coefficients in binary mixtures of dilute gases //Advanced Studies in Theoretical Physics, 2017. Vol. 11. No. 6. 283-296.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛИНЕЙНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Предложено устройство управления магнитным полем линейного асинхронного двигателя, позволяющее повысить энергетические показатели двигателя за счет формирования пространственно-временного распределения индукции результирующего поля машины, обеспечивающего максимальное значение КПД.

Ключевые слова: линейный асинхронный двигатель, продольный краевой эффект, компенсирующая обмотка, пространственно-временное распределение индукции, устройство управления магнитным полем, КПД линейного двигателя.

Наиболее разработанным направлением повышения энергетических показателей линейного асинхронного двигателя (ЛАД) является компенсация электромагнитных полей краевых эффектов различными методами. Классическим способом компенсации пульсирующих составляющих полей краевого эффекта (КЭ) является использование дополнительной короткозамкнутой обмотки и специальных компенсирующих обмоток, располагаемых на краях индуктора ЛАД [1]. Однако, в этом случае по ряду причин нельзя достигнуть полной компенсации поля КЭ. Неполная пространственная компенсация поля КЭ снижает тяговое усилие и КПД машины, а наличие короткозамкнутой обмотки усложняет конструкцию индуктора и приводит к дополнительным потерям энергии в двигателе, которые ухудшают его тепловой режим.

В [2] предложен ряд способов компенсации полей продольного краевого эффекта с использованием для этой цели несимметричных режимов работы ЛАД. Предложенные способы позволяют исключить из конструкции двигателя компенсирующие обмотки и поднять КПД двигателя на 3 – 7 %, а также позволяют осуществлять компенсацию полей КЭ независимо от режима работы двигателя.

Однако самый перспективный путь повышения энергетических показателей ЛАД - это формирование оптимального распределения электромагнитного поля в воздушном зазоре индуктора двигателя.

Как показали исследования [3], электромагнитный КПД линейной электрической машины имеет максимальное значение и равен электромагнитному КПД машины вращения, если распределение магнитной индукции в зазоре определяется выражением:

$$\dot{B} = A_2 \frac{\omega}{v_1} (-1)^n \exp[-j(\frac{\omega}{v_1} x - \frac{\pi}{2})] - \frac{\omega}{v} \exp[-j(\frac{\omega}{v} x - \frac{\pi}{2})], \quad (1)$$

где A_2 - постоянная; ω - круговая частота питающего напряжения; v_1 - синхронная скорость магнитного поля двигателя; v - скорость вторичного элемента линейной электрической машины; x - продольная координата; n - целое число, определяющее число полюсов линейной электрической машины.

Приведенное распределение индукции представляет собой две бегущие волны, причем скорость первой волны равна синхронной скорости, а скорость второй волны - скорости вторичного элемента линейной электрической машины.

Амплитуда первой волны постоянна, а второй – обратно пропорциональна скорости вторичного элемента.

На рис. 1 изображен индуктор линейной машины, а на рис. 2 представлена функциональная схема устройства управления магнитным полем, позволяющего сформировать в линейной электрической машине токовый слой, создающий требуемое распределение индукции результирующего поля.

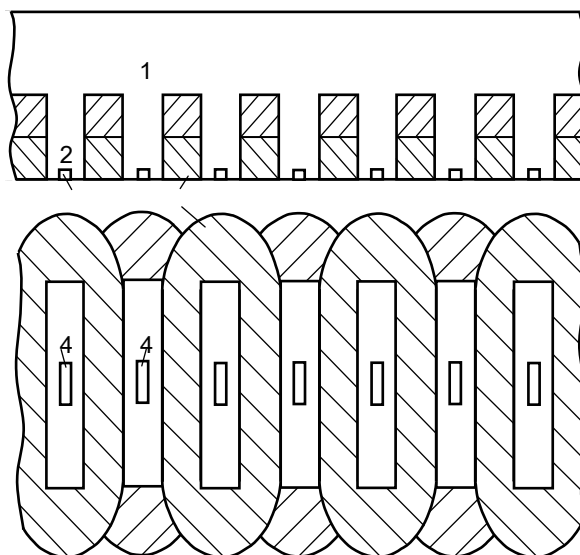


Рис. 1

Устройство управления магнитным полем содержит: индуктор электрической машины, имеющий магнитопровод 1 с зубцовой зоной, образованной зубцами 2, на каждом из которых расположена обмотка 3 и датчик 4 магнитной индукции, датчик 5 скорости, блок 6 нелинейности, генератор 7 синусоидальных колебаний, фазовращатель 8. Количество остальных элементов в функциональной схеме определяется числом зубцов N .

Фазовращатель сдвигает фазу синусоидальных колебаний на угол $\pi/2$. Суммирующие усилители 15, 17 должны иметь инвертирующие и неинвертирующие входы. Усилители мощности 16 могут быть выполнены в виде реверсивных усилителей с ШИМ модуляцией. Возможны и другие варианты выполнения усилителей мощности. Желательно в качестве усилителей мощности использовать мощный управляемый источник тока. В качестве датчиков магнитной индукции могут быть использованы датчики Холла, магнитодиоды и т.п. Блоки умножения могут быть выполнены на базе серийно выпускаемых микросхем аналоговых перемножителей.

Первые и вторые функциональные преобразователи 10, 11 воспроизводят соответственно синусные и косинусные зависимости и могут использовать принцип кусочно-линейной аппроксимации воспроизводимых функций. Количество воспроизводимых полупериодов функций синуса и косинуса определяется количеством полюсов электрической машины и ограничено сверху числом зубцов индуктора. Блок 6 нелинейности воспроизводит зависимость вида $\alpha = 1/\beta$.

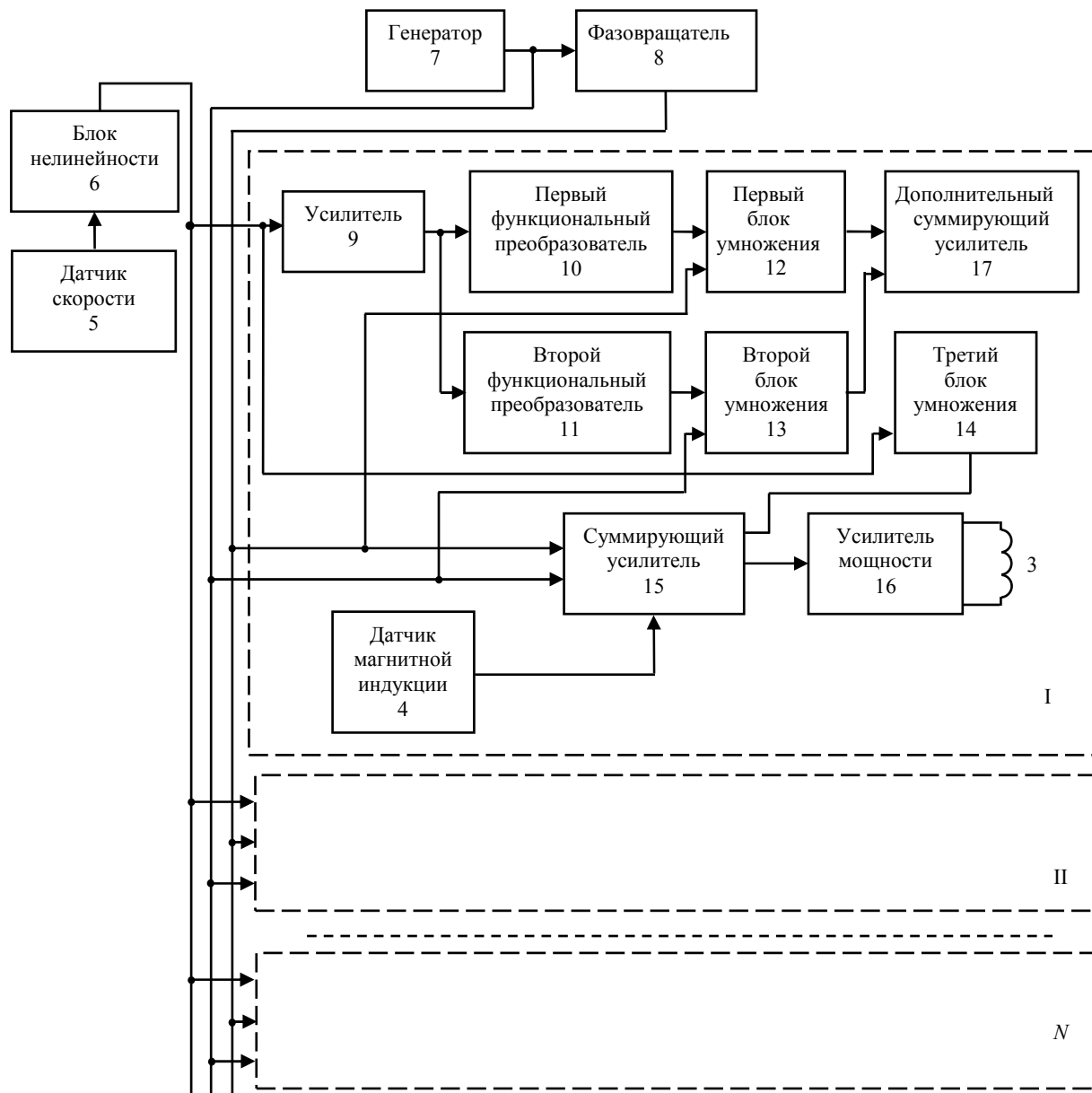


Рис. 2

Устройство управления полем линейной электрической машины работает следующим образом. Скорость вторичного элемента машины определяется датчиком 5 и преобразуется блоком нелинейности в величину, обратную скорости. На выходах усилителей 9 формируются сигналы

$$U_{9i} = \frac{\omega}{v} x_i ,$$

где x_i - продольная координата i -той обмотки электрической машины, $i = 1, 2, \dots N$; ω – круговая частота питающих напряжений.

Сигналы с выхода усилителей преобразуются функциональными преобразователями 10, 11 в систему квадратурных напряжений:

$$U_{10i} = \sin \frac{\omega}{v} x_i ;$$

$$U_{11i} = \cos \frac{\omega}{v} x_i .$$

Эти сигналы перемножаются с квадратурными напряжениями с выходов генератора 7 и фазовращателя 8 блоками умножения 12 и 13 в соответствии с выражениями:

$$U_{12i} = \sin \frac{\omega}{v} x_i \cdot \cos \omega t ;$$

$$U_{13i} = \cos \frac{\omega}{v} x_i \cdot \sin \omega t .$$

Полученные произведения суммируются с коэффициентами соответственно $-\omega$ и ω дополнительными суммирующими усилителями 17, на выходах которых формируются напряжения с необходимым фазовым сдвигом

$$U_{17i} = -\omega \sin \frac{\omega}{v} x_i \cdot \cos \omega t + \omega \cos \frac{\omega}{v} x_i \cdot \sin \omega t = \omega \sin (\omega t - \frac{\omega}{v} x_i) ,$$

амплитуда которых изменяется на величину $1/v$ блоками умножения 14.

Усилители 15 суммируют сигналы следующим образом:

– U_{14i} , поступающие с третьих блоков умножения 14, суммируются с коэффициентом -1;

– $U_7 = \sin \omega t$ с выхода генератора 7 – с коэффициентом

$$k_{si} = \frac{A_2 \omega}{v_1} \cos \frac{\omega}{v_1} x_i \cdot (-1)^n ;$$

– $U_8 = \cos \omega t$ с выхода фазовращателя 8 – с коэффициентом

$$k_{ci} = \frac{A_2 \omega}{v_1} \sin \frac{\omega}{v_1} x_i \cdot (-1)^n ;$$

– U_{4i} с выходов датчиков 4 магнитной индукции - с коэффициентом -1.

Сигналы на выходах суммирующих усилителей 15 определяются выражением

$$U_{15i} = (-1)^n \frac{A_2 \omega}{v_1} \sin (\omega t - \frac{\omega}{v_1} x_i) - \frac{\omega}{v} \sin (\omega t - \frac{\omega}{v} x_i) - U_{4i} , \quad (2)$$

где два первых слагаемых задают требуемое значение индукции магнитного поля под i -тым зубцом, а третье слагаемое – сигнал отрицательной обратной связи по индукции магнитного поля в точке размещения i -того датчика 4.

Разность сигналов задания индукции и обратной связи усиливается суммирующими усилителями 15, усилителями мощности 16 и полученное напряжение создает ток в обмотках 3. Отклонение индукции в точке расположения датчика 4 от заданной приводит к изменению тока обмотки 3, что в свою очередь приводит к уменьшению отклонения индукции от заданной. Т.е. на каждом зубце реализуется статическая система регулирования индукции (на рис. 2 выделена штрих-пунктирной линией).

Управление индукцией магнитного поля под каждым зубцом в соответствии с выражением (2) позволяет реализовать пространственно-временное распределение индукции результирующего поля, заданное выражением (1).

Предложенное устройство позволяет повысить энергетические показатели линейной электрической машины за счет формирования пространственно-временного распределения индукции результирующего поля машины, обеспечивающего максимальное значение электромагнитного КПД.

Литература

1. Вольдек А.И. Индукционные магнитогидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом. – Л.: Энергия, 1970.
2. Малиновский А.Е., Саватеева И.С. Улучшение энергетических показателей линейного двигателя переменного тока //Электричество. 2014. № 9. С. 65 – 69.
3. Мамедов Ф.А., Малиновский А.Е., Литвин В.И. Линейные асинхронные двигатели с повышенными энергетическими показателями. В кн.: Создание и применение линейных электродвигателей в машинах, оборудовании и транспортно-технических системах. Сборник научных трудов ВНИИВЭ. Донецк, 1988, с. 70-75.

*М.А. Михайлов, к.т.н., доц.; А.И. Пеннер, студент
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

В статье рассматриваются особенности и возможности преобразования солнечной энергии в электрическую и тепловую, рассмотрены солнечные коллекторы, солнечные станции, солнечные пруды и возможность их комбинированной работы

Ключевые слова: фотоэлемент, коллектор, башенная солнечная электростанция, солнечный пруд, солнечная энергетическая установка

Применение оборудования с возможностью видоизменения солнечной энергии – гелиоколлекторов и гелиопанелей с каждым годом приобретает все больший интерес ввиду экологичности использования.

Феномен фотоэлектрического эффекта, описывающий испускание электронов в результате влияния солнечного излучения, отмечался еще А. Беккерелем в 1839 году, но полностью подготовлен и исследован был А. Эйнштейном в 1905 году, после был удостоен Нобелевской премии. Ч. Фриттс с помощью этого феномена собрал в 1883 году первый солнечный модуль. В СССР связи с запуском нового искусственного спутника, в 1957 году впервые в нем были использованы фотогальванические элементы, США использовали подобный запуск с солнечными панелями Explorer 1 в 1958 году. С солнечные батареи на основе кремния сделали главным источником энергии для космических кораблей и орбитальных станций в том же году.

При коммерческом использовании солнечных батарей в некоторых районах целесообразно отдавать наработанную солнечную энергию за день в общую энергосеть, при этом получать скидку на оплату электричества.

Потребность в накоплении теплоты в солнечных системах вызвана несоответствием времени и коэффициентов попадания количества солнечного теплового потребления и радиации в связи с вращением земли.

В настоящее время возможны несколько вариантов применения солнечной энергии на предприятиях: 1). плавучие солнечные острова на воде, 2). солнечные электростанции башенного типа, 3). использование энергии солнечных прудов.

Рассмотрим их особенности:

1). Для электростанции преимущественным является расположение системы концентраторов на плавучем легкоподвижном острове в воде (рис. 1).

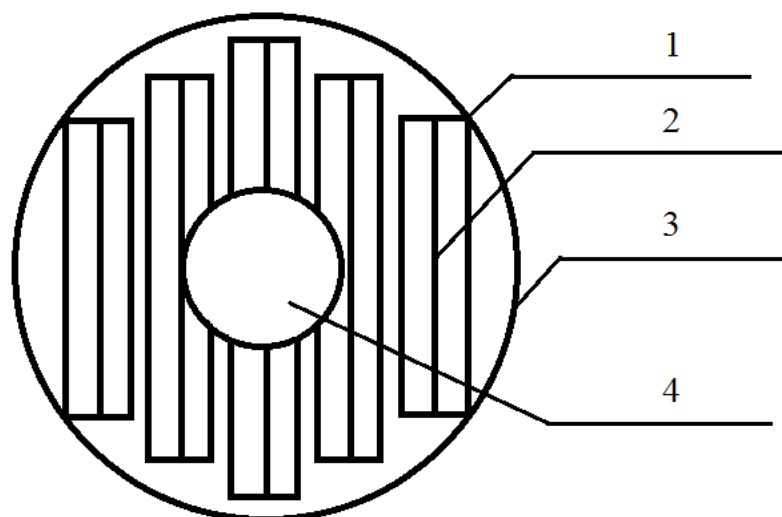


Рис. 1. Солнечный остров:

1 — гелиостаты; 2 — трубы с водой; 3 — платформа; 4 — турбина, генератор, конденсатор

Концентраторами в данной схеме являются протяженные цилиндрические зеркала, в фокусе которых проложены водяные трубы, вода в которых вследствие нагревания превращается в пар. Для постоянной фокусировки зеркала на солнце, в течение дня весь остров делает медленные повороты в его сторону. В осуществлении поворота острова участвуют винтовые электромоторы, расположенные под водой в 10 метрах друг от друга. Намного дешевле и проще использовать систему подобного типа вместо поворота каждого зеркала отдельно.

Для такой электростанции нет необходимости в возведении фундамента, остров плавает на воде в виде тора, поверх него натянута тонкая мембрана, на которой расположены зеркала. Воздушные массы подкачивают воздух под мембрану. При давлении менее чем 0,1 атмосфер такое поле создает подъемную силу, обеспечивающую плавучесть всего комплекса.

Был проведен анализ мощности самого большого острова диаметром 5 км. Также немаловажным достоинством острова является предоставление более 95% суммарной площади этого сооружения для собирания солнечных лучей.

При расположении станции в акватории моря полученную энергию можно передавать на сушу посредством кабеля, или использовать ее на месте, получая из морской воды водород, его можно складировать на острове, и далее переправлять на сушу. Солнечные острова можно возводить также на суше, используя соответствующие бассейны с водой.

Такие электростанции наиболее эффективны в местах с благоприятным климатом, в частности с большим обилием солнечных дней.

Солнечные острова являются экономически выгодными ввиду невысокой стоимости их производства и обслуживания. В будущем целесообразно

рассмотрения использования нейтральных вод и возведение международных электростанций.

2). Такой способ выработки электроэнергии является очень актуальным, поскольку используемое солнце является экологически чистым и возобновляемым источником энергии. Башенная солнечная электростанция состоит из поля гелиостатов — зеркал, следящих за движением Солнца, собирающих свет и направляющих его на вершину башни, где концентрируется на теплопоглощающей поверхности котла.

Полученный в результате пар поступает в паротурбину, подсоединенную к электрическим генераторам (рис. 2).

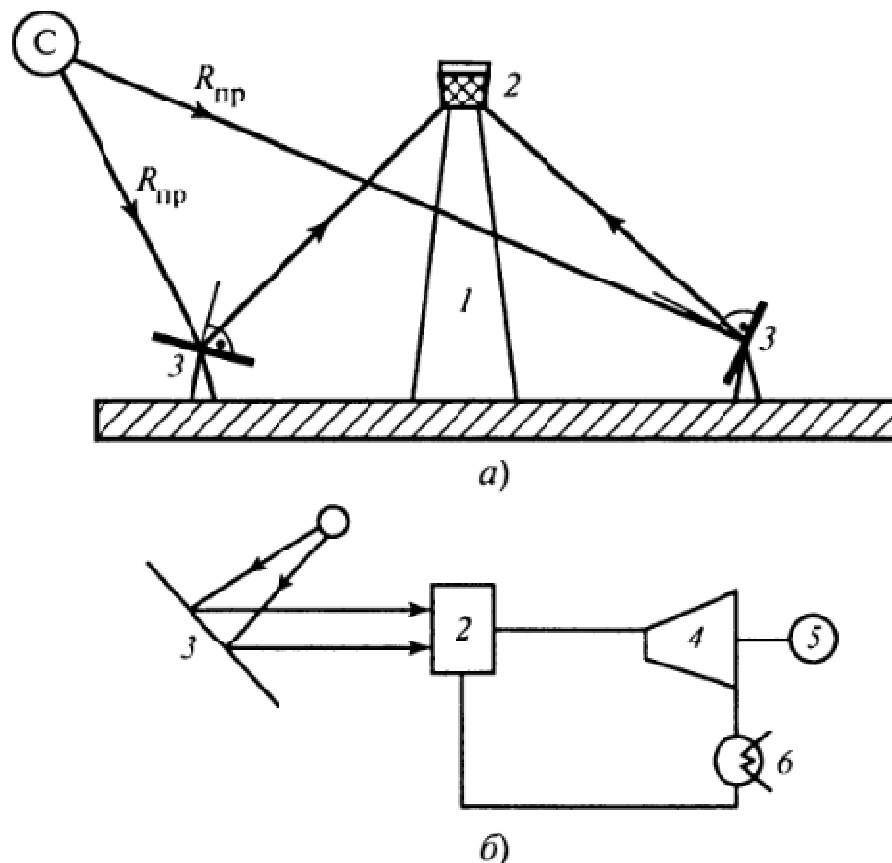


Рис. 2. Основные положения башенной солнечной энергетической станции (а) и принципиальная схема преобразования солнечной энергии в электрическую (б):

1 — башня; 2 — котел-теплоприемник солнечного излучения; 3 — гелиостаты; 4 — турбина; 5 — генератор; 6 — конденсатор

Данная электростанция будет эффективна, при расположении ее в местах большого количества солнечных дней. Реальные башенные солнечные электростанции успешно эксплуатируются в Испании, Австралии, Китае и других странах.

Данные исследования могут быть практически применены при учете пиковых нагрузок потребления электроэнергии.

3). Основным принципом действия солнечных энергетических установок с применением солнечных прудов лежит феномен, который был открыт физиком Кирсинским в начале XX. При добавлении в закрытый водоем определенное количество слоев жидкости с солью разной концентрации (в верхних слоях минимальная, нижних – максимальная), то в результате освещения пруда солнечными лучами нижние слои нагреются до температуры гораздо более высокой температуры верхних.

Для конструктивных особенностей солнечного пруда и состава раствора солей, в нижних слоях солнечного пруда возможно получить жидкость температуры от 60 до 90 градусов и даже выше.

Подобные солнечные энергетические установки имеют неоспоримые достоинства. К примеру, по сравнению с башенными солнечными электростанциями данные не нуждаются в больших расходах на конструкционные материалы в единицу используемой площади.

Наличие большого объема нагретой воды дает возможность солнечным прудам работать с аккумуляторами теплоты с разным аккумуляционным циклом.

При этом накопленное в них тепло можно использовать как для получения электроэнергии, так и для теплоснабжения сооружений и зданий. Солнечный пруд с суммарной глубиной около двух метров может обеспечивать непрерывную работу СЭУ в течении недели даже при полном отсутствии солнечного излучения при наличии соответствующего объема жидкости в солнечном пруде. При увеличении объема солнечного пруда можно получить цикл тепловой аккумуляции вплоть до сезонного регулирования. Например, интенсивное накопление избытков солнечной энергии летом, аккумулируется и хранение полученного тепла до холодных сезонов года с целью использования его для отопления зданий и сооружений.

Поток солнечной энергии изменяется в течении суток от нуля в ночное время до максимального значения в солнечный полдень. Так как тепловая нагрузка отопления максимальна в зимний период, а поступление солнечной энергии в этот период минимально, для обеспечения равномерного и всесезонного теплоснабжения необходимо улавливать солнечной энергии больше, чем требуется в данный момент, а избыток накапливать в аккумуляторах различного типа.

Немаловажным преимуществом применения солнечной энергии является многообразие способов и оборудования для ее преобразования.

Таким образом реализацией этих подходов в настоящее время и в будущем является применение плавучих солнечных островов, плоских и сферических линзовых солнечных панелей, солнечных электростанций башенного типа, солнечных батарей со сферической линзой, солнечные пруды и т. д.

Литература

1. Виссарионов В. И. Солнечная энергетика. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. Hinderling T., Allani U. Солнечные острова — новый подход к экономичности. Солнечные электростанции // CSEM Научно-технический отчет. 2007.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПРИ МАССОВОМ ПЕРЕВОДЕ КОТЕЛЬНЫХ В РЕЖИМ КОГЕНЕРАЦИИ

В статье рассматривается возможное негативное влияние перевода большого количества отопительных котельных в режим мини-ТЭЦ на параметры устойчивости энергосистемы.

Ключевые слова: мини-ТЭЦ, энергосистема, мощность, устойчивость, котельная.

Предприятия по производству и транспорту тепловой энергии являются основными потребителями топливно-энергетических ресурсов в стране. Больше половины тепловой энергии в системе вырабатывается не самым совершенным способом, а цена 1 Гкал составляет 2100 рублей. Поэтому возникает задача повышения коэффициента использования топлива для его рационального использования и достижения высоких экономических показателей.

Одним из способов организации рационального энергоснабжения является модернизация котельной и установка нового оборудования с лучшими показателями экономичности. Другим способом – теплофикация, с комбинированным способом производства энергии, что приводит к снижению расхода топлива на выработку указанных видов энергии.

Вместо котельных предлагается строить мини-ТЭЦ, с помощью которых заданный микрорайон будет обеспечиваться как теплом, так и электричеством. Как известно, совместная выработка тепла и электроэнергии (когенерация) оказывается более выгодной по сравнению с отдельным производством. Наименьшие капитальные затраты и более простая эксплуатация у мини-ТЭЦ на базе газопоршневых двигателей. Коэффициент использования топлива 85%.

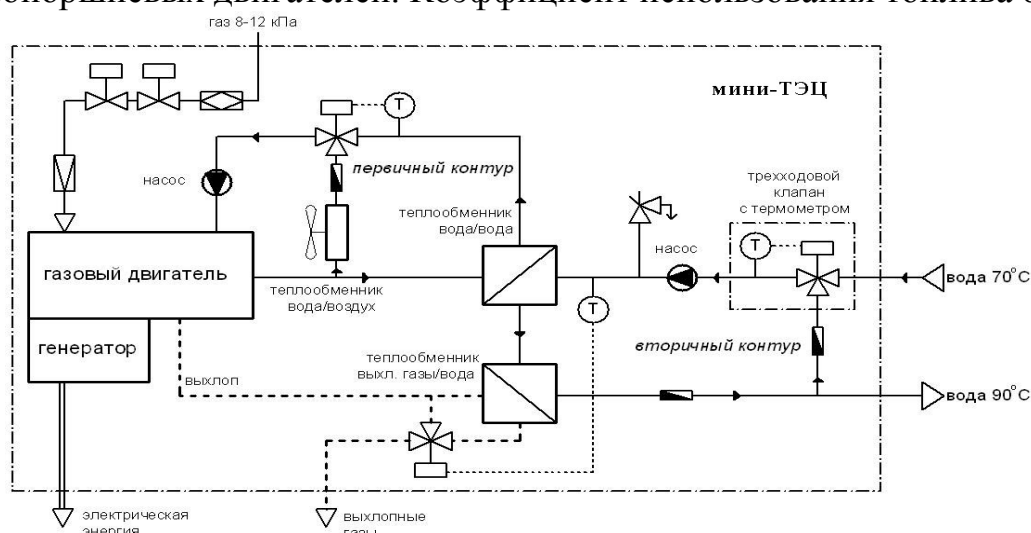


Рисунок 1. Пример схемы мини-ТЭЦ на основе газотурбинной установки

Производство электричества и тепла производится в котельной №1 г. Ярцево. Система теплоснабжения обеспечивает теплом промышленный район и восточную часть города. Она состоит из котельной, системы магистральных трубопроводов, центральных тепловых пунктов и системы квартальных сетей.

На сегодняшний день в котельной выявлена изношенность оборудования, что негативно сказывается на эффективности работы данного источника.

Реконструкция данной котельной – замена ее сравнительно небольшой ТЭЦ. А использование природного газа в качестве основного типа топлива делает перспективным использование газотурбинных и парогазовых технологий по сравнению с паросиловыми.

В Смоленской области, на сегодняшний день, функционирует четыре основных источника тепло и электроэнергии. Котельных же по области намного больше (около 300-400 штук), мощность которых варьируется от 1 до 500 Гкал/час. Соответственно электрическая мощность котельных будет соизмерима с мощностью источников, так как их количество велико.

Если все котельные перевести в режим мини – ТЭЦ, что экономически выгодно, так как они имеют малый срок окупаемости (не более 5 лет) и энергетически выгодны, то энергосистема, вместо четырех крупных источников, будет иметь огромное количество источников, сравнительно небольшой мощности. При этом суммарная генерация от этих источников может достигать до 500 МВт, что соизмеримо с мощностью самих станций.

В большинстве случаев преобразование такого вида котельных выгодно. Однако, существует проблема устойчивости энергосистемы. При этом возникает вопрос: как повлияет увеличение источников малой мощности на устойчивость энергетической системы?

В электрической системе, находящейся в эксплуатации, такая опасность может возникнуть, появляется тенденция к самораскачиванию – нечувствительности и запаздыванию сигналов в системе. В этом случае задача исследования – выявить причину и устранить возможность самораскачивания с помощью корректировки рабочей настройки автоматических устройств релейной защиты или введения каких-либо дополнительных мероприятий.

Основным способом повышения устойчивости является увеличение предела передаваемой мощности. Этого можно достичь повышением э.д.с. генераторов, напряжения на шинах нагрузки или уменьшением индуктивного сопротивления линии.

Основными средствами повышения устойчивости являются следующие:

- применение быстродействующих автоматических регуляторов напряжения, увеличивающих э. д. с. генераторов при возрастании нагрузки.
- повышение напряжений действующих линий, например со 110 на 150 или на 220 кВ;
- уменьшение индуктивного сопротивления линий, достигаемое расщеплением проводов мощных линий на два или три, или применением продольной емкостной компенсации с последовательным включением в линию батареи конденсаторов;
- применение быстродействующих выключателей, защит и автоматического повторного включения линий.

Таким образом, можно сделать о том, что большое количество источников может, как улучшить состояние энергосистемы, так и навредить ей. Экономич-

ческий эффект от преобразования источников в мини-ТЭЦ будет гаситься экономическими потерями при развале энергосистемы. Чтобы не произошло сбоев нужно использовать современное дорогостоящее оборудование, способное быстро реагировать на возмущения системы.

Литература:

1. П. А. Кузютин, А. Г. Никифоров. Предварительный анализ возможности создания ТЭЦ на базе котельной. Смоленский филиал МЭИ (ТУ) г. Смоленск.
2. А. О. Рожанский, А. Г. Никифоров. Алгоритм построения оптимальной системы тепло- и электроснабжения на базе газопоршневых двигателей.

Д.В. Молдованова, студ.

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

МЕТОДЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛА, ОТХОДЯЩЕГО С УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМА

В статье рассматриваются проблемы утилизации и нерационального использования тепла на установке производства битума. Приведены схемы, описание работы и расчет установки для производства битума. Описаны методы эффективного использования тепла с установки производства битума.

Ключевые слова: установка для производства битума, окисление, гудрон, битум, тепло, погружные холодильники.

Современное производство битума является одним из перспективных направлений. По развитию нефтебитумного потенциала Россия занимает 2 место среди общеизвестных мировых стран. Единственное кому уступает Россия в данном производстве это США, но при этом, опережая Канаду, которая находится на 3 месте, и другие страны.

Сырьем для производства битума является гудрон. Характеристики гудрона напрямую зависят от качества используемых нефтепродуктов, условий перегонки, а также от процента извлеченных при перегонке газойлевых фракций.

Для производства дорожного битума используются различные методы, такие как: концентрирование нефтяных остатков, с последующей вакуумной перегонкой под воздействием водяного пара или инертного газа; окисление кислородом воздуха нефтяных остатков, при высокой температуре; перемешиванием остатков нефти с остаточными продуктами и дистиллятом; совмещением нескольких способов.

Чаще всего применяется метод окисления кислородом остатков переработки нефти, в частности гудрона. Данный способ осуществляется в пустотелой окислительной колонне, с учетом технологических параметров, необходимых для осуществления процесса.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема установки производства битума методом окисления.

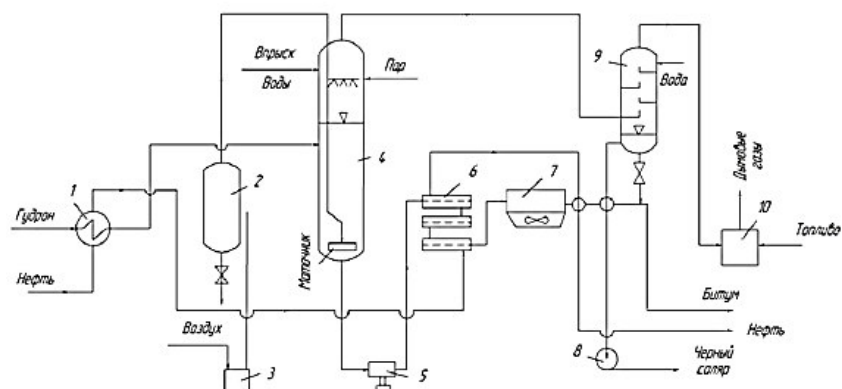


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки производства битума методом окисления

Производство окисленного битума на установке представляет собой процесс непрерывного окисления гудрона или смесевой композиции сырья кислородом воздуха в реакторе колонного типа.

Известно, что качество дорожного покрытия в России существенно уступает качеству дорог за рубежом. Это указывает на различие нормативной базы, а так же на соблюдение требований при производстве дорожного битума.

Межремонтный период дорожного покрытия в России 3-4 года, за границей же он составляет 10-12 лет, что показывает низкие эксплуатационные характеристики материала для производства дорожного битума.

В результате расчета материального баланса колонны окисления, учитывая производительность колонны 190000 т/год по сырью, были получены продукты, в количестве представленные в таблице[1].

Таблица 1 - Материальный баланс колонны окисления

Показатели	% мас.	кг/ч	т/сут.	т/год
Взято:				
Гудрон	100	32181,6	772,4	190000
Воздух	8,9	2896,3	69,6	17099,8
Итого	108,9	35077,9	842	207099,8
Получено:				
Битум дорожный	97,0	31216,2	749,2	184300,5
Азот	6,9	2230,2	53,5	13167,1
Кислород	0,4	144,8	3,5	861
Углекислый газ	0,6	215,1	5,2	1279,2
Водяные пары	1,1	410,5	9,9	2435,4
Углеводородные газы	1,5	482,7	11,6	2853,6
Отгон	1,2	378,4	9,1	2238,6
Итого	108,7	17 539,8	421	207050,2

Рассчитаем количество отгона по (3.12)[1]:

$$G_{\text{ж}} = 1,176 \cdot \frac{32181,6}{100} = 378,4 \text{ кг/ч}$$

То есть, в составе отгона (черного соляра) образуется каждый час 378,4 кг жидких продуктов, которые используются как котельное топливо на производстве.

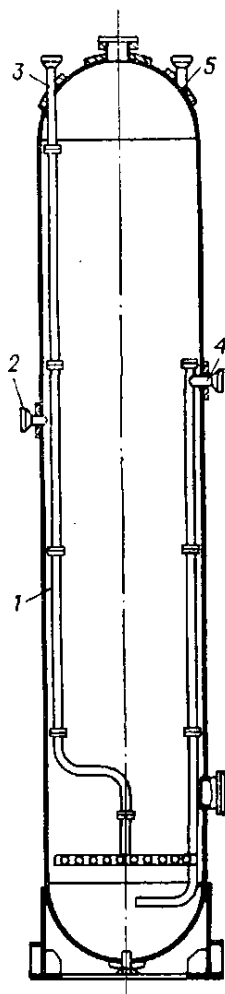


Рисунок 2 – Пустотелая окислительная колонна

Параметры при, которых происходит процесс: давление, $P=0,4$ Мпа, температура, предварительно разогретого гудрона $t=220^{\circ}\text{C}$

В результате расчета теплового баланса колонны получается избыток тепла в количестве 1970 кДж/кг, который можно убрать путем подачи холодной воды наверх колонны или же возможно поддерживать тепловой режим окислительного процесса путем рециркуляции готового битума с утилизацией его избыточного тепла. Схема процесса рециркуляции представлена на рисунке 3.

После установки готовый продукт – битум выходит нагретым до температуры в $240-260^{\circ}\text{C}$, так как проходящая в колонне реакция является экзотермической. Для хранения и транспортировки готового битума его необходимо охладить. Охлаждение битума происходит в погружных холодильниках, рас-

положенных на площадках производства битума. Процесс рециркуляции также происходит через погружной холодильник. Погружные теплообменники представляют собой заполненные водой металлические ящики, в которых расположен один или несколько змеевиков. По змеевикам движется охлаждаемый битум. После прохождения через холодную воду перегретого битума, вода имеет довольно высокую температуру, которую можно использовать для нагрева гудрона (исходного продукта).

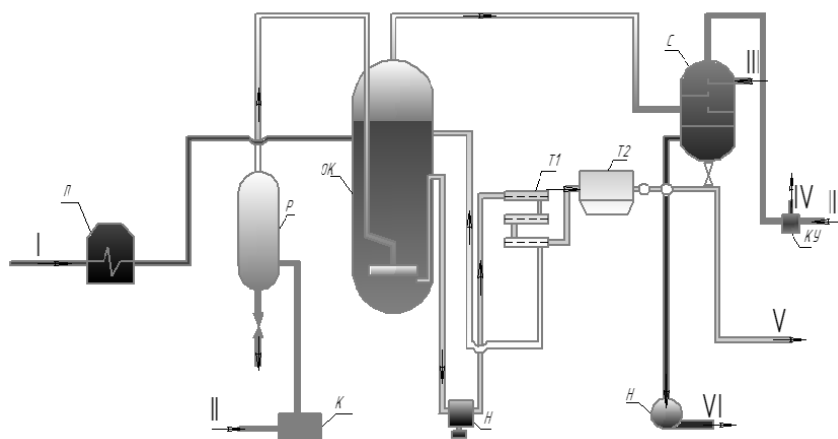


Рисунок 3 - Принципиальная схема установки производства битума методом окисления с рециркуляцией готового продукта-битума

Данными методами использования тепла, можно оптимизировать и снизить затраты на подогрев сырья. Тем самым установка является более эффективной и срок окупаемости установки уменьшается.

Литература

Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Оборудование и основы проектирования» и к ВКР для студентов направления 240100 Химическая технология – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2014. –34с.

М.А. Танатаров, М.Н. Ахметшина, Р.А. Фасхутдинов Технологические расчеты установок переработки нефти. Учеб.пособие для вузов /. – М.: Химия, 2007. - 352 с.

В.А. Найденов, к.ф.-м.н., доц

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

НОВАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАКОНОВ БОЙЛЯ – МАРИОТТА И ДАЛЬТОНА

Приводится описание и реализация лабораторной работы с применением газовых законов для воздуха при постоянной температуре, когда его практически точно можно считать идеальным газом.

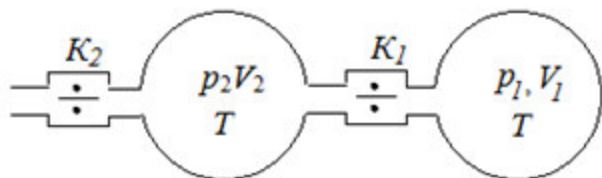
Ключевые слова: парциальное давление, вакуумметр, форвакуумный насос, теория, эксперимент.

Теория работы

Представим себе два объема V_1 и V_2 , соединенных между собой переходом с краном K_1 между ними и краном K_2 , соединяющим сосуд V_2 с атмосферой.

Пусть при постоянной температуре начальные давления воздуха в этих сосудах соответственно равны p_1 и p_2 , а краны K_1 и K_2 закрыты. Если открыть кран K_1 , то газ из сосуда с объемом V_1 распространится по всему объему и создаст парциальное давление p_1' , которое связано с первоначальным давлением законом Бойля-Мариотта

$$p_1 V_1 = p_1' (V_1 + V_2).$$



Аналогично рассуждая для сосуда V_2 , получим $p_2 V_2 = p_2' (V_1 + V_2)$, где p_2' - парциальное давление газа, первоначально находившегося в сосуде V_2 .

Рис.1. Схема опыта

Складывая оба уравнения, получим $p_1 V_1 + p_2 V_2 = (p_1' + p_2') (V_1 + V_2)$.

По закону Дальтона общее давление газа p после открывания крана K_1 должно быть равно сумме парциальных давлений $p_1' + p_2'$, т.е. $p = p_1' + p_2'$.

Тогда

$$p_1 V_1 + p_2 V_2 = p (V_1 + V_2),$$

отсюда

$$p = \frac{p_2 V_2}{V_1 + V_2} + \frac{p_1 V_1}{V_1 + V_2} \quad (1)$$

Пусть начальное давление воздуха во втором сосуде равно атмосферному, т.е. p_0 , тогда

$$p = \frac{p_0 V_2}{V_1 + V_2} + \frac{p_1 V_1}{V_1 + V_2} \quad (2)$$

Таким образом, из законов Бойля-Мариотта и Дальтона следует, что давление газа p в сосудах V_1 и V_2 после открывания крана K_1 (при закрытом кране K_2) должно быть линейной функцией от начального давления p_1 в первом сосуде с объемом V_1 (см.рис.2).

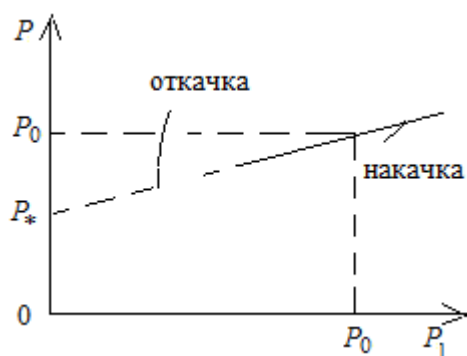


Рис.2 Зависимость давления p от давления p_1

Экстраполируя график к оси ординат, можно найти давление p_* , которое равно

$$p_* = \frac{p_0 V_2}{V_1 + V_2} \quad (3)$$

С помощью уравнения (3) легко рассчитать отношение объемов сосудов, которое оказывается равным

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_0}{p_*} - 1 \quad (4)$$

При этом начальное давление p_1 в сосуде V_1 может быть либо меньше атмосферного (откачка), либо больше атмосферного (накачка). Если полученная экспериментально зависимость $p = f(p_1)$ является линейной, это служит доказательством справедливости законов Бойля-Мариотта и Дальтона.

Описание установки и метода измерений

Применяемая в настоящей работе установка состоит из двух сосудов V_1 и V_2 , соединительных кранов K_1 , K_2 и K_3 и образцового вакуумметра ВО. Если открыть краны K_1 , K_2 и K_3 , насос будет соединен с атмосферой.

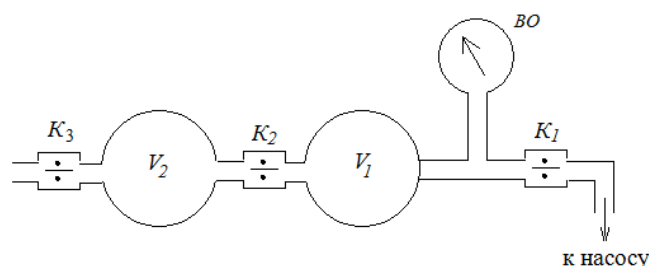


Рис.3. Схема установки

После откачки воздуха из сосуда V_1 , кран K_1 закрывают, фиксируя давление p_1 в этом сосуде. Кран K_3 закрывают при давлении p_0 в сосуде V_2 . Затем кран K_2 открывают, фиксируя установившееся в сосудах V_1 и V_2 одинаковое давление, равное p . Эту операцию повторяют, меняя давление p_1 в интервале от p_0 до $0,1 p_0$ ступеньками, примерно равными 10 крупным делениям шкалы вакуумметра. Образцовый вакуумметр ВО измеряет разность давлений в сосуде V_1 , с которым он соединен, и в лаборатории.

При этом в условных единицах давление в сосуде V_1 можно считать равным $p_1 = 100 - n_1$ усл.ед, где n_1 - число условных единиц, которое показывает вакуумметр.

Аналогично установившееся давление в сосудах V_1 и V_2 после открывания крана K_2 равно $p = 100 - n$ усл.ед.

Результаты эксперимента

Опыты подтвердили линейную зависимость давления p , установившегося в системе из двух сосудов, от начального давления p_1 в одном из них, полученную с помощью известных газовых законов.

В таблице, приведенной ниже, зафиксированы результаты, полученные на опыте с откачиванием воздуха из сосуда V_1 с помощью форвакуумного насоса.

Таблица результатов

n_1 , усл.ед	9,5	20,5	30,5	45,7	51,7	61,0	69,9	81,6	90,8
P_1 усл.ед	90,5	79,5	69,5	54,3	48,3	39,0	30,1	18,4	9,2
n усл.ед	5,5	12,2	18,8	26,0	30,2	34,9	39,6	46,6	50,4
P , усл.ед	94,5	87,8	81,2	74,0	69,8	65,1	60,4	53,7	49,6



Рис.4 График зависимости $p = f(p_1)$

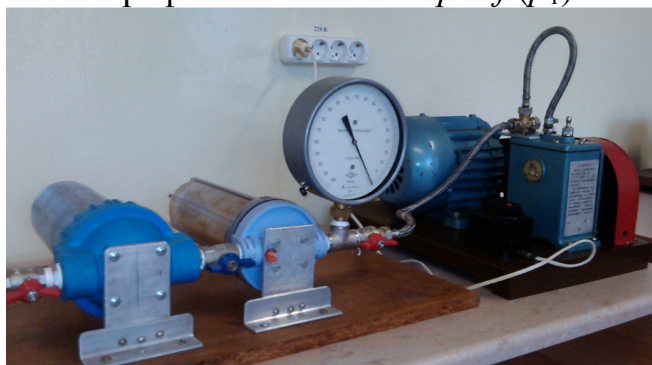


Рис.5. Лабораторная установка собрана из деталей с полудюймовой резьбой, которые можно приобрести в магазинах сантехники.

На рис.4 приведен график зависимости $p = f(p_1)$, где давления даны в условных единицах. Давление p^* оказалось равным $p^*=43,5$ усл.ед., а отношение эффективных объемов $-V_1 / V_2 = 1,29$. Если использовать накачку воздуха, то следует заменить вакуумметр ВО на образцовый манометр ОМ, а форвакуумный насос – на компрессор.

С точки зрения требований техники безопасности откачивание воздуха представляется более безопасным.

Вся установка (см.рис.5), кроме вакуумметра и форвакуумного насоса,

Заключение.

Опыт эксплуатации приведенной лабораторной установки позволяет рекомендовать ее в качестве стандартного оборудования для физических лабораторий ВУЗов, тем более, что ее изготовление из покупных деталей не требует высокой квалификации и больших финансовых затрат.

Литература

1. Трофимова Т.И.. Курс общей физики:М.: Высшая школа, 2008.-560с.
2. Гринкруг М.С..Вакулюк А.А. Лабораторный практикум по физике – СПб,: “Лань”, 2012.-480с.
3. Общая физика: руководство по лабораторному практикуму: Под ред.Крынецкого И.Б. и Струкова Б.А. –М.: ИНФА, 2010.-596 с.
4. Иванов В.Е., Найденов В.А., Широких Т.В. Физический практикум. Механика и молекулярная физика:Смоленск, 2017, -76с.

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ПОСЛЕДСТВИЙ РЕФОРМИРОВАНИЯ РАО «ЕЭС РОССИИ»

В статье рассматриваются результаты реформирования РАО «ЕЭС России» с учетом общего технологического состояния отрасли, специфики развития ТЭК России и требований, предъявляемых рыночной инфраструктурой экономике страны.

Ключевые слова: единая энергетическая система, реформирование отрасли, высокоэффективные виды топлива, малая энергетика, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.

Реформирование РАО «ЕЭС России» стало важнейшим событием для современной отечественной энергетики, сопоставимым по своим последствиям на развитие отрасли с программой ГОЭЛРО, реализованной в Советском Союзе в 20 – 30 годы прошлого века. Именно тогда была создана единая энергосистема страны. В России ее административно-правовым воплощением стал холдинг РАО «ЕЭС России». В его состав входили 73 вертикально интегрированных компании, сетевой бизнес – в лице Федеральной сетевой компании, оперативно-диспетчерское управление, научно-исследовательские и проектно-конструкторские организации, а также энергостроительные организации. В производственные мощности РАО «ЕЭС России» входило 405 тепловых и гидроэлектростанций – мощностью 156 ГВт, что на 2000 год составляло 72% общей мощности предприятий российской энергетики. Общая протяженность линий магистральных электропередач, принадлежавших холдингу, составляла 2,5 миллиона километров (98% от общероссийской протяженности) [1].

В период с 2001 – 2003 год была создана нормативно-правовая база для реформирования, которое было осуществлено с 2003 по 2008 год. Декларируемыми целями реформы стали:

1. Создание рыночной конкуренции в отрасли за счет выделения компаний производящих, передающих и реализующих энергию.
2. Привлечение частных инвестиций в энергетику.
3. Снижение стоимости энергии.

Последствия осуществления реформы являются предметом острых дискуссий до настоящего времени. Ни одна из целей не была достигнута в явном виде. Переход от монополии к олигополии в сфере производства, передачи и распределения энергии не мог способствовать снижению цен на нее. Так в период с 2008 по 2017 год, с учетом влияния технологических и институциональных факторов, средний темп роста цен на тепловую и электрическую энергию составил 7 – 8 % в год, что соответствовало тренду, сложившемуся начиная с 2005 года. Динамика и структура инвестиций в отрасли также не претерпела существенных изменений. Как и прежде частные инвестиции в ТЭК России составляют – 90 %, а оставшиеся 10 % финансируются за счет средств бюджета. Что касается величины инвестирования, то она снизилась в 2014 году на 6 % и постепенно вернулась в 2017 году к прежним значениям. Причину

этого следует искать не в последствиях реформирования, а в макроэкономической конъюнктуре, определяемой последствиями перманентного мирового финансового кризиса и экономическими санкциями. Произошло также усложнение и снижение эффективности системы управления в отрасли и рост аварийности в связи с нарушением единой системы управления и технологического контроля [2].

Тем не менее, по нашему мнению оценивать результаты реформирования РАО «ЕЭС России» следует с учетом общего технологического состояния отрасли, специфики развития ТЭК России и требований, предъявляемых рыночной инфраструктурой экономике страны.

Так абсолютно понятным и прозрачным стал процесс формирования цен на электрическую и тепловую энергию, определились приоритетные направления технического развития генерирующих установок и стали экономически стимулируемыми источники повышения эффективности производства, передачи и потребления энергии.

Возникли условия для широкого применения природного газа в качестве высокоэффективного топлива. В последние 10 лет в стране не было построено ни одной ТЭС, работающей на угольном топливе. В настоящий момент времени 68% тепловой и электрической энергии на тепловых станциях и котельных производится с использованием газового топлива.

Стала развиваться малая энергетика в виде станций мощностью до 50 МВт и котельных, использующих газотурбинные установки для осуществления когенерации и тригенерации. По мнению специалистов, при широкомасштабной реконструкции котельных с теплопроизводительностью порядка 50 Гкал/ч, с размещением в них газотурбинных установок, их суммарная мощность в европейской части России может достичь к 2020 году 10 ГВт. При оптимальном выборе оборудования КПД для подобных когенерационных объектов энергетики достигает 90 %.

Появились стимулы для развития и практического использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Они имеют существенные ограничения использования, обусловленные географическими, климатическими и отраслевыми факторами, а также наличием централизованных источников энергии, но находят место в составе комбинированных автономных энергетических систем для южных, северных и дальневосточных регионов преимущественно в агропромышленном комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве.

Все вышесказанное можно рассматривать как положительные последствия реформирования РАО «ЕЭС России», обусловленные созданием в отрасли рыночной инфраструктуры, стимулирующей обеспечение энергоэффективности в области производства и использования тепловой и электрической энергии. Энергоемкость отечественного производства примерно в два раза превышает энергоемкость стран Западной Европы и США. Удельный расход топлива на производство 1 кВт·ч в России составляет порядка 0,5 кг и следует снизить его до величины 280 – 360 грамм. По прогнозам международного энергетического агентства, в период до 2035 года России потребуется инвестировать в тепло- и

электроэнергетику 614 миллиардов долларов. При этом вложения в энергоэффективность должны составить 212 миллиардов долларов. Только реформированная отрасль и рыночной инфраструктурой способна обеспечить привлечение указанных средств и их эффективное использование. При этом придется разрабатывать показатели и методики, позволяющие комплексно учитывать влияние рыночной конъюнктуры и технические характеристики оборудования генерирующего и потребляющего энергию. Тогда можно будет объективно оценить последствия реформирования РАО «ЕЭС России».

Литература

1. Бергер М.Л. Крест Чубайса. – М.: КоЛибри, 2008. – 448 с.
2. Новак А.В. Анализ итогов реформирования РАО «ЕЭС России» и оценка эффективности деятельности созданных на его базе структур // Вести в электроэнергетике. – 2013. - № 6. – С. 3 – 10.

*Г.Ю. Новиков, к. т. н., доцент; Н.Р. Савельева, студ.
(филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленск)*

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА CO_2 И CO В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ, С ИМПУЛЬСНОЙ ИОНИЗАЦИЕЙ ИССЛЕДУЕМОЙ СМЕСИ В БАРЬЕРНОМ РАЗРЯДЕ

Рассмотрены физические процессы в импульсном наносекундном барьерном разряде при атмосферном давлении, позволяющее использовать его в газоаналитическом датчике для определения содержания CO_2 и CO в выбросах ТЭС и котельных.

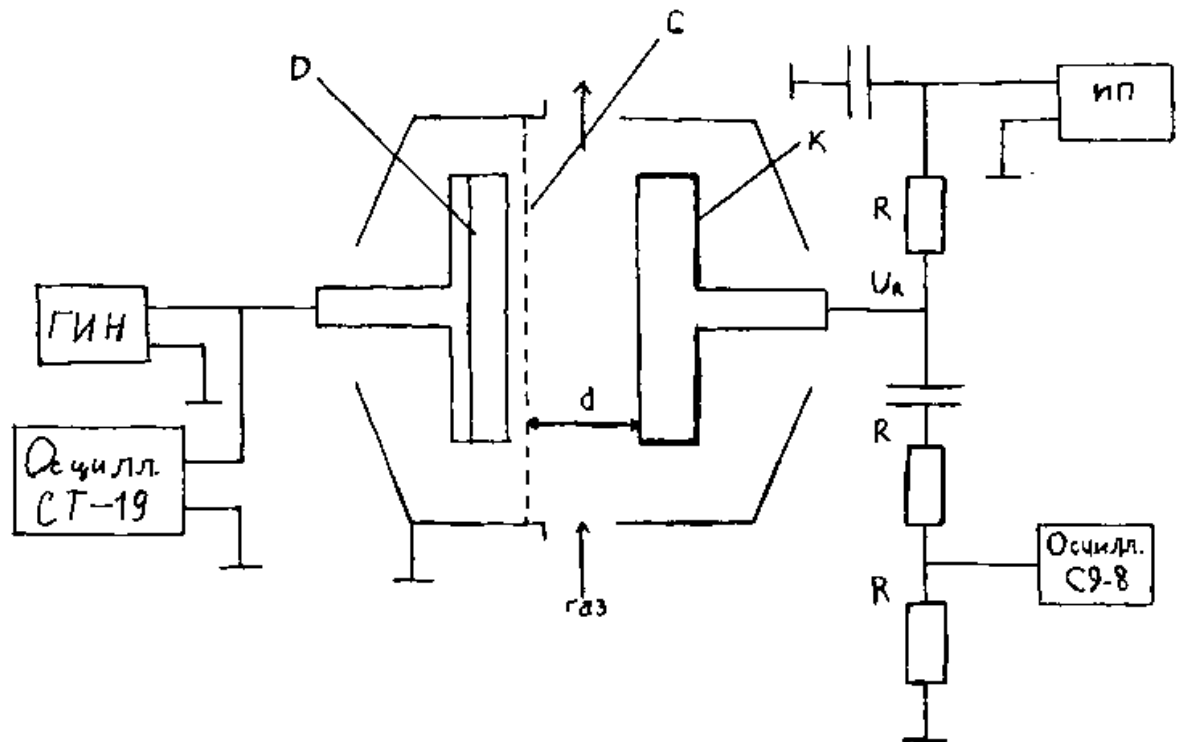
Ключевые слова: барьерный разряд, импульсная ионизация, электронные лавины, коэффициент ударной ионизации, газоаналитический датчик.

Существенной составляющей в загрязнении окружающей среды ТЭС и котельными является CO_2 и CO . Для обеспечения экологической безопасности следует развивать газоаналитические методы, позволяющие создавать датчики, работающие при атмосферном давлении, в большом диапазоне температур, обеспечивающие высокую точность и широкий диапазон измерений, технически простые и надёжные.

Нами был предложен метод определения содержания примесей CO_2 и CO в атмосфере с помощью датчика, осуществляющего ионизацию исследуемой газовой смеси в импульсном барьерном разряде. Барьерным называется разряд между электродами, если хотя бы на один из них нанесено диэлектрическое покрытие. Функциональная схема газоаналитического датчика приведена на рис.1.

В состав датчика входят разрядная и дрейфовая камеры. В разрядной камере расположен диэлектрический электрод (D) и заземленная металлическая сетка (С), между ними возникает барьерный разряд при подачи высоковольтного импульса с генератора наносекундных импульсов (ГИН) на диэлектрический электрод. Дрейфовая камера находится между сеткой и коллектором (К) - медным электродом, на который падает постоянное, отрицательное напряжение амплитудой 2 - 4 кВ. При этом в камере возникает электрическое поле, под действием которого в неё втягиваются положительные ионы из разрядного

промежутка и дрейфуют в направлении коллектора, что сопровождается наведением тока в его цепи. Осциллограмма этого тока снималась с осциллографа С9-8. Исследуемая газовая смесь прокачивается через разрядную камеру с постоянной скоростью.



Барьерный разряд в датчике был объёмным и стабильным. Измерение величины заряда переносимого коллекторным током позволило определить содержание CO_2 в атмосферном воздухе в диапазоне 0,01-2% и CO в диапазоне 0,01÷1.5%.

Разряд описывается системы уравнений сформулированной Г.А. Мегяуом. Для разрядного промежутка с проводящими электродами при внесении в неё изменений учитывающих наличие интеллекта только на одном из электродов.[1].

$$C \frac{dU}{dT} + N_0 \cdot \exp \left(\int_0^{\infty} \alpha \cdot v dt \right) = T(t) \quad (1)$$

$$I(t) = \frac{U_0 - U(t) - U_c}{\rho},$$

где N_0 - количество носителей (электронов) инициирующих разряд, ρ - активное сопротивление разрядного промежутка, d - расстояние между электродами, v - скорость перемещения электронов под влиянием электрического поля, приложенного к разрядному промежутку, α - коэффициент Таунсенда, U_0 - амплитуда импульса напряжения, приложенного к разрядному промежутку, U_c - падение напряжения на разрядном промежутке, обусловленное переносом в нём электронов и перезарядкой за счёт этого электрода с диэлектрическим покрытием.

Процесс ограничения напряженности электрического поля в барьерном разряде приводит к образованию объемного разряда, из-за пространственного перекрытия микроканальных разрядом, концентрация носителей в которых не превышает 10^{12} см^{-3} . Для объяснения возникновения объемного разряда при атмосферном давлении необходимо установить механизм появления электронов, инициирующих микроканальные разряды, концентрация которых должна быть не менее чем 10^3 см^{-3} .

По нашему мнению появление электронов можно объяснить автоэлектронной эмиссией из металлической сетки под действием электрического поля. Оценка, выполненная на основании уравнения Фаулера-Нордгейма, для условий проводимых исследований, дала анонсирует порядком 10^4 .

Чувствительность разрядного тока к составу газовой смеси, на которой был получен барьерный разряд определяется тем, что начиная с $\frac{E}{p} = 50 \frac{\text{В}}{\text{тор} * \text{см}}$ коэффициент ударной ионизации может аппроксимироваться как сумма произведений коэффициентов ионизации для компонентов смеси на их процентное содержание.

$$\alpha_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \alpha_i * C_i \quad (2),$$

где α_{Σ} - коэффициент ударной ионизации для газовой смеси, α_i - коэффициент ударной ионизации для i -ой составляющей смеси, C_i - количество i -ой составляющей смеси, m - число составляющих в газовой смеси.

Математическое моделирование процессов в газоаналитическом датчике на основе изложенной в статье физических представлений о них, дало хорошее согласование с результатами экспериментальных исследований.

Литература:

1. Королёв Ю.Д., Месяц Г.А. Физика импульсного пробоя газов. - М.: Наука, 1991, с.223

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

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОРИСТЫХ ЭКРАНАХ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

В работе рассмотрена задача энергообмена изоляции технологических агрегатов с пористым экраном, охлаждаемом посредством продуваемого сквозь экран воздуха, который нагреваясь может быть использован в технологическом процессе. Получено оригинальное решение для утилизируемых потоков тепла при соответствующих граничных условиях.

Ключевые слова: утилизация низкопотенциального тепла, пористый экран, теплообмен в пористом слое, тепловой поток.

Тепловые потери через изоляцию технологических агрегатов могут быть уменьшены при использовании пористых или порозных экранных перегородок, через которые фильтруется воздух, забирая тепло, полученное пористым экраном посредством радиации. За счет развитой поверхности энергообмена

между фильтруемым воздухом и пористым экраном температура экрана практически полностью выравнивается до температуры фильтруемого воздуха и, таким образом, потери сводятся к минимуму. Естественно, такая схема работает при использовании тепла воздуха в технологическом цикле агрегата.

В работе рассмотрена задача определения конструкционных параметров системы утилизации тепла, теряемого через изоляцию.

Если на некотором расстоянии от изоляции поместить пористый экран – саркофаг, через который фильтровать воздух, создавая необходимое разрежение, то поток тепла, падающий на пористый экран, будет сниматься воздухом (рис. 1). Нагретый воздух можно подавать в технологический цикл агрегата, например, в горелочные устройства, утилизируя, таким образом, тепловую энергию, теряемую через ограждения. При проектировании таких устройств необходимо решить задачу съема энергии с нагретого пористого материала экрана, обеспечения равномерной подачи воздуха в пористую перегородку и выбора оптимальной толщины пористого экрана.

Система уравнений теплообмена при фильтрации воздуха через пористую стенку, нагреваемую потоком излучения от обмуровки, имеет вид:

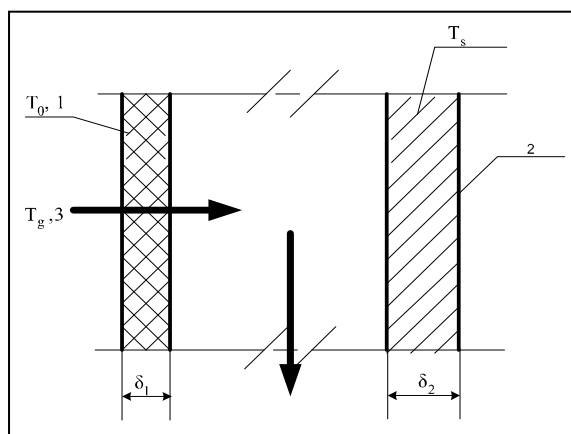


Рис. 1. Схема подачи воздуха через пористую перегородку
1 – пористый экран; 2 – стенка ограждения агрегата;
3 – поток воздуха через пористый материал экрана

$$-\lambda_g \left(\frac{d^2 T_m}{dx^2} \right) = \alpha_v (T_g - T_m)$$

$$-\rho_g c_{pg} w_g \frac{dT_g}{dx} = \alpha_v (T_g - T_m)$$

$$x = 0, \quad -\lambda_s \frac{dT_m}{dx} = q_R;$$

$$x = 0, \quad T_g = T_0, \quad -\lambda_s \frac{dT_m}{dx} = \alpha_s (T_m - T_0);$$

где T_m , T_g , T_s , T_0 – температура пористого материала, газа-воздуха, внешней стенки, ограждения, окружающей среды, K , T_{go} – температура воздуха на входе в пористый слой, K , α_v , α_F , α_R – коэф-

фициенты теплоотдачи: объемный в пористом экране, поверхностный от пористой стенки к окружающей среде, радиационный от изоляции стенки ограждения к пористой стенке, Вт/м²К, δ – толщина пористого экрана, м, ρ_g – плотность газа при температуре окружающей среды, кг/м³, C_{pg} – теплоемкость газа, кДж/кгК, λ_s – коэффициент теплопроводности скелета пористого экрана; w_g – скорость фильтрации воздуха, м/с; q_R – плотность потока излучением Вт/м².
Простыми преобразованиями система сводится к уравнению:

$$\frac{d^3 T_m}{dx^3} + \frac{\alpha_v}{\rho_g c_{pg} w_g} \frac{dT_m}{dx^2} - \frac{\alpha_v}{\lambda_s} \frac{dT_m}{dx} = 0.$$

Представляем решение в виде экспоненты $T_m \approx e^{\lambda x}$. Получаем характеристическое уравнение и три корня:

$$k^3 + \frac{\alpha_v}{\rho_g c_{pg} w_g} k^2 - \frac{\alpha_v}{\lambda_s} k = 0, \quad k_1 = 0, \quad k_{2,3} = -\frac{\alpha_v}{2\rho_g c_{pg} w_g} \pm \sqrt{\left(\frac{\alpha_v}{2\rho_g c_{pg} w_g}\right)^2 - \frac{2\alpha_v}{\lambda_s}}$$

Решение формально имеет вид:

$$T_m = a_1 e^{k_1 x} + a_2 e^{k_2 x} + a_3 e^{k_3 x} = a_1 + a_2 e^{k_2 x} + a_3 e^{k_3 x}$$

Использование граничных условий дает возможность записать три уравнения относительно коэффициентов a_1, a_2, a_3 :

$$q_R = -\lambda_s \left. \frac{dT_m}{dx} \right|_{x=0}, \quad \lambda_s \frac{dT_m}{dx} = a_2 k_2 e^{k_2 x} + a_3 k_3 e^{k_3 x}, \quad \frac{q_R}{\lambda_s} = a_2 k_2 + a_3 k_3$$

$$T_{g,x=0} = T_0, \quad T_0 = a_1 + a_2 + a_3 - \frac{\lambda_s}{\alpha_v} (a_2 k_2^2 + a_3 k_3^2)$$

$$\lambda_s \left. \frac{dT_m}{dx} \right|_{x=l} = \alpha_s (T_m - T_0) \Big|_{x=l}, \quad \lambda_s a_2 k_2 e^{k_2 l} + \lambda_s a_3 k_3 e^{k_3 l} = \alpha_s (a_1 + a_2 e^{k_2 l} + a_3 e^{k_3 l} - T_0)$$

Откуда для потока получаем:

$$\frac{q_l}{q_R} = \frac{\lambda_s (a_2 k_2 e^{k_2 l} + a_3 k_3 e^{k_3 l})}{\lambda (a_2 k_2 + a_3 k_3)}$$

Таким образом, тепловой поток экспоненциально убывает в зависимости от толщины пористого экрана, что совпадает с ранее полученными решениями для других граничных условий.

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

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РЕАКЦИОННОЙ ЗОНЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО РУДОВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО РЕАКТОРА

Рассмотрена гидродинамика и тепломассоперенос при восстановлении окислов в коксовой зоне электротермического рудовосстановительного реактора, при выделении газовой фазы, барботирующей расплав. Получено, что в процессе восстановления происходит формирование диссипативных гидродинамических структур, определяющих теплофизическое поведение реакционной зоны.

Ключевые слова: плотный слой, уравнения фильтрации, тепло и массопереноса, метод возмущений.

Цель работы заключается в определении конвективных потоков, обусловленных изменением плотности, и его влияния на характеристики системы. Анализируемая система представляет собой двухмерный канал высотой H и шириной L , заполненный пористым материалом (пористость ϵ);

Уравнения в безразмерной форме записываются следующим образом:

$$\nabla v = 0,$$

$$\frac{1}{\sigma \text{Pr}} \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -\nabla p + (Ra_\theta \theta + Ra_c c + Ra_\phi \phi_g) \vec{y} - \vec{v} + \frac{Fs}{\text{Pr}_p} \vec{v} |\vec{v}|,$$

$$\frac{1}{\sigma} \frac{\partial c}{\partial t} = -\bar{v} \nabla c + Le \nabla^2 c + Da \omega_R(c, \theta), \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial t} &= -\bar{v} \nabla \theta + \nabla^2 \theta + Da B \omega_R(c, \theta) + Q, \\ \frac{\partial N}{\partial t} &= -\bar{v} \nabla N + D_N \Delta N + \omega_R(c, \theta) \gamma_{g1} / (\rho_g V_b), \end{aligned}$$

Здесь c – концентрация конверсия c – степень превращения ($c = 1 - C'/C'_0$), где C' и C'_0 – конечная и начальная концентрации, соответственно); t – безразмерное время ($t = t'a'/H^2 \sigma$), где t' – время, c ; a' – температуропроводность, m^2/c ; σ – соотношение теплоемкостей $\sigma = 1 + (\rho_s C_{ps}(1 - \varepsilon))/(\rho_l C_{pl}\varepsilon)$; ρ_s, ρ_l – плотность твердого и жидкого носителя; C_{ps}, C_{pl} – теплоемкость твердого и жидкого носителя; ε – порозность; Le – критерий Льюиса ($Le = D_e/a'$, где D_e – коэффициент эффективной диффузии); Da – критерий Дамкеллера: $Da = (k_0 \exp(-\gamma) L^2 C_0^{n-1})/(\varepsilon a')$, k_0 – предэкспоненциальный множитель, $\gamma = E/RT_0$ – безразмерная энергия активации, T – температура, R – универсальная газовая постоянная, индекс "0" относится к начальным значениям, n – порядок реакции); θ – безразмерная температура, $\theta = \gamma(T - T_0)/T_0$; B – безразмерный тепловой эффект реакции, адиабатическое повышение температуры: $B = Q_R C_{ps} \gamma / (\rho_l C_{pl} T_0)$; N – число пузырьков; D_N – коэффициент диффузии пузырьков; V_b – объем пузырьков. $p = p'k/(\mu_1 a')$, где p' – давление, Па; k – коэффициент проницаемости; μ_1 – динамическая вязкость жидкости, Па с; $Pr^* = \nu_1 H^2/(ka')$, Pr^* – критерий Дарси; $Ra_\theta = \beta_\theta g k H (T_0/\gamma)/(va')$, $Ra_c = \beta_c g k H/(va')$, $Ra_\phi = \beta_\phi g k H/(va')$. $\beta_c, \beta_\phi, \beta_\theta$ – коэффициенты объемного расширения массового, термического и газофазного (изменения плотности за счет присутствия газа).

С граничными условиями:

$$c = \theta = 0 \text{ при } y=0. \mathbf{n} \nabla c = \mathbf{n} \nabla \theta = 0 \text{ на всех границах,}$$

где $\mathbf{n} \mathbf{v} = 0$ у боковой стенки.

$$\text{При } y=0, \quad v_z = -Pe; \quad y=1, \quad v_z = -Pe. \quad (2)$$

Учитывая слабую распределенность пузырьков по пространству, уравнение переноса для газовой фазы можно переписать в виде

$$\frac{\partial N}{\partial t} \approx \omega_R(c, \theta) \gamma_{g1} / (\rho_g V_g), \quad N \approx \int \omega_R(c, \theta) \gamma_{g1} / (\rho_g V_g) dt. \quad (3)$$

Откуда $\varphi_g \approx \omega_R \gamma_g \tau_R / \rho_g$, τ_R – время пребывания пузырьков в слое.

$$\omega_R(c, \theta) = \frac{\partial c}{\partial t} = k_0 S(1 - c)^n \exp \left[\frac{\theta}{1 + \theta/\gamma} \right] \quad (4)$$

В дальнейшем будем рассматривать реакцию первого порядка. Экспоненту разложим в ряд до первого порядка.

$$\begin{aligned} \omega_R(c, \theta) &= \frac{\partial c}{\partial t} \approx k_0 S(1 - c)(a + b\theta) = \\ &= k_0 S(a - ac + b\theta - bc\theta) \end{aligned} \quad (5)$$

Тогда $\varphi_g \approx (k_0 S \gamma_g \tau_R / \rho_g)(a - ac + b\theta - bc\theta)$.

Полагаем задачу двумерной и стационарной, скорости фильтрации жидкости невысокими и пренебрегаем нелинейностью в уравнении движения. Рассматриваем малые отклонения всех величин, входящих в уравнения:

$v = v_0 + v_1$, $\theta = \theta_0 + \theta_1$, $c = c_0 + c_1$, причем в состоянии равновесия полагаем $v_0 = 0$.

Уравнение фильтрации можно представить в виде:

$$0 = -\nabla p + (Ra_\theta \theta + Ra_c c + Ra_\varphi (k_0 S \gamma_g \tau_R / \rho_g)(a - ac + b\theta - bc\theta))\bar{y} - \bar{v},$$

или

$$0 = -\nabla p_1 + ((Ra_\theta + Ra_\varphi (k_0 S \gamma_g \tau_R / \rho_g)\omega_\theta)\theta_1 + (Ra_c + Ra_\varphi (k_0 S \gamma_g \tau_R / \rho_g)\omega_c)c_1)\bar{y} - \bar{v}_1. \quad (6)$$

Применяя оператор rot к уравнению движения в условиях равновесия среды, когда скорость равна нулю, можно показать, что распределение температуры и концентрации будет одномерным по оси y . Распределение температуры и концентрации получается экспоненциальным. Для упрощения дальнейшего анализа и возможности аналитического исследования аппроксимируем эти экспоненты линейными распределениями. В этом случае после использования возмущенной компоненты уравнения примут вид

$$\begin{aligned} \nabla v &= 0 \\ 0 &= -\nabla p_1 + ((Ra_\theta + Ra_\varphi R_\varphi \omega_\theta)\theta_1 + (Ra_c + Ra_\varphi R_\varphi \omega_c)c_1)\bar{y} - \bar{v}_1 \\ 0 &= -\bar{v}_0 \bar{\nabla} c_1 - \bar{v}_1 \bar{\nabla} c_0 + Le \nabla^2 c_1 + (Fk / B)(\omega_\theta \theta_1 + \omega_c c_1) \\ 0 &= -\bar{v}_0 \bar{\nabla} \theta_1 - \bar{v}_1 \bar{\nabla} \theta_0 + \nabla^2 \theta_1 + Fk(\omega_\theta \theta_1 + \omega_c c_1) \end{aligned} \quad (7)$$

$R_\varphi = (k_0 S \gamma_g \tau_R / \rho_g)$, ω_θ , ω_c – коэффициенты разложения в ряд.

Определим функцию тока ψ : $v_x = \frac{\partial \psi}{\partial y}$, $v_y = -\frac{1}{\alpha} \frac{\partial \psi}{\partial x}$.

Упрощенная форма уравнений примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} &= 0, \\ -\frac{\partial p}{\partial x} - v_x &= 0, \\ -\frac{\partial p}{\partial y} + ((Ra_\theta + Ra_\varphi R_\varphi \omega_\theta)\theta_1 + (Ra_c + Ra_\varphi R_\varphi \omega_c)c_1) - v_y &= 0, \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{1}{\alpha} ((Ra_\theta + Ra_\varphi R_\varphi \omega_\theta) \frac{\partial \theta_1}{\partial x} + (Ra_c + Ra_\varphi R_\varphi \omega_c) \frac{\partial c_1}{\partial x}) &= 0, \\ \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial y^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \psi}{\partial x} + Fk(\omega_\theta \theta_1 + \omega_c c_1) &= 0, \\ \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c_1}{\partial y^2} - \frac{1}{Le\alpha} \frac{\partial \psi}{\partial x} + (Fk / LeB)(\omega_\theta \theta_1 + \omega_c c_1) &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Учитывая, что возмущения на границах затухают и не проникают за пределы, граничные условия можно записать:

$$\begin{aligned} \bar{x} = 0, \quad 0 < y < 1, \quad \theta_1 = 0, \quad c_1 = 0, \quad \psi = 0 & \quad ; \quad \bar{x} = 1, \quad 0 < y < 1, \quad \theta_1 = 0, c_1 = 0, \quad \psi = 0 & \quad ; \\ y = 0, \quad 0 < x < +1, \quad \theta_1 = 0, \quad c_1 = 0, \quad \psi = 0 & \quad ; \quad y = 1, \quad 0 < x < +1, \quad \theta_1 = 0, c_1 = 0, \quad \psi = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Исследуем устойчивость решений системы (8) по отношению к малым возмущениям в смысле Ляпунова. Будем искать решение, удовлетворяющее граничным условиям в виде:

$$\psi = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n \sin n\pi y, \quad \theta_1 = \sum_{n=1}^{\infty} \theta_n \sin n\pi y, \quad c_1 = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin n\pi y, \quad (10)$$

где ψ_n, θ_n, c_n – функции x .

Подставляя выражения (10) в уравнения (8), получим

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \psi_n}{dx^2} - n^2 \pi^2 \psi_n + \frac{1}{\alpha} ((Ra_\theta + Ra_\varphi R_\varphi \omega_\theta) \frac{d\theta_n}{dx} + (Ra_c + Ra_\varphi R_\varphi \omega_c) \frac{dc_n}{dx}) &= 0, \\ \frac{d^2 \theta_n}{dx^2} - n^2 \pi^2 \theta_n - \frac{d\psi_n}{dx} + Fk(\omega_\theta \theta_n + \omega_c c_n) &= 0 \\ \frac{d^2 c_n}{dx^2} - n^2 \pi^2 c_n - \frac{1}{Le\alpha} \frac{\partial \psi}{\partial x} + (Fk / LeB)(\omega_\theta \theta_n + \omega_c c_n) &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

С граничными условиями:

$$\psi_n(0) = \psi_n(1) = 0; \quad \theta_n(0) = \theta_n(1) = 0; \quad c_n(0) = c_n(1) = 0. \quad (12)$$

Из исходной системы уравнений, получим дифференциальное уравнение четвертого порядка для ψ_n :

Представляя решение (3.19) в виде: $\psi_n \sim e^{px}$, получим характеристическое уравнение и решение для ψ запишем в виде:

$$\psi = C \sin(px) \sin(n\pi y), \quad (13)$$

где C – постоянная.

Из определения функции тока следует: $\sin(px) \cdot \sin(n\pi y) = Tr$, где Tr – константа, определяемая начальными условиями.

Особое значение имеют линии, для которых $Tr = 0$. Положение этих линий характеризуется уравнениями:

$$\frac{\pi n y}{h} = \pi m_1, \quad y = \frac{h}{n} \cdot m_1, \quad p \frac{x}{2l} = \pi m_2, \quad x = \frac{\pi 2l}{p} m_2, \quad (14)$$

где m_1, m_2 – целые числа

Эти прямые линии разбивают реакционную зону на отдельные ячейки (Рис 1). Образование циркуляционных ячеек обеспечивает интенсивное перемешивание жидкости и, следовательно, интенсифицирует массообменные процессы и химическое реагирование. В этом случае тормозящим фактором в процессе реагирования является кинетика, а не диффузия, и предположение о нулевом порядке реакции достаточно обосновано.

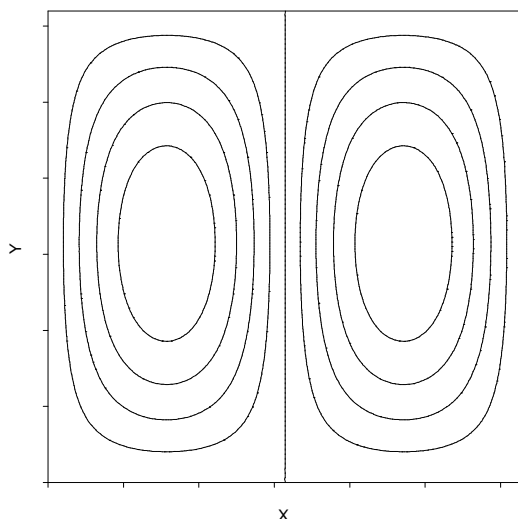


Рис.1.Траектории движения жидкости

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

ТЕПЛОФИЗИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГАЗОВЫХ ПУЗЫРЬКОВ С ЖИДКОСТЬЮ В ПРОЦЕССАХ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА

Проведен анализ различных механизмов воздействия газовых пузырьков на массоотдачу от обтекаемой поверхности к жидкости. Показано, что различные подходы к описанию массообмена дают сходные результаты.

Ключевые слова: коэффициент массоотдачи, диссипация энергии, барботаж, гетерогенная реакция.

Рассматриваются механизмы воздействия газа, барботирующего жидкость на массообменные процессы.

Понятие «динамическая скорость» вводится на основе рассмотрения движения жидкости в ламинарном пристенном слое. Это движение характеризуется касательным напряжением трения на стенке τ , плотностью жидкости ρ и ее кинематической вязкостью ν . Из этих параметров методом анализа размерностей можно получить только две возможные комбинации:

$$v_* = (\tau / \rho)^{1/2} \quad (1)$$

$$l_* = \nu / v_* \quad (2)$$

Поскольку u_* и l_* состоят из динамических характеристик потока, первая была названа динамической скоростью, вторая — динамической длиной и используются в моделях Прандтля и Кармана универсального профиля скоростей в пристенном слое.

Анализ гидродинамики многофазных потоков показал [1], что при наличии дополнительных источников турбулентности динамическую скорость в жидкости удобнее выражать через диссипацию энергии в рассматриваемой системе.

Известно, что диссипация энергии в пристенном слое жидкости

$$E = \tau (dv/dy) \quad (3)$$

В жидкостях с ньютоновскими свойствами касательные напряжения $\tau = \nu \rho \, dv/dy$ и, следовательно, диссипация энергии

$$E = \tau^2 / (\nu \rho) \quad (4)$$

Введя в это уравнение τ^2 из выражения (1), получим

$$\nu_* = (E \nu / \rho)^{1/4} \quad (5)$$

Если рассматривается система со сложным пульсационным движением, обусловленным как трением потока о стенки, так и дополнительным источником турбулентности, то в уравнении (5) необходимо учитывать суммарную диссипацию энергий

$$E = E_\tau + E_N \quad (6)$$

Здесь E_τ , в соответствии с уравнением (4); определяется величиной касательного напряжения, а E_N — удельной мощностью, вводимой в систему внешним источником.

В случае изотропной турбулентности, когда мощность внешнего источника рассеивается равномерно во всем объеме системы,

$$E_N = N / V \quad (7)$$

где N — мощность, вводимая в аппарат барботирующим газом или перемешивающим устройством, Вт; V — объем жидкости в аппарате, м^3 .

В реальных процессах система будет иметь изотропную турбулентность только в части ее объема V/χ^4 , где $\chi > 1$ — некоторый коэффициент пропорциональности. При оценке динамической скорости по уравнению (5) в реальных условиях величина χ определяется экспериментально. Анализ явлений переноса импульса и теплоты в различной аппаратуре показал [2], что наиболее вероятное значение $\chi = 2$.

Аппроксимирующая зависимость коэффициента массоотдачи:

$$\beta = 0,062 \, \nu_* \, \text{Sc}^{-2/3} \quad (8)$$

Диссипация энергии при вводе газового потока в жидкость оценивается из зависимости:

$$E_g = \rho_l g \nu_g \quad (9)$$

Тогда преобразуя (9) получим:

$$\beta = 0,062 (E \nu / \rho)^{1/4} \text{Sc}^{-2/3}, \quad \beta = 0,062 (\rho_l g \nu_g \nu / \rho)^{1/4} \text{Sc}^{-2/3} \quad \beta = 0,062 (g \nu_g \nu)^{1/4} \text{Sc}^{-2/3}$$

В [3] на основе баланса моментов сил, действующих на жидкость со стороны газовых пузырьков, получено:

$$\nu_l = \sqrt{1,6 \nu_g g h \left(\frac{\rho_l}{\xi^2 4 \sigma g} \right)^{0,25}} \quad (10)$$

где ν_l — скорость жидкости, вызванная поднимающимися пузырьками; ν_g — скорость газовой фазы; ρ_l — плотность жидкой фазы; σ — коэффициент поверхностного натяжения; ξ — коэффициент трения; h — высота уровня жидкости, при образовании фаз можно в качестве характерного размера принимать постоянную Лапласа;

Тогда связь между этими величинами формально запишется $v_l = \sqrt{av_g}$, или $v_l^2 = av_g$, или

$$v_l = \frac{av_g}{v_l}, \text{ где } a = 1,6gh \left(\frac{\rho_l}{\xi^2 4\sigma g} \right)^{0,25} \quad (11)$$

При обтекании поверхности потоком жидкости коэффициенты тепло и массообмена, можно рассчитать из соотношений для критерия Шервуда, зависящего от критериев Рейнолдса и Шмидта, используя аналогию между процессами:

$$Sh = c Re^{0,5} Sc \quad (12)$$

И критерия Нуссельта

$$Nu = c Re^{0,5} Pr \quad (13)$$

где $Pr = \frac{\nu}{a}$; $Sc = \frac{\nu}{D}$; $Re = \frac{UL}{\nu}$ – критерии Прандтля, Шмидта, Рейнолдса (ν – кинематическая вязкость жидкости, D – коэффициент диффузии среды, $L=h$)

Учет особенностей взаимодействия жидкости и газовых пузырьков определяет зависимость коэффициента массоотдачи от скорости газа. Учитывая, что жидкость приобретает скорость под действием газовых пузырьков, которые за счет трения поднимают присоединенную массу жидкости, увлекая за собой жидкость, следует в зависимости коэффициента массоотдачи использовать связь между скоростью жидкости и газа. Подставляя скорость жидкости из (11) в критерий Рейнолдса формулы (12), получим:

$$Sh = c \left(\frac{a\delta}{\nu} \right)^{0,5} Sc \left(\frac{v_g}{v_l} \right)^{0,5}, \quad (3.5.5)$$

где v_l – скорость жидкого продукта реакции; v_g – скорость газовой фазы; $\delta = h$. Соотношения, полученные различными подходами, дают качественно идентичные зависимости отражающие влияние ввода газа на коэффициенты массо- и теплообмена.

Литература

1. Соколов В.Н., Доманский И.В. Газожидкостные реакторы. Л. Машиностроение, 1976. 216с.
2. Соколов В.Н., Карбонель Х., Аксенова Е.Г. Массообмен между частицами неподвижного зернистого слоя и восходящим газожидкостным потоком//ЖПХ, 1979. Т. 52. № 11, 2553-2558.
3. Панченко С.В., Панченко Д.С., Глебова Н.Б. Процессы переноса в гетерогенном восстановительном реакторе//ТОХТ, 2004, т38, №6, 1-5.

И.С. Полющеников, к.т.н., доцент

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

РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В докладе приводятся результаты разработки микропроцессорной системы управления электропривода с применением средств модельно-ориентированного программирования. Показано, что указанное средство программирования позволяет упростить и ускорить разработку. Демонстрируется работоспособность электропривода.

Ключевые слова: микропроцессорное управление, электрический привод, модельно-ориентированное программирование, автоматическое регулирование, компьютерная модель.

Следящие электроприводы (сервоприводы) используются в различных системах управления движением. Современный электропривод имеет в своём составе электрический двигатель, силовой преобразователь, электронную управляющую часть, различные передаточные механизмы и средства сопряжения с внешними устройствами. Кроме функций управления движением электроприводы выполняют различные вспомогательные функции, которые обеспечивают их работу в составе сложных электромеханических систем, например, взаимодействие с различными периферийными устройствами, настройку и интерактивное управление. Функции управления движением характеризуются показателями точности и быстродействия. К таким показателям относятся точность регулирования координат движения, добротность по скорости, добротность по ускорению, диапазон регулирования координат, полоса пропускания и др. В новых поколениях высокоточных быстродействующих следящих систем актуально использование электроприводов на базе различных типов электрических двигателей.

В системах управления современных электроприводов широко используется микропроцессорная техника. Среди методов проектирования программного обеспечения можно выделить метод модельно-ориентированного программирования, который, благодаря использованию средств компьютерного моделирования, позволяет представить программное обеспечение в удобной графической форме, аналогичной обычным математическим и имитационным моделям, а также распределить вычислительные ресурсы микроконтроллера.

В докладе приводятся результаты разработки микропроцессорной системы управления следящего электропривода. Разработан электропривод, который в зависимости от выбранной конфигурации может работать с коллекторным электрическим двигателем постоянного тока независимого возбуждения, бесколлекторным электрическим двигателем постоянного тока и вентильным электрическим двигателем переменного тока. Обеспечена работа электропривода в режимах стабилизации скорости движения, слежения и позиционирования, в режиме разомкнутой системы. Предусмотрены цифровые и аналоговые источники задающих сигналов для управления движением. Разработана, изготовлена и испытана аппаратная часть системы управления электропривода – плата силового преобразователя и плата управления с микроконтроллером *STM32*. Программное обеспечение системы управления разработано методом модельно-ориентированного программирования при использовании системы компьютерной математики *Matlab* и пакета его расширения *Waijung Blockset*. Программное обеспечение представлено в графической форме в виде исполняемой модели (рис.1), которая соответствует принципам работы электропривода и воспроизводит логику алгоритма управления и взаимодействия с аппаратной периферией. В исполняемой модели использованы различные средства

Matlab, а именно, блоки *Simulink* и *Waijung Blockset*, *S*-функции, диаграммы состояний *Stateflow* и блоки, которые интегрируют в исполняемую модель пользовательские функции на языке *C*.

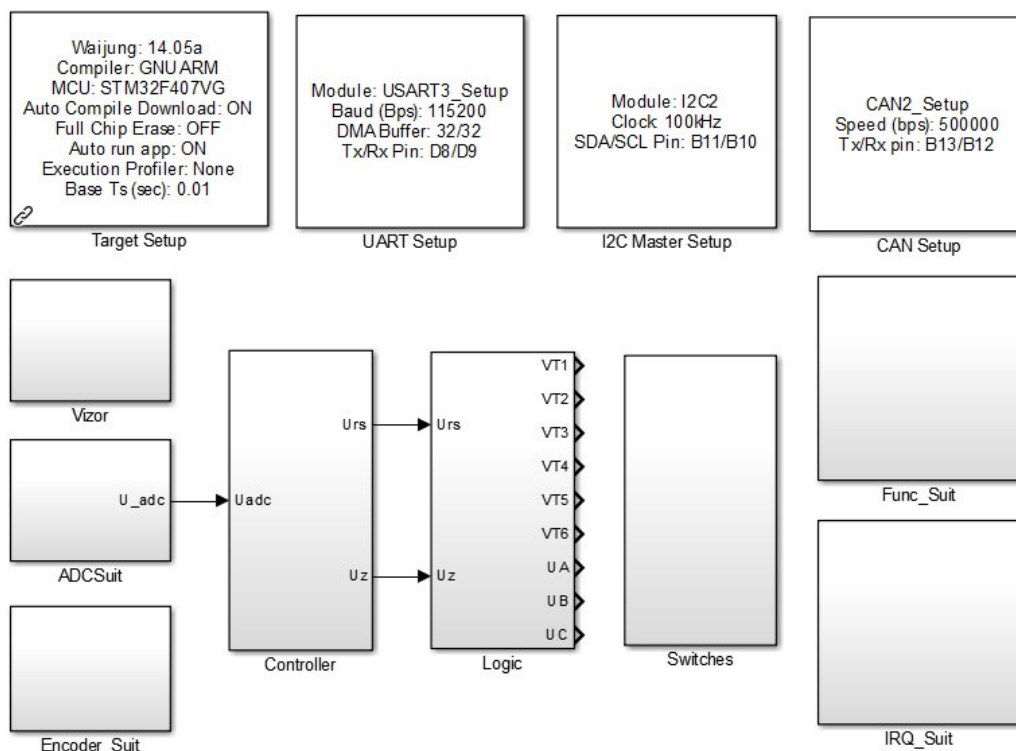


Рис.1. Исполняемая модель электропривода

Для регулирования координат (положения, скорости, тока) применена замкнутая система. При работе электропривода в режиме стабилизации скорости использован контур регулирования скорости с ПИД-регулятором. Это позволяет достигнуть астатизма первого порядка по нагрузке и по задающему воздействию с высоким демпфированием переходных процессов. Для работы электропривода в режимах регулирования положения (слежение и позиционирование) контур регулирования скорости охватывается контуром регулирования положения с ПИД-регулятором. Для повышения динамической точности регулятор положения имеет упреждающие связи по скорости и ускорению. Во всех режимах работы электропривода регулирование тока осуществляется по релейному закону при превышении током уставки токоограничения. Для формирования переходных процессов предусмотрены задатчики скорости и положения. Задатчик скорости обеспечивает отработку процессов пуска и торможения с заданным ускорением. Задатчик перемещения формирует *S*-образную траекторию движения.

На рис.2 для примера показана подсистема регулятора положения исполняемой модели электропривода. В качестве регулятора использован элемент *Discrete PID Controller* из библиотеки *Simulink*. В подсистеме присутствует селектор *RP_Switch* для выбора источника задающего сигнала и источника сигнала обратной связи, а также селектор *Kombine* для управления упреждающими связями. Контур регулирования положения может быть замкнут по положению вала

электрического двигателя или по положению оси механизма. Селекторы сделаны в виде *C*-функций. Элемент *RST_Poz* использован для отключения регулятора при конфигурациях замкнутой системы, в которых он не используется. Элемент *ErrPosControl* детектирует превышение рассогласования по положению, а элемент *ErrorPos* детектирует некорректную работу регулятора.

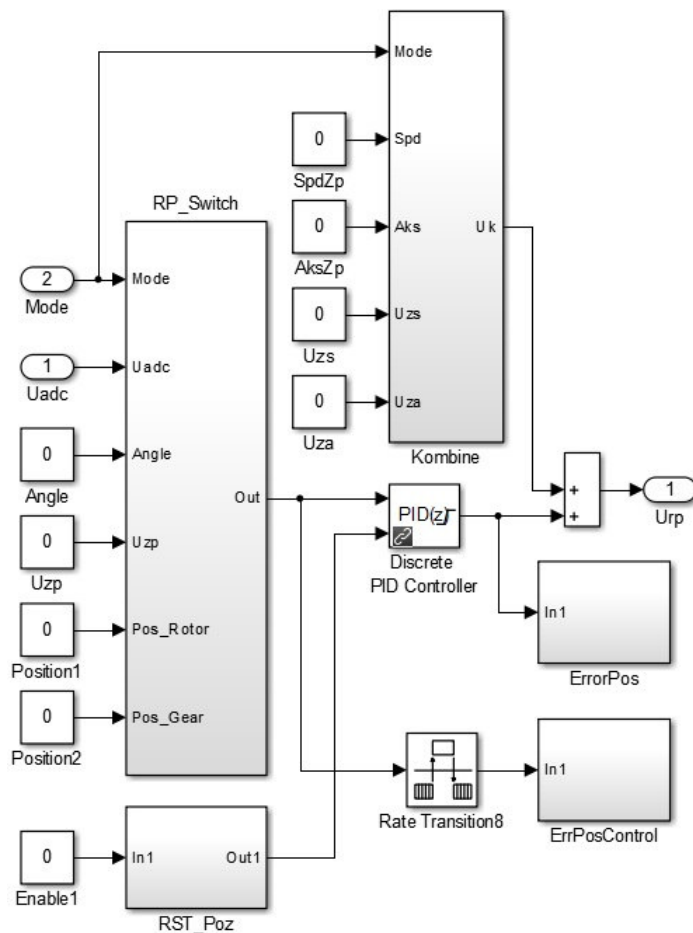


Рис.2. Подсистема регулятора положения

Предусмотрено сохранение параметров корректирующих элементов в памяти микросхемы ПЗУ с доступом по шине *I2C*. Резервная копия указанных данных хранится во флэш-памяти микроконтроллера. Система управления электропривода в форме журнала регистрирует события, к которым относятся более 20 неисправностей, в том числе превышение аварийных уставок скорости и тока, неисправность датчиков, линий связи и другого периферийного оборудования. Разработан и реализован протокол обмена данными по асинхронному последовательному интерфейсу *RS232* между электроприводом и персональным компьютером, а также протокол обмена данными по шине *CAN* с контроллером верхнего уровня технологической системы. Для управления электроприводом разработано приложение для *Windows*, которое позволяет осуществить весь функционал управления в интерактивном режиме, а также отслеживать текущие координаты электропривода и информацию о его состоянии. Исследована работа электропривода под управлением контроллера верхнего уровня антенной установки по протоколу *CAN*.

В зависимости от типа электрического двигателя используются разные алгоритмы управления силовым преобразователем, что иллюстрируется схемами на рис.3. В конфигурации с бесколлекторным двигателем постоянного тока управление преобразователем осуществляется в функции положения ротора по датчикам Холла. При этом в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ) работают транзисторы преобразователя VT_2 , VT_4 и VT_6 , а фазные напряжения имеет прямоугольную модуляцию. Для управления транзисторами VT_2 , VT_4 и VT_6 использован генератор ШИМ *Basic PWM* на основе таймера. Для управления верхними транзисторами VT_1 , VT_3 и VT_5 использован блок управления цифровыми выходами *Digital Output*.

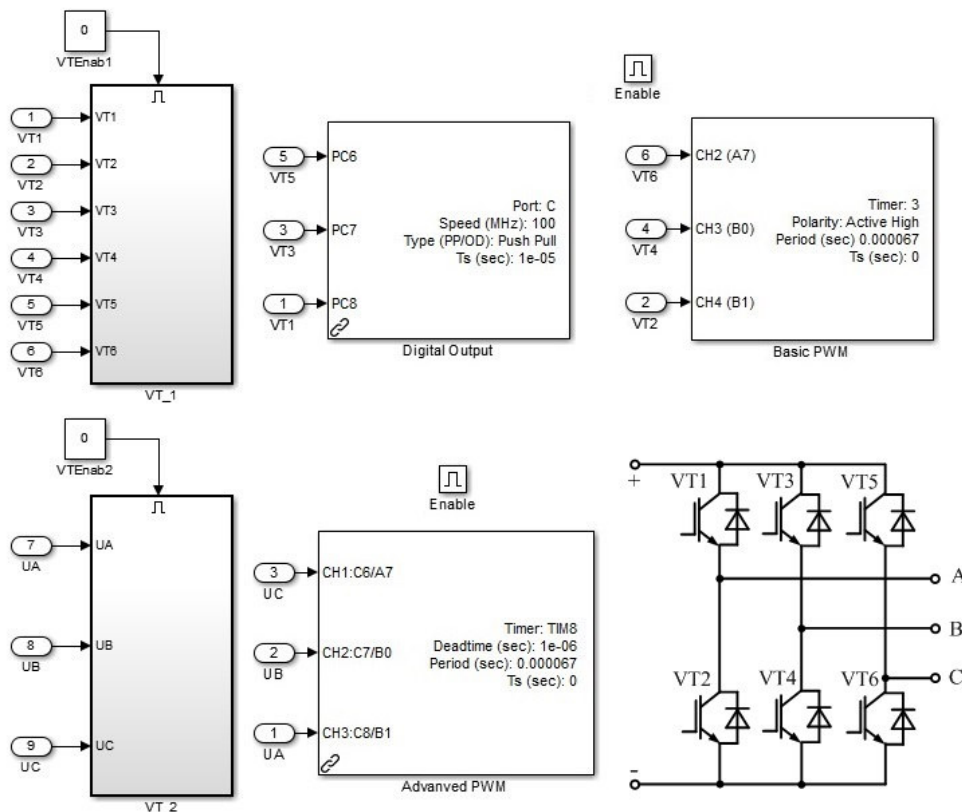


Рис.3. Подсистемы для управления силовым преобразователем

Коллекторный двигатель постоянного тока включается между двумя плечами силового преобразователя по мостовой схеме. Парное управление транзисторами VT_1 и VT_4 , VT_2 и VT_3 обеспечивает формирование напряжения. При этом в режиме ШИМ работают только нижние транзисторы VT_2 или VT_4 .

В конфигурации с вентильным двигателем переменного тока формируется трёхфазная синусоидальная ШИМ напряжения в функции положения ротора, измеряемого энкодером. Для управления транзисторами в этой конфигурации используется генератор ШИМ *Advanced PWM* на основе таймера.

Система управления электропривода имеет следующие характеристики. Частота выборки токов до 15 кГц. Период дискретизации регуляторов скорости и положения равен 400 мкс. Частота ШИМ силового преобразователя 40 кГц. Скорость обмена данными по шине CAN до 1 Мбит/с при интенсивности до 250 сообщений в секунду. Скорость обмена данными по последовательному ин-

терфейсу RS232 115200 бит/с. Рекомендуемая максимальная скорость вращения для бесколлекторного электрического двигателя до 35000 об/мин и до 4500 об/мин для вентильного двигателя. Частота выборки положения 4500 Гц. Частота выборки скорости 900 Гц. Точность регулирования координат зависит от разрешающей способности датчиков положения.

По сравнению с предыдущими версиями исполняемая модель претерпела значительные изменения, которые повысили функциональность электропривода и позволили более рационально распределить вычислительные ресурсы микроконтроллера. Предусмотрено использование различных типов электрических двигателей. Разработана подсистема для обмена данными по шине CAN и сетевой протокол. Добавлена функция монитора ресурсов, которая оценивает загруженность микроконтроллера, функция использования сторожевого таймера и функция теста датчиков и ПЗУ. При обмене данными по цифровым линиям, а также при сохранении в ПЗУ и восстановлении параметров, они упаковываются в информационные пакеты в специальном формате, который позволяет использовать данные любых числовых форматов. Частота выполнения подпрограмм согласована с временными и частотными характеристиками сигналов, которые они детектируют или формируют. Расширено использование авторских C-функций вместо блоков *Simulink* в тех случаях, когда это позволяет оптимизировать программное обеспечение. Применён способ регулирования тока, в котором используется переключение между ПИД-регулированием и релейным регулированием в зависимости от величины тока и уставки токоограничения. При этом исключается накопление ошибки регулирования (рассогласования) интегрирующей составляющей регулятора скорости. Кроме того, внесено много других изменений, которые улучшают программного обеспечения.

Практическая ценность проекта состоит в том, что разработанный электропривод может быть использован в различных электромеханических системах. Практические результаты работы могут быть использованы как типовые решения при проектировании различных электротехнических и электромеханических устройств и систем. Теоретическая ценность проекта состоит в использовании метода модельно-ориентированного программирования для решения комплекса задач управления электроприводом. Теоретические результаты могут быть использованы в качестве учебно-методических материалов.

*И.С. Полющеников, к.т.н., доцент
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СЕТЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

В докладе приводятся результаты разработки программного обеспечения для сетевого управления электроприводом в составе технологической системы. Используются средства модельно-ориентированного программирования. Показано, что указанное средство программирования позволяет упростить и ускорить разработку. Демонстрируется работоспособность управления электроприводом.

Ключевые слова: микропроцессорное управление, электрический привод, модельно-ориентированное программирование, цифровой интерфейс, компьютерная модель.

Для согласованной работы нескольких электроприводов в составе систем управления движением требуется использовать сетевые технологии управления, которые основаны на применении специальных аппаратных и программных средств. При этом стандартами устанавливаются порядок доступа абонентов к сети, адресация, физические характеристики сигналов, последовательность преобразования сигналов, скорость обмена данными, а протокол обмена устанавливает логические последовательности выделения информации из принятых сообщений и формирования исходящих сообщений.

Одной из наиболее удобных и распространённых технологий сетевого управления в различных технических системах является сетевая шина *CAN*. Кроме сравнительно высокой скорости и надёжности обмена данными, преимуществом сети *CAN* является то обстоятельство, что значительная часть операций доступа к сети и операций обработки сообщений осуществляется аппаратно. В частности, это касается проверки целостности данных. В связи с распространённостью промышленных и технологических сетей *CAN* современные микроконтроллеры имеют встроенные аппаратные модули.

В докладе рассмотрен результат проектирования информационной подсистемы электропривода на основе метода модельно-ориентированного программирования для сетевого управления электроприводом в составе технологической системы. Указанная подсистема, как и программное обеспечение микропроцессорной системы управления электропривода в целом, разработана с использованием библиотеки модельно-ориентированного программирования *Waijung Blockset*, которая интегрирована в систему компьютерной математики *Matlab*. Эта библиотека предназначена для программирования микроконтроллеров семейства *STM32* и позволяет составлять программное обеспечение в виде исполняемой модели, которая аналогична обычным математическим моделям *Matlab/Simulink*. Специальные компиляторы генерируют из этой модели программный код для загрузки в микроконтроллер. Полученный таким образом программный код по своей структуре, оптимальности и полноценности не уступает коду, полученному с использованием традиционных средств разработки на основе структурированного текста, таких как *IAR*, *Keil*, *Code Composer Studio*.

Обмен данными между электроприводом и системой управления верхнего уровня осуществляется в форме запросов и ответов. При этом сообщение, принятое электроприводом, обрабатывается по заранее заданному алгоритму, электропривод выполняет полученную команду и отправляет ответное сообщение о её выполнении. Конфигурирование и настройка аппаратного модуля приёмопередатчика *CAN* осуществляется модельными блоками библиотеки *Waijung Blockset*. На рис.1 показана декомпозиция подсистемы исполняемой модели программного обеспечения электропривода для приёма сообщений по шине *CAN*.

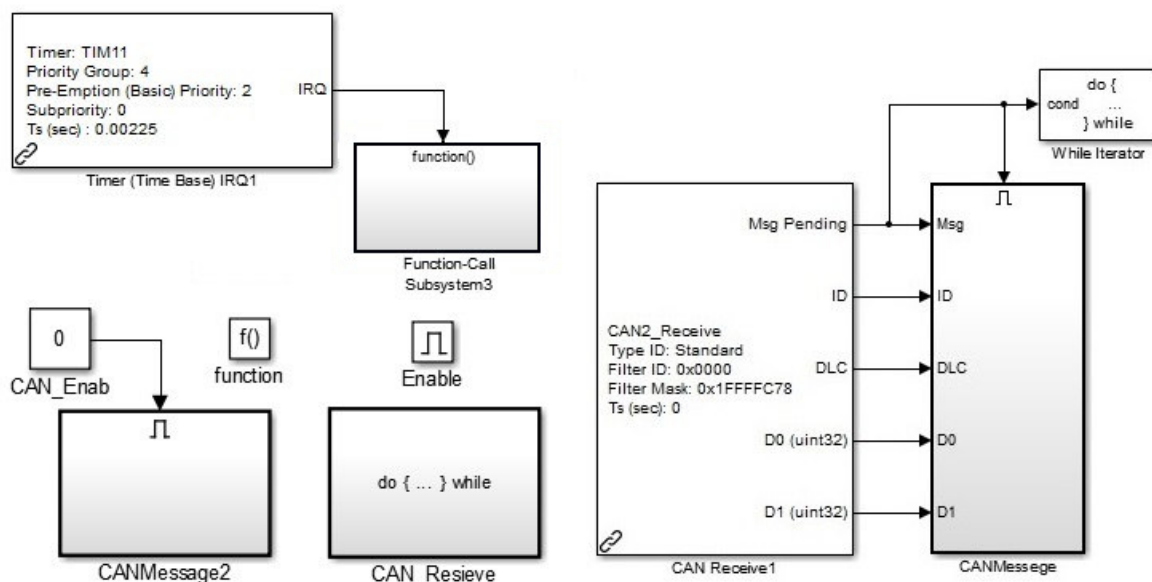


Рис.1. Декомпозиция подсистемы для приёма сообщений

Все модельные блоки, использованные для приёма и обработки сообщений, заключены в управляемую подсистему вида *Function-Call Subsystem*, которая выполняется при прерывании от таймера каждые 2.25 мс. Настройка таймера для генерирования прерываний осуществляется модельным блоком *Timer IRQ*. Также использованы подсистемы *Matlab/Simulink*, которые управляются программными флагами и выполняются при выполнении определённых условий. Например, программный флаг *CAN_Enab* разрешает или запрещает обработку принятых сообщений.

Блок *CAN_Receive1*, заключённый в подсистеме *CAN_Receive* вида *do – while*, под управлением счётчика *While Iterator* используется для обнаружения сообщений в приёмном буфере, которые приняты в течение интервала 2.25 мс, заданного таймером. Принятые сообщения сортируются по типу в зависимости от их длины – значения поля *DLC*. Сообщения могут быть короткими синхронизирующими (*DLC* = 0) и полноформатными параметрическими (*DLC* = 8). Проверка контрольной суммы *CRC32* и соответствия адреса заданному диапазону адресов (*Filter Mask*) осуществляется автоматически аппаратным модулем микроконтроллера. Синхронизирующие сообщения являются широковещательными и адресованы всем устройствам, подключённым к сети и подчинённым системе управления верхнего уровня. Параметрические сообщения адресованы только одному из устройств, в данном случае электроприводу. Адрес электропривода в сети задаётся переключателями на цифровых входах микроконтроллера. Адрес абонента, указанный в параметрических сообщениях, проверяется программно.

Короткие синхронизирующие сообщения используются для поддержания связи между устройствами, подключёнными к сети. Параметрические сообщения используются для передачи электроприводу целевых координат движения, контроля и отслеживания текущих координат движения, конфигурирования и

настройки системы управления электропривода и выбора режимов движения (стабилизация тока, стабилизация скорости, слежение).

Параметрические сообщения (рис.2) имеет поля кода операции (*COP*, *Type*, *R/W*), поля идентификаторов источника и приёмника (*COBID*, *SelfID*, *DevClass*), поля данных в упакованной форме (*D0* и *D1*). Каждому коду операции, предусмотренному протоколом обмена, соответствует определённое действие, например, задание величины перемещения, скорости и ускорения движения при отработке заданного перемещения. Также протоколом предусмотрен доступ к параметрам системы управления для настройки электропривода, например, к коэффициентам регуляторов скорости и положения и уставкам токоограничения и скорости. Протокол приёма сообщений реализован в виде *C*-функции и интегрирован в исполняемую модель блоком *Basic Custom Code*.

COBID (11 bits)		D0 (uint32)				D1 (uint32)			
Type	SelfID	DevClass	R/W	COP	-	Data (packed format)			
uint8	uint8	uint8	uint8	uint8	-	-	-	-	-
10-7 bits	6-0 bits	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3

Рис.2. Формат параметрического сообщения

После обработки принятого сообщения и выполнения (или не выполнения) действий, предусмотренных кодом операции, формируется и отправляется ответное сообщение, формат которых в целом совпадает с форматом входящих параметрических сообщений. На рис.3 показана декомпозиция подсистемы исполняемой модели программного обеспечения электропривода для передачи сообщений по шине *CAN*. Формирование и передача исходящего сообщения происходит при изменении программного флага *CAN_Mess*, которое происходит для ответа на принятое сообщение. Для управления программным флагом модельные блоки подсистемы передачи сообщений заключены в триггерную подсистему *CANTransform*. При этом данные различных числовых форматов (текущие координаты движения, параметры регуляторов и другие) и код операции (переменная *CANCOP*) упаковываются в установленной протоколом последовательности и преобразуются в два поля *D0* и *D1*, имеющих числовой формат *uint32*. К этим полям блок *CAN Transmit* из библиотеки *Waijung Blockset* присоединяет адрес целевого абонента (переменная *CAN_ID1*), контрольную сумму и другие поля, типовые для сетевого протокола *CAN*. Протокол передачи данных реализован в форме *C*-функции, которая интегрируется в исполняемую модель блоком *Basic Custom Code*. Доступ к текущим координатам движения осуществлён в виде входных переменных, например, *Angle_1* и *Speed_1*. Доступ к остальным параметрам, доступным для передачи, осуществляется непосредственно в функции протокола.

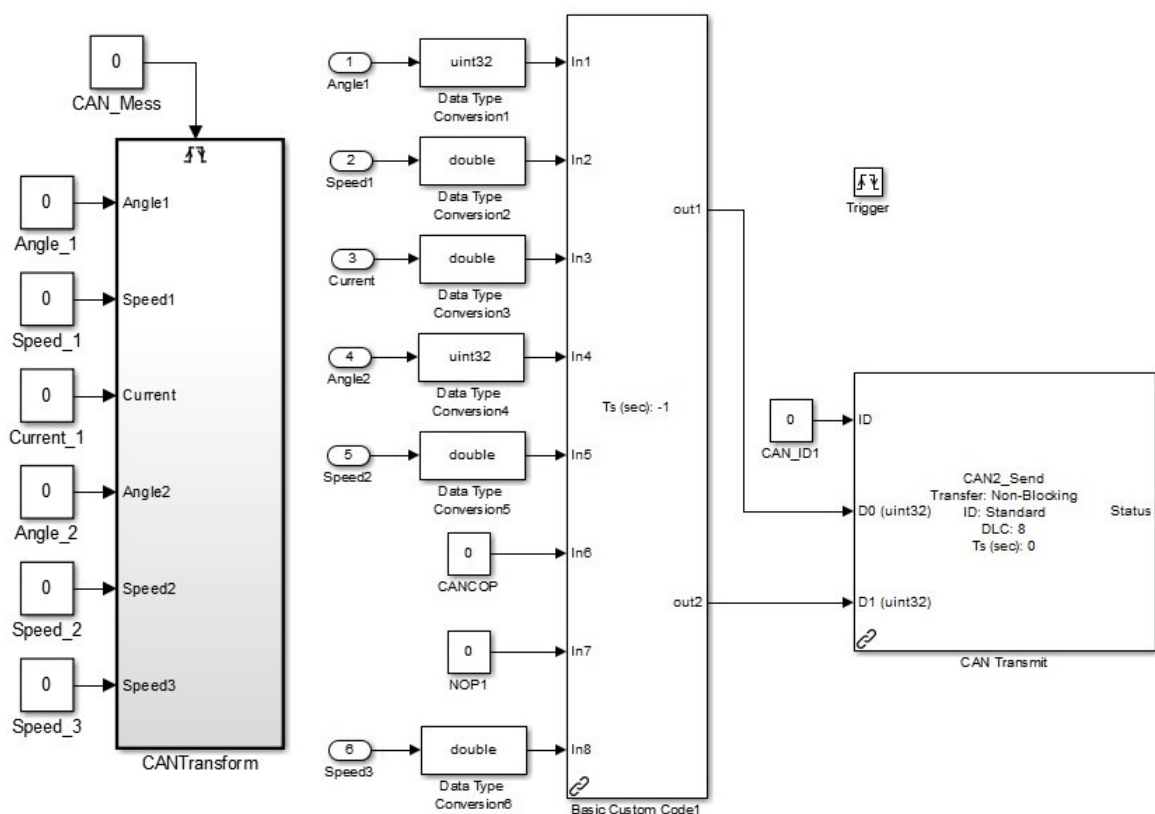


Рис.3. Декомпозиция подсистемы для передачи сообщений

В качестве эксперимента для проверки работоспособности программного обеспечения исследовалось управление разработанным электроприводом от системы управления верхнего уровня – бортового вычислителя, используемого в навигационном оборудовании. При испытании были отработаны все команды управления движением, предусмотренные протоколом обмена. Скорость обмена данными при этом составляет 1 Мбит/с при интенсивности до 250 сообщений в секунду.

Таким образом, средства модельно-ориентированного программирования применительно к задаче обмена данными позволяют реализовать функции доступа к сети, специфичные для разных интерфейсов, с помощью модельных блоков. При этом практически все настройки и конфигурирование интерфейса осуществляется в меню этих модельных блоков, которые аналогичны меню блоков *Matlab/Simulink*. От разработчика требуется подготовить протокол обмена, который, как правило, специфичен для каждой конкретной задачи. Протокол обмена удобно реализовать в виде C-функции. Также использование средств модельно-ориентированного программирования позволяет упростить процесс разработки систем управления и других технических систем на основе микропроцессорной техники.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ УПРУГОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В докладе приводятся результаты исследования статики и динамики управления движением упругой электромеханической системы. Показано влияние различных обратных связей и корректирующих элементов на её движение. Полученные результаты могут быть использованы для анализа и синтеза систем управления движением.

Ключевые слова: автоматическое управление, электрический привод, упругая механическая связь, электромеханическая система, компьютерное моделирование.

Доклад обобщает результаты исследования автоматического регулирования координат упругой электромеханической системы (ЭМС). Задачей исследования является получение заданных или оптимальных статических и динамических характеристик – ограничение динамических нагрузок, демпфирование упругих колебаний, получение жёстких или астатических механических характеристик, качественная по быстродействию и перерегулированию отработка переходных процессов. В ходе исследования рассмотрены различные конфигурации систем регулирования координат, показаны их ограничения по динамике и по точности, а также указывается связь параметров электромеханической системы и её свойств. Основными средствами исследования является математический аппарат Теории автоматического управления, Теории электрического привода, а также средства компьютерного моделирования.

Для электромеханической системы характерна взаимосвязь процессов в электрической подсистеме (электрический двигатель) и механической подсистеме (механическая нагрузка). При этом часто требуется учитывать процессы взаимодействия, чтобы обеспечить заданные статические и динамические свойства электропривода, к которым относятся точность регулирования координат (тока, скорости, положения) и характер протекания переходных процессов. Наличие упругих звеньев механической части негативно влияет электромагнитные процессы в электроприводе, которые в свою очередь оказывают воздействие на протекание механических процессов. Это может приводить к росту колебательности переходных процессов и росту динамических нагрузок на оборудование. Указанный эффект как и электродвижущая сила (ЭДС) вращения является проявлением электромеханической связи электрической и механической подсистем. Если рассмотреть функциональную схему и структурную схему разомкнутой двухмассовой электромеханической системы, показанные на рис.1 и рис.2, то электромеханическая связь описывается обратными связями по упругому моменту M_{12} , скорости первой инерционной массы ω_1 и скорости второй инерционной массы ω_2 .

При математическом описании упругой ЭМС приняты допущения, которые обоснованы Теорией электропривода. Например, разнообразные конструкции рабочих машин приводятся к расчётной схеме с двумя инерционными массами, соединёнными невесомой упругой связью. Также использован ряд общепри-

нятых допущений для описания электромеханических и электромагнитных процессов в электрическом двигателе.

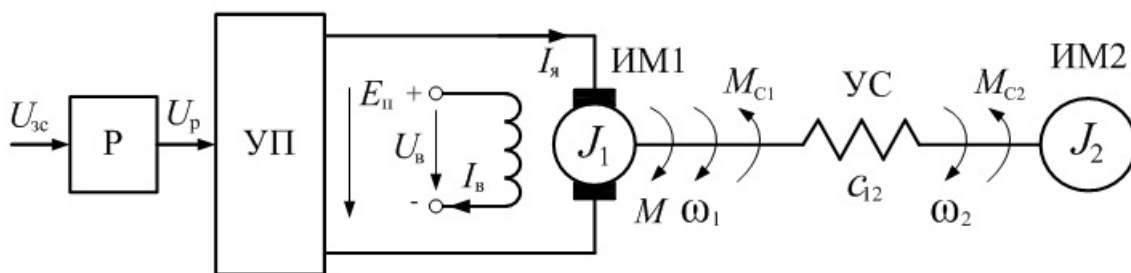


Рис.1 – Функциональная схема двухмассовой электромеханической системы

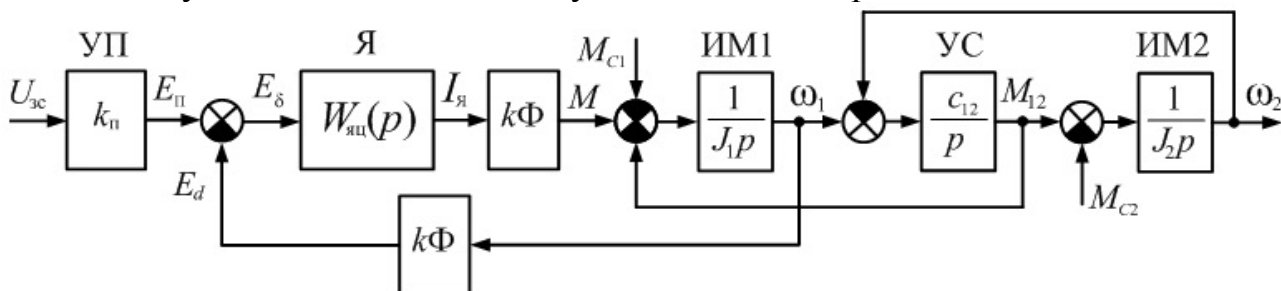


Рис.2 – Структурная схема двухмассовой электромеханической системы

Динамика электроприводов с упругими механическими связями описываются дифференциальными уравнениями высоких порядков. Анализ характеристического полинома (знаменателя передаточной функции) позволяет установить связь между динамическими свойствами электромеханической системы и её параметрами – моментами инерции движущихся масс, жёсткостью кинематической связи, индуктивностью и активным сопротивлением электрического двигателя, а также корректирующими элементами – коэффициентами регуляторов и коэффициентов обратных связей.

Изменение параметров электромеханической системы и введение регуляторов и обратных связей позволяют скорректировать коэффициенты характеристического полинома, задав расположение его корней на комплексной плоскости таким образом, чтобы обеспечить желаемые (или предельно возможные оптимальные свойства) динамические свойства.

Анализ показывает, что по своему корректирующему действию различные замкнутые системы регулирования координат имеют ограниченные возможности по достижению оптимальных статических и динамических свойств электроприводов. При этом упругие свойства ограничивают использование способов регулирования координат электроприводов, традиционных для электроприводов с одномассовой механической частью, и препятствуют обеспечению качественных характеристик управления, так как динамическое состояние электропривода определяется большим числом переменных (координат). Кроме того, требования к точности и качеству регулирования координат могут иметь противоречивые условия реализации. Реализуемость этих требований может быть ограничена особенностями структуры разомкнутой или замкнутой ЭМС, а именно, количеством параметров (коэффициентов регуляторов, обратных связей

и параметров объекта управления), корректировать которые имеется возможность.

Для выявления закономерностей, связанных с регулированием координат и формированием динамики, были исследованы разомкнутая упругая электромеханическая система и различные структуры замкнутых систем, а именно, системы с обратной связью по электромагнитному моменту (току), с подчинённым регулированием координат, с параллельной коррекцией, с модальным управлением, с последовательной и параллельной коррекцией. Все перечисленные системы управления ЭМС рассматриваются на примере электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения, но принципиально могут быть использованы для электрических двигателей, управление которыми позволяет получить линейные механические характеристики. Это относится, например, к асинхронным и вентильным электроприводам с векторным управлением.

Анализ динамики разомкнутой упругой электромеханической системы (рис.2) показал, что в ней может быть достигнуто предельное демпфирование упругих колебаний за счёт отвода энергии из механической части в электрическую часть с последующей её диссипацией или возвратом в сеть. Для этого требуется определённым образом согласовать параметры электрической подсистемы и механической подсистемы ЭМС. При этом показатели динамики такого оптимального режима, а именно, быстродействие, перерегулирование и колебательность, также зависят от параметров ЭМС. Указанные выводы подтверждаются расчётными соотношениями. Однако оптимальный по динамике режим ЭМС не всегда оптимален по точности стабилизации скорости движения системы. Кроме того, для согласования параметров ЭМС может потребоваться изменить сам объект управления, например, изменить конструкцию (подобрать передаточное число редуктора) или включить дополнительное сопротивление в силовую цепь электрического двигателя, что связано с возникновением дополнительных тепловых потерь.

Аналогичные недостатки характерны для упругой электромеханической системы с обратной связью по электромагнитному моменту (току) электрического двигателя. Однако указанная обратная связь действует на динамику ЭМС таким же образом, как изменение активного сопротивления в силовой цепи электрического двигателя, при этом не вызывая дополнительных потерь. Кроме того, положительная обратная связь по электромагнитному моменту (току) электрического двигателя имеет эффект снижения активного сопротивления, что расширяет возможности согласования параметров ЭМС по сравнению с разомкнутой системой. Компьютерное моделирование показало, что при должном сочетании параметров электрической и механической подсистем ЭМС переходные процессы изменения тока и скорости движения во времени имеют минимально возможную колебательность и минимальную длительность, которые соответствуют расчётным величинам. Также переходные процессы позволяют проследить обмен энергией между сетью и электроприводом.

Совместное решение задач демпфирования упругих колебаний и стабилизации скорости движения ЭМС, в том числе и астатической стабилизации, может быть получено в замкнутой системе с подчинённым регулированием координат (последовательной коррекцией), структурная схема которой показана на рис.3.

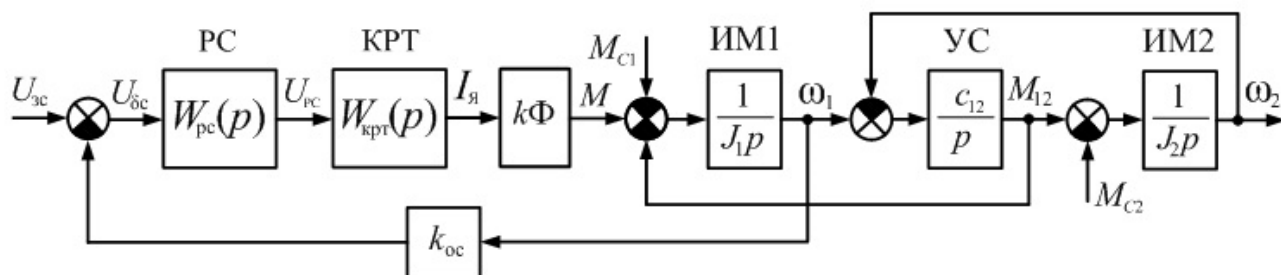


Рис.3 – Структурная схема двухмассовой электромеханической системы с подчинённым регулированием координат

Оптимальная настройка таких ЭМС отличается от оптимальной настройки систем с одномассовой механической частью. Например, быстродействие упругой ЭМС с последовательной коррекцией ограничено резонансной частотой механической подсистемы, а не полосой пропускания силового преобразователя. Вследствие этого, контур регулирования тока (КРТ) должен настраиваться не на максимальное быстродействие, а таким образом, чтобы его инерционное действие демпфировало колебательные процессы. Кроме того, оптимальная по динамике настройка на технический или симметричный оптимум может быть получена только при определённой величине коэффициента распределения инерционных масс ИМ1 и ИМ2. Указанная особенность устанавливает ограничение физической реализуемости системы регулирования координат. Также для настройки упругой ЭМС на технический оптимум характерна ограниченная точность стабилизации скорости, а для настройки на симметричный оптимум характерно большое перерегулирование.

Повысить жёсткость статической механической характеристики электропривода с последовательной коррекцией и пропорциональным регулятором скорости можно путём увеличения коэффициента усиления этого регулятора. Повышение колебательности движения, которое при этом возникает, может быть скомпенсировано путём введения обратной связи по ускорению электрического двигателя, как и сделано в упругой электромеханической системе с параллельной коррекцией. Кроме того, в такой системе расширен диапазон параметров электрической и механической подсистем, при которых возможна физическая реализуемость оптимальной настройки, приемлемой по динамике и точности регулирования скорости.

В отличие от систем, описанных выше, в упругой электромеханической системе с модальным управлением (рис.4) могут быть получены любые статические и динамические свойства независимо от параметров объекта управления. Это достигается благодаря применению набора обратных связей, образующих модальный регулятор скорости (МРС), который позволяет скорректировать все коэффициенты характеристического полинома замкнутой системы, что поло-

жено в основу синтеза. Быстродействие такой ЭМС ограничено допустимыми нагрузками на электрический двигатель и приводной механизм, так как в динамических режимах возникает значительное форсирование тока и электромагнитного момента. Настройка такой системы возможна по критериям точности, быстродействия и перерегулирования, которые в некоторой степени противоречивы.

Также рассмотрено использование редуцированного модального регулятора скорости с сокращённым набором обратных связей при специальной настройке контура регулирования тока, а также совместное использование модального регулятора и пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора (ПИД-регулятора) для астатического регулирования координат.

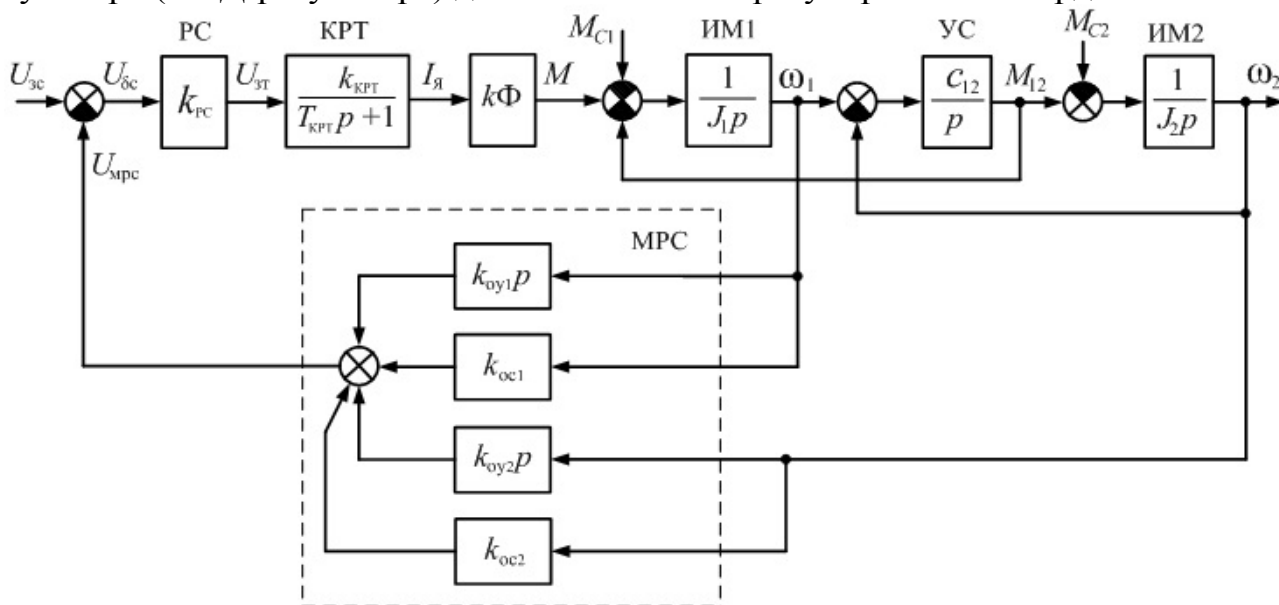


Рис.4 – Структурная схема двухмассовой электромеханической системы с модальным управлением

По материалам исследования подготовлено учебное пособие, предназначенное для студентов, обучающихся по магистерской программе «Электроприводы и системы управления электроприводов» направления магистратуры 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника». Материал в пособии приводится в определённой последовательности, обеспечивающей преемственность изложения. Последовательно рассматриваются различные системы регулирования координат, начиная с разомкнутой системы. При этом указываются цели анализа и синтеза, формулируются задачи управления, даётся математическое описание, которое позволяют выявить условия применимости и ограничения структурных решений, а также приводятся соотношения для расчёта показателей статических и динамических свойств. Методика расчёта поясняется результатами компьютерного моделирования.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ВЕЩЕСТВЕННОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

В докладе приводится методика вещественной интерполяции для параметрической идентификации электромеханической системы. Дается математическая формулировка решаемой задачи. Результаты исследования могут быть использованы в системах обработки информации и в адаптивных системах управления. Приведены примеры идентификации электроприводов и результаты компьютерного моделирования.

Ключевые слова: параметрическая идентификация, электромеханическая система, численные методы, динамическая система, компьютерное моделирование.

Для математического описания динамических процессов движения электромеханической системы используется аппарат Теории автоматического управления. При этом связь между задающим воздействием и целевой координатой движения устанавливается с помощью передаточной функции системы в операторной форме:

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)}, \quad (1)$$

где $x(p)$ – изображение задающего воздействия;

$y(p)$ – изображение целевой координаты.

Как правило, передаточную функцию выражают в дробно-рациональном виде:

$$W(p) = \frac{A_m(p)}{B_n(p)} = \frac{a_m p^m + a_{m-1} p^{m-1} + \dots + a_0}{b_n p^n + b_{n-1} p^{n-1} + \dots + b_0}, \quad (2)$$

где $A_m(p)$ и $B_n(p)$ – полиномы порядков m и n , при этом $m < n$;

a_i и b_j – коэффициенты полиномов.

Полином $B_n(p)$, также называемый характеристическим полиномом, определяет устойчивость динамической системы и вносит основной вклад в её динамику. Коэффициенты полиномов $A_n(p)$ и $B_n(p)$ зависят от параметров объекта управления и от параметров корректирующих элементов – регуляторов и обратных связей. Применительно к электромеханической системе параметрами объектами управления являются активные сопротивления и индуктивности электрических двигателей, моменты инерции и другие. На использовании передаточной функции основаны все методы анализа и синтеза замкнутых электромеханических систем. Эти же методы могут быть использованы в системах управления для автоматической настройки на заданные критерии качества. Если математическое описание системы неизвестно, то возникает задача идентификации, которая сводится к созданию математической модели. Такая модель должна отражать закономерности, действующие в реальном объекте.

В докладе рассмотрено использование метода вещественной интерполяции для параметрической идентификации электромеханической системы. Параметрическая идентификация заключается в определении оценочных значений коэффициентов a_i и b_j полиномов $A_n(p)$ и $B_n(p)$ передаточной функции. Для этого используется анализ неустойчившегося движения при отработке системой тестовых задающих воздействий. Порядки полиномов $A_m(p)$ и $B_n(p)$ считаются известными.

При нахождении изображений сигналов $x(p)$ и $y(p)$ могут возникнуть трудности с их аналитическим представлением. Метод вещественной интерполяции позволяет решить задачу аналитического представления сигналов по их отсчётам во времени. Он основан на численном решении интегрального уравнения Лапласа, которое используется для перехода от оригинала сигнала к его изображению в p -форме:

$$F(p) = \int_0^{\infty} e^{-pt} f(t) dt, \quad (3)$$

где $f(t)$ – оригинал сигнала (функции) во временной области;

$F(p)$ – изображение сигнала (функции).

Сигнал $f(t)$ может не иметь аналитического описания и быть выражен в виде табличных данных эксперимента. Численное решение уравнения (3) для произвольного сигнала $f(t)$ позволяет аппроксимировать этот сигнал на бесконечном интервале изменения аргумента t .

В качестве функции $f(t)$ могут быть использован сигнал задающего воздействия $x(t)$ и сигнал целевой координаты движения $y(t)$. В этом случае передаточная функция (1) может быть представлена в следующем виде:

$$W(p) = \frac{\int_0^{\infty} e^{-pt} y(t) dt}{\int_0^{\infty} e^{-pt} x(t) dt}. \quad (4)$$

Если в выражении (4) оператор p заменить вещественным числом δ , то получится соотношение для расчёта значения передаточной функции в вещественной точке. С другой стороны, оператор p можно заменить вещественным числом δ и в выражении (2). Приравняв выражения (2) и (4) после замены p на δ , получаем уравнение для расчёта коэффициентов a_i и b_j .

Числа δ_i , называемые узлами, следует выбирать таким образом, чтобы заведомо выполнялось условие:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (e^{-\delta t}) \rightarrow 0. \quad (5)$$

Число узлов i , следовательно, число k уравнений для идентификации параметров передаточной функции зависит от числа коэффициентов полиномов $A_m(p)$ и $B_n(p)$:

$$k = m + n + 1. \quad (6)$$

Система уравнений для идентификации параметров передаточной функции имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(b_0 + b_1 \delta_0 + \dots + b_n \delta_0^n \right) \cdot \frac{\int_0^{\infty} e^{-\delta_0 t} y(t) dt}{\int_0^{\infty} e^{-\delta_0 t} x(t) dt} - \left(a_0 + a_1 \delta_0 + \dots + a_m \delta_0^m \right) = 0; \\ \left(b_0 + b_1 \delta_1 + \dots + b_n \delta_1^n \right) \cdot \frac{\int_0^{\infty} e^{-\delta_1 t} y(t) dt}{\int_0^{\infty} e^{-\delta_1 t} x(t) dt} - \left(a_0 + a_1 \delta_1 + \dots + a_m \delta_1^m \right) = 0; \\ \dots \dots \dots \\ \left(b_0 + b_1 \delta_k + \dots + b_n \delta_k^n \right) \cdot \frac{\int_0^{\infty} e^{-\delta_k t} y(t) dt}{\int_0^{\infty} e^{-\delta_k t} x(t) dt} - \left(a_0 + a_1 \delta_k + \dots + a_m \delta_k^m \right) = 0. \end{array} \right. \quad (7)$$

При численном решении интегралы в системе уравнений (7) вычисляются как свёртка функций. После вычисления интегралов система уравнений (7) становится линейной и может быть решена, например, в матричной форме. В результате её решения находятся неизвестные коэффициенты передаточной функции. Дискретизация сигналов $x(t)$ и $y(t)$ по времени на интервале наблюдения осуществляется равномерно. Также сигналы $x(t)$ и $y(t)$ могут быть нормированы по времени, чтобы использовать единый набор узлов δ_i при аппроксимации сигналов различной длительности.

На рис.1 показана функциональная схема устройства для идентификации динамической системы методом вещественной интерполяции.

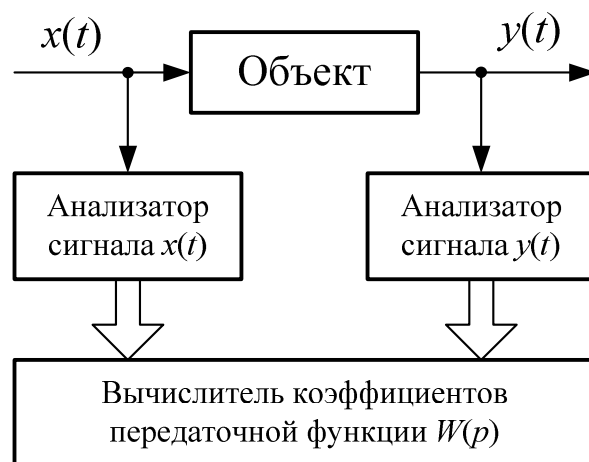


Рис.1. Структурная схема устройства для идентификации

Объект идентификации должен быть линейным, устойчивым и может иметь любую физически реализуемую структуру, в том числе многоконтурную с различными регуляторами и обратными связями. Выходной сигнал должен иметь только свободную составляющую движения. Входной и выходной сигналы должны удовлетворять условиям:

$$\lim_{t \rightarrow T} x(t) \rightarrow const; \lim_{t \rightarrow T} y(t) \rightarrow const, \quad (8)$$

где T – интервал наблюдения сигналов.

В качестве примера на рис.2 приведены результаты модельного эксперимента по идентификации системы стабилизации скорости электропривода. При этом входным тестовым сигналом является сигнал задания скорости $u_{зс}(t)$, а целевой координатой движения является скорость $\omega(t)$. Критериями соответствия идентифицированной модели и объекта идентификации являются установившееся значение сигнала, перерегулирование, длительность переходного процесса и колебательность переходного процесса. На рис.2 переходные процессы в исходной модели $\omega(t)$ и в идентифицированной модели $\omega^*(t)$ совпадают по указанным критериям.

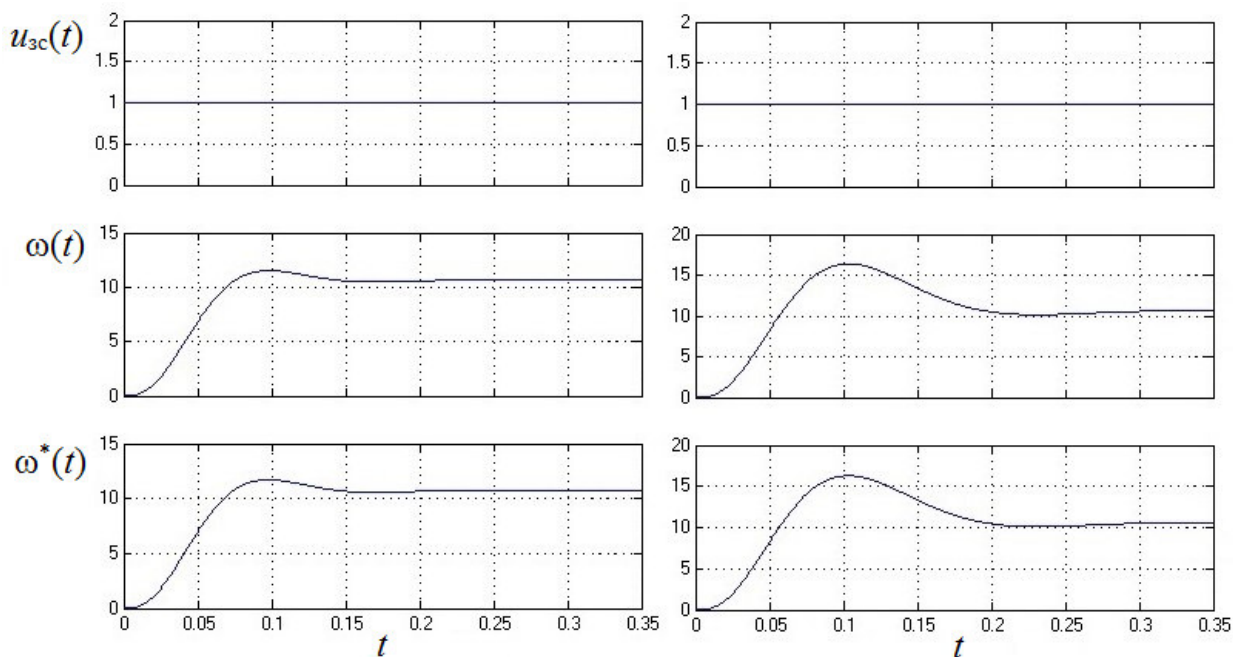


Рис.2. Примеры идентификации электромеханической системы

Метод вещественной интерполяции применим для практических и исследовательских задач идентификации. Он сравнительно легко реализуется с использованием современных программ для инженерных расчётов и моделирования, а также с использованием микропроцессорной техники. Указанное обстоятельство позволяет сделать вывод о применимости метода вещественной интерполяции для идентификации динамических объектов в системах обработки информации и системах управления с автоматической настройкой.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С СИЛОВЫМ КОРРЕКТИРУЮЩИМ КОНТУРОМ

В статье рассматриваются вопросы повышения динамических и энергетических характеристик в малофазных электроприводах постоянного тока. Приведено описание разработанной автором схемы системы с силовым корректирующим контуром.

Ключевые слова: система управления, электропривод, динамические характеристики, энергетические характеристики, силовой корректирующий контур.

Пульсации выпрямленного тока вызывают целый ряд нежелательных явлений. Снижение КПД приводит к недоиспользованию мощности привода; ухудшается работа замкнутых систем регулирования; при малых нагрузках возможен режим прерывистых токов, который ухудшает регулирование и внешние характеристики тиристорного преобразователя (ТП), а также статическую и динамическую точность в замкнутых системах регулирования. Использование сглаживающих дросселей ухудшает весогабаритные показатели, увеличивает стоимость, а также динамические показатели системы. Принципиально ограниченные динамические показатели ТП исключают возможность коррекции средствами управления их частотных характеристик с целью повышения быстродействия при сохранении основных принципов импульсно-фазового управления.

Улучшение статических и динамических характеристик можно ожидать только за счет усложнения силовой схемы и принципов управления ТП.

Принципиально другой путь улучшения коэффициента использования электропривода, статических и динамических показателей систем регулирования, содержащих тиристорные преобразователи, заключается в применении дополнительного источника в силовой цепи для коррекции, т.е. силового корректирующего контура (СКК). Принцип коррекции обеспечивается включением в силовую цепь дополнительного управляемого источника постоянного тока, имеющего значительно меньшую мощность. Этот источник охватывается обратными связями и выполняет роль компенсатора статической и динамической ошибки ТП. Он позволяет увеличить быстродействие регулирования тока и скорости в «малом», устранить влияние пульсаций и нелинейности преобразователя, причем степень «малости» динамических процессов определяется относительной величиной мощности СКК.

В статье рассматривается параллельное включение (рис.1) СКК, компенсирующего ошибку контура регулирования тока ТП. Обратная связь определяет его номинальный ток, а напряжение равно напряжению нагрузки.

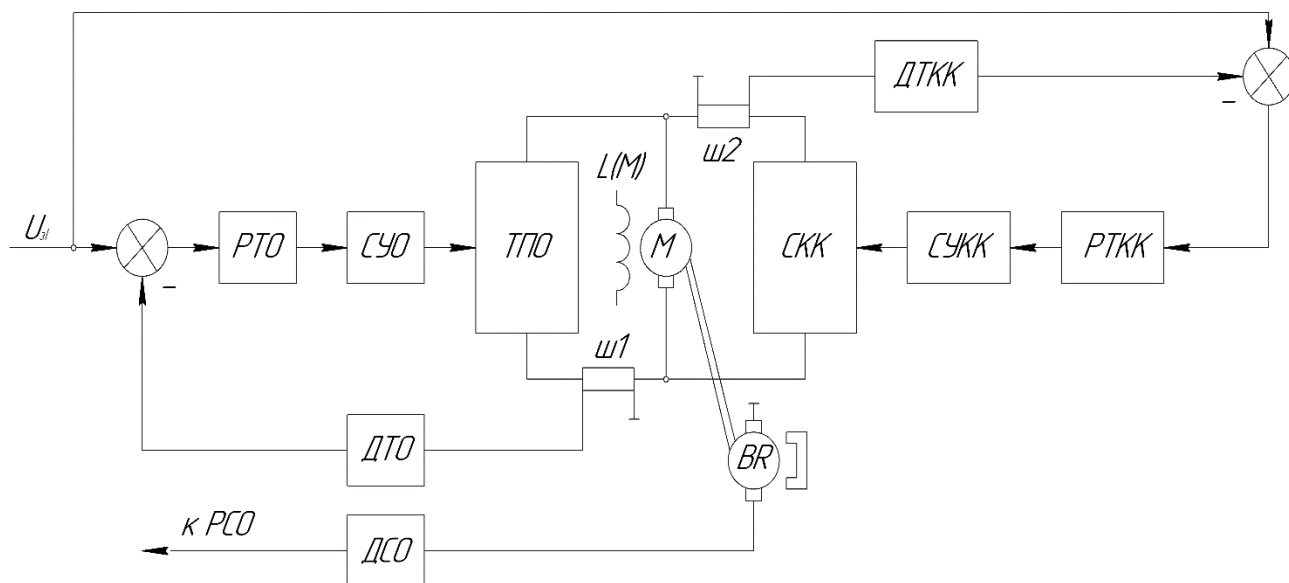


Рисунок 1 – Структурная схема параллельного включения СКК

Номинальные параметры СКК при параллельной схеме включения должны определяться из известных условий:

$$E_{\text{к.н.}} = E_{\text{о.н.}}; \quad I_{\text{к.н.}} = \frac{U_{\text{н.н.}}}{Z_0}; \quad S_{\text{к.н.}} = \frac{E_{\text{к.н.}}}{Z_0} U_{\text{н.н.}},$$

где Z_0 – внутренне сопротивление ТП.

ТП является основным источником, обеспечивающим «грубую» стабилизацию выходных параметров (ток, напряжение, скорость вращения), а дополнительный, обладающий более высоким быстродействием, обеспечивает точное поддержание этих параметров на заданном уровне. В качестве дополнительного источника могут использоваться транзисторные или тиристорные преобразователи.

При такой структуре мощность СКК может быть существенно меньше мощности основного источника, исходя только из условий компенсации, возникающих в системе нежелательных изменений выходных параметров при воздействии на нее внешних и внутренних возмущений. Дополнительный источник в этом случае выполняет роль СКК, улучшающего качественные показатели системы.

Схема управления позволяет разгрузить корректирующий канал от тока нагрузки в статическом режиме, т.к. он работает по ошибке, измеренной прямым и косвенным методом основного канала. Ограничения статических и динамических показателей ТП, вызываемые его специфическими свойствами, приводят к появлению ошибки в выходном сигнале основного контура, которая и является сигнальным воздействием на корректирующий канал. Т.к. корректирующий канал маломощный и имеет достаточно высокую полосу пропускания, соответствующее воздействие передается на выход системы, компенсируя нежелательные статические и динамические отклонения канала с ТП.

Подчиненное регулирование параметров, нашедшее широкое применение

в тиристорных электроприводах постоянного тока, позволяет использовать этот принцип при построении системы управления СКК при наличии внутреннего замкнутого контура тока.

Эффективное значение тока нагрузки:

$$I_{\text{эф.}} = \sqrt{\frac{m}{a} I_{\text{тэф.}}^2 + I_{\text{дэф.}}^2 + I_{\text{кэф.}}^2}.$$

При выполнении этого условия выражение для среднего и эффективного токов упрощается:

$$K_u = \frac{I_{\text{ср.}}}{I_{\text{эф.}}}$$

На основании вышеизложенного расчеты коэффициента использования машины постоянного тока при питании его от однофазного тиристорного преобразователя с учетом и без учета СКК приведены на рис.2.

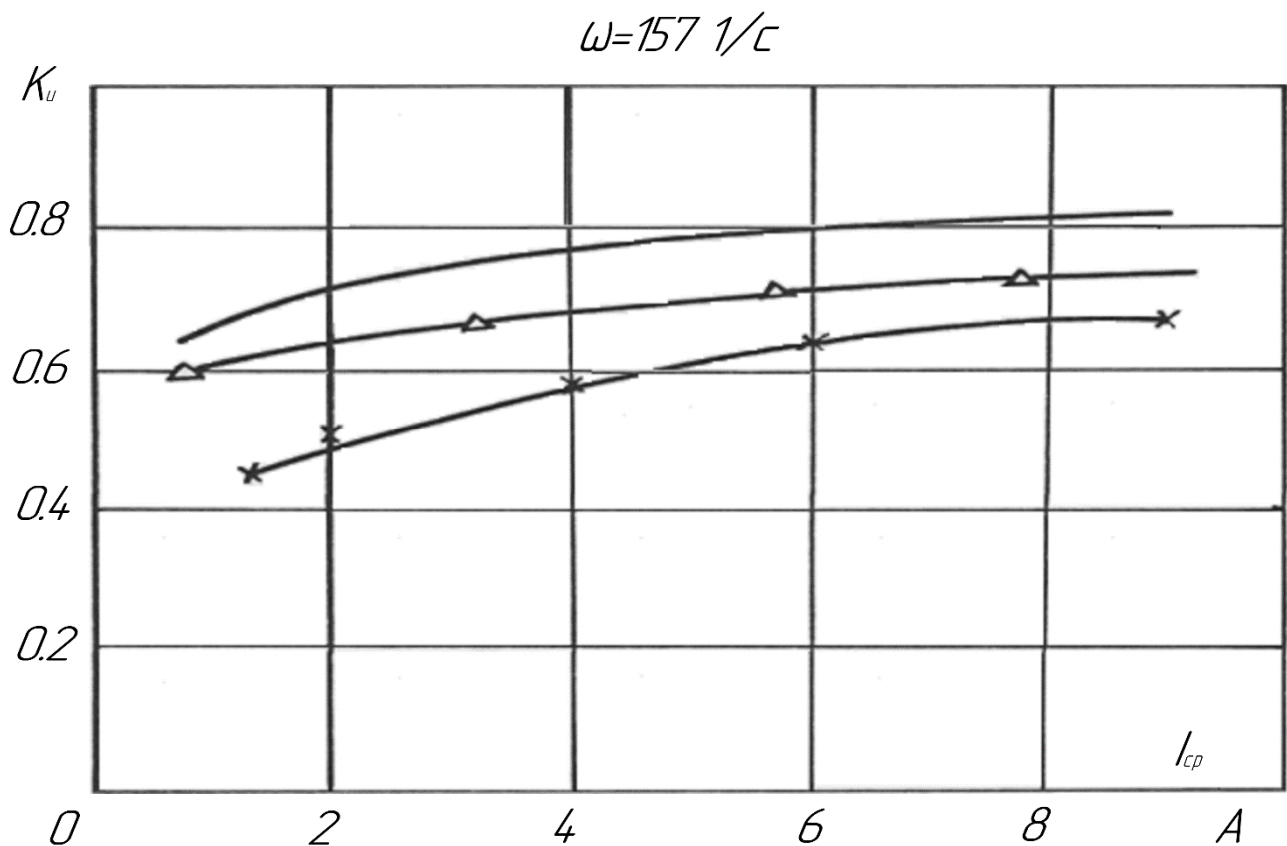
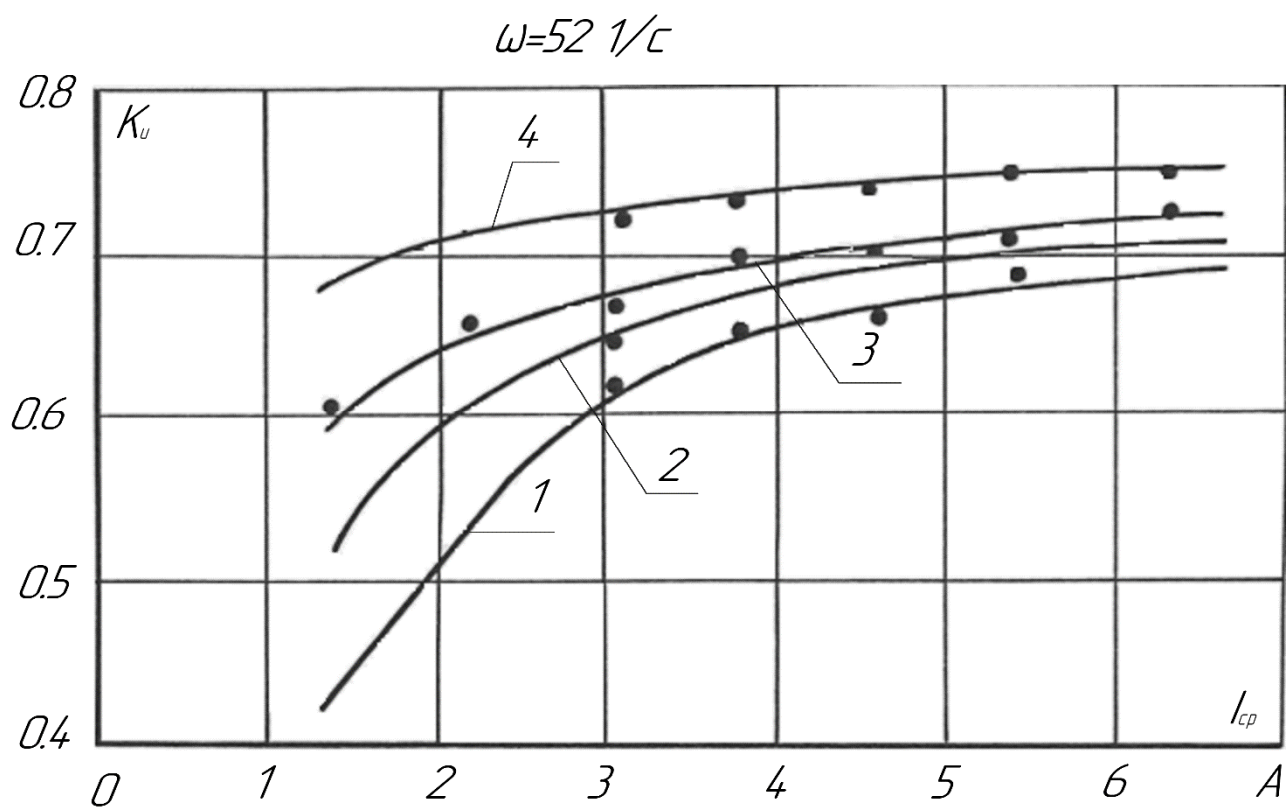
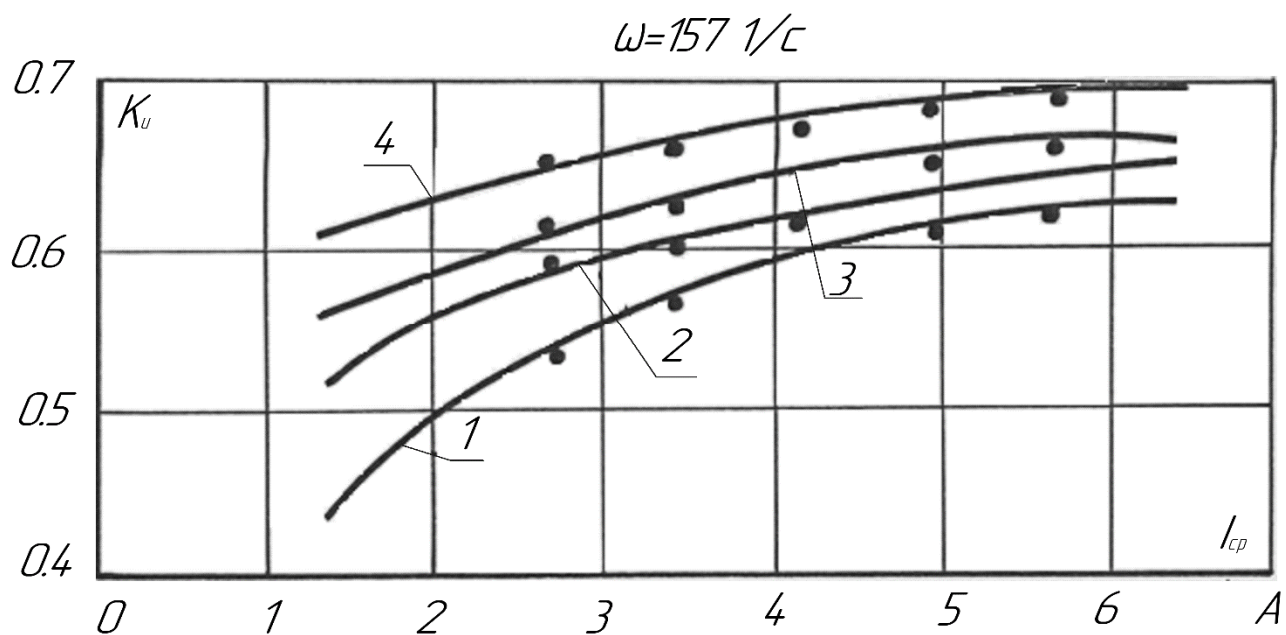


Рисунок 2 - Зависимости $K_u = f(I_{\text{ср.}})$

- Расчет с СКК
- × ————— СКК отключен – эксперимент
- △ ————— СКК включен - эксперимент



а)



б)

Рисунок 3 – Зависимости $K_u = f(I_{cp})$:

1. $I_K = 0$; 2. $I_K = 0,2 \text{ A}$; 3. $I_K = 0,4 \text{ A}$; 4. $I_K = 0,6 \text{ A}$;

Результаты расчетов показывают, что подключение СКК в систему ТЭП позволяет улучшить коэффициент использования МПТ. На основании этого разработана и исследована схема электрическая принципиальная СКК совместно с системой подчиненного регулирования электропривода постоянного тока

на базе тиристорного преобразователя, выполненного по однофазной мостовой полууправляемой схеме. Результаты исследования электропривода для разных скоростей, приведенные на рис.3, показывают существенное увеличение коэффициента использования K_{Σ} машины.

*А.С. Третьяков, ст.пр., О.А. Капитонов, ст.пр.,
(ГУ ВПО «Белорусско – Российский университет», г. Могилев)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ УЛУЧШЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ

В статье представлены краткие теоретические сведения о асинхронном электродвигателе улучшенной конструкции, обоснована задача, и представлено описание микропроцессорного устройства и программного обеспечения для проведения исследования энергетических режимов работы рассматриваемого электродвигателя.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель улучшенной конструкции, микропроцессорное устройство, программное обеспечение, энергетическая диаграмма, энергетический режим

Работы по созданию асинхронного электропривода в электромехатронном исполнении направлены на создание импортозамещающей и энергоресурсосберегающей техники для промышленности Республики Беларусь.

Одной из разработок в данном направлении является асинхронные электродвигатели улучшенной конструкции [1], рис.1.

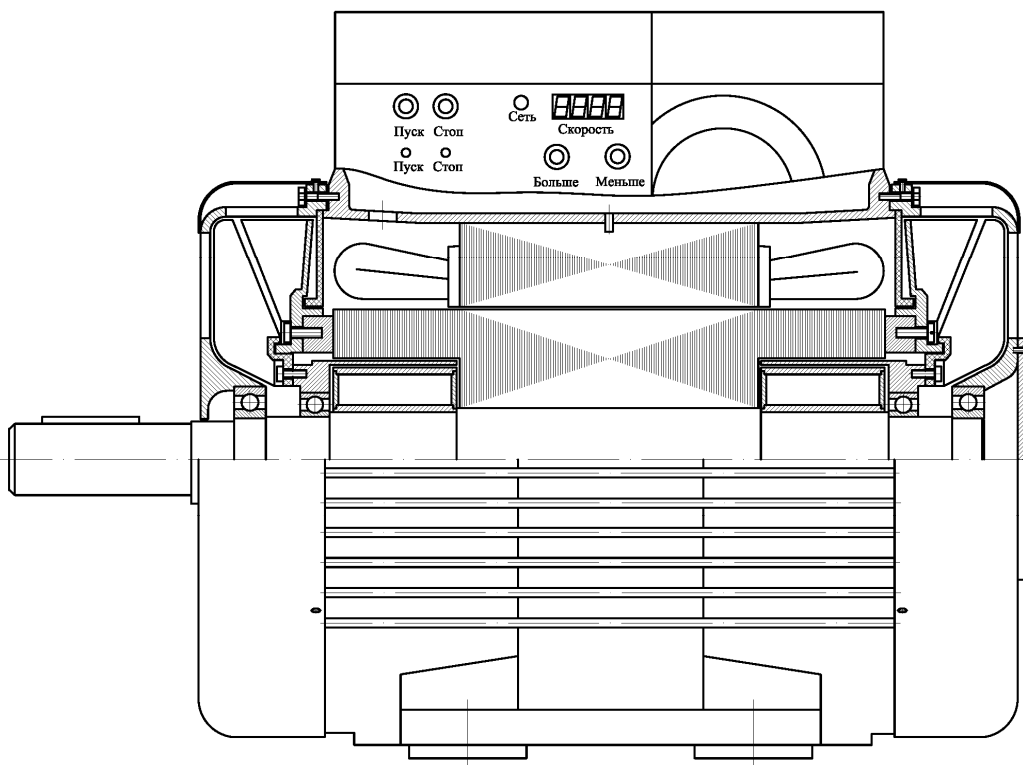


Рис.1 – Асинхронный электродвигатель улучшенной конструкции

Новизна разработки заключается в предложении новой конструкции электропривода в электромехатронном исполнении, включающей электродвигатель улучшенной конструкции, а также регулятор напряжения, встраиваемый в клеммную коробку рассматриваемого асинхронного электродвигателя. Данные электродвигатели представлены в электромехатронном исполнении, что означает размещение в клеммной коробке силового преобразователя энергии с микропроцессорной системой управления.

Прототипом разрабатываемой электрической машины является асинхронный общепромышленный электродвигатель АРИС100S4. В основе разработки лежит модифицированный силовой ротор, выполненный удлиненным по отношению к статору, и выходящий за пределы подшипниковых щитов. В его торцах сделаны углубления, в которых на подшипниках располагаются малые роторы. В зонах воздушного охлаждения располагаются вентиляторы: на торцах силового ротора монтируются вентиляторы-теплорассеиватели (выполняются из алюминия), на торцах малых роторов – вентиляторы-охладители (выполняются из пластика). Вентиляторы малых роторов вращаются с постоянной скоростью независимо от силового ротора, что позволяет обеспечить приток охлаждающего воздуха даже при заторможенном силовом роторе. Это обстоятельство позволяет более интенсивно выводить потери из электродвигателя, тем самым понижая давая возможность внести изменения в конструкцию магнитопровода статора, что позволит увеличить ток статора, и в конечном счете – снимаемую с вала электродвигателя по отношению к прототипу.

Для исследования энергетических, электромагнитных, тепловых и вентиляционных режимов асинхронного электродвигателя улучшенной конструкции был разработан научно – исследовательский комплекс [2]. Общий вид комплекса представлен на рис.2.

Для исследования энергетических режимов используется блок ввода аналоговых сигналов, представляющий собой цифровое микропроцессорное устройство, считывающее показания с датчиков тока и напряжения в режиме реального времени, обрабатывающее и отображающее экспериментальные данные в режиме реального времени на экране монитора. Скриншот программного обеспечения представлен на рис.3

Рассматриваемое программное обеспечение имеет широкий функционал: измерение полной, активной, реактивной мощностей, тока, напряжения, коэффициента мощности, разложения сигналов в спектр и т.д. Общий вид энергетической диаграммы рассматриваемого асинхронного электродвигателя представлен на рис.4.

По показаниям токов и напряжений в трех фазах на входе испытуемого электродвигателя измеряется потребляемая им мощность. Для измерения выходной мощности (мощности на валу) используются показания тахометра и датчика мощности. Далее задача сводится к выделению составляющих потерь энергетической диаграммы на основании опытов холостого хода и короткого замыкания. Сложность измерения потерь для рассматриваемого электродвигателя -

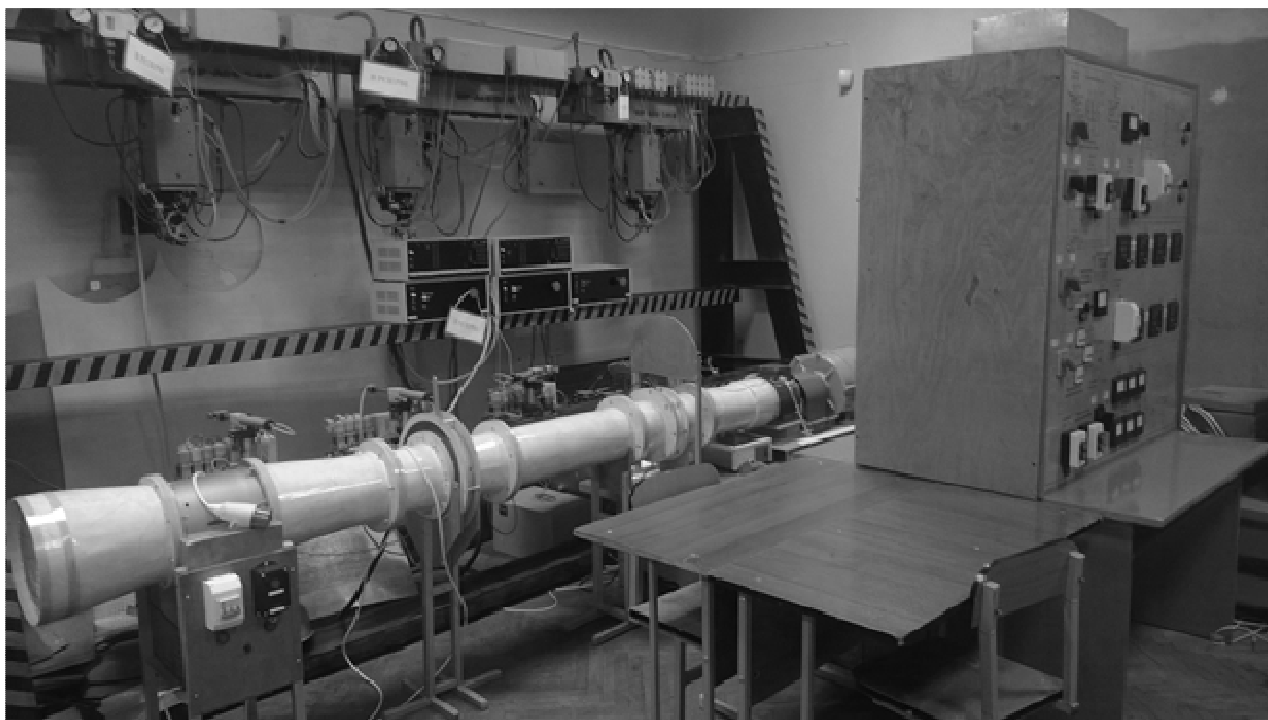


Рис.2 - Научно – исследовательский комплекс

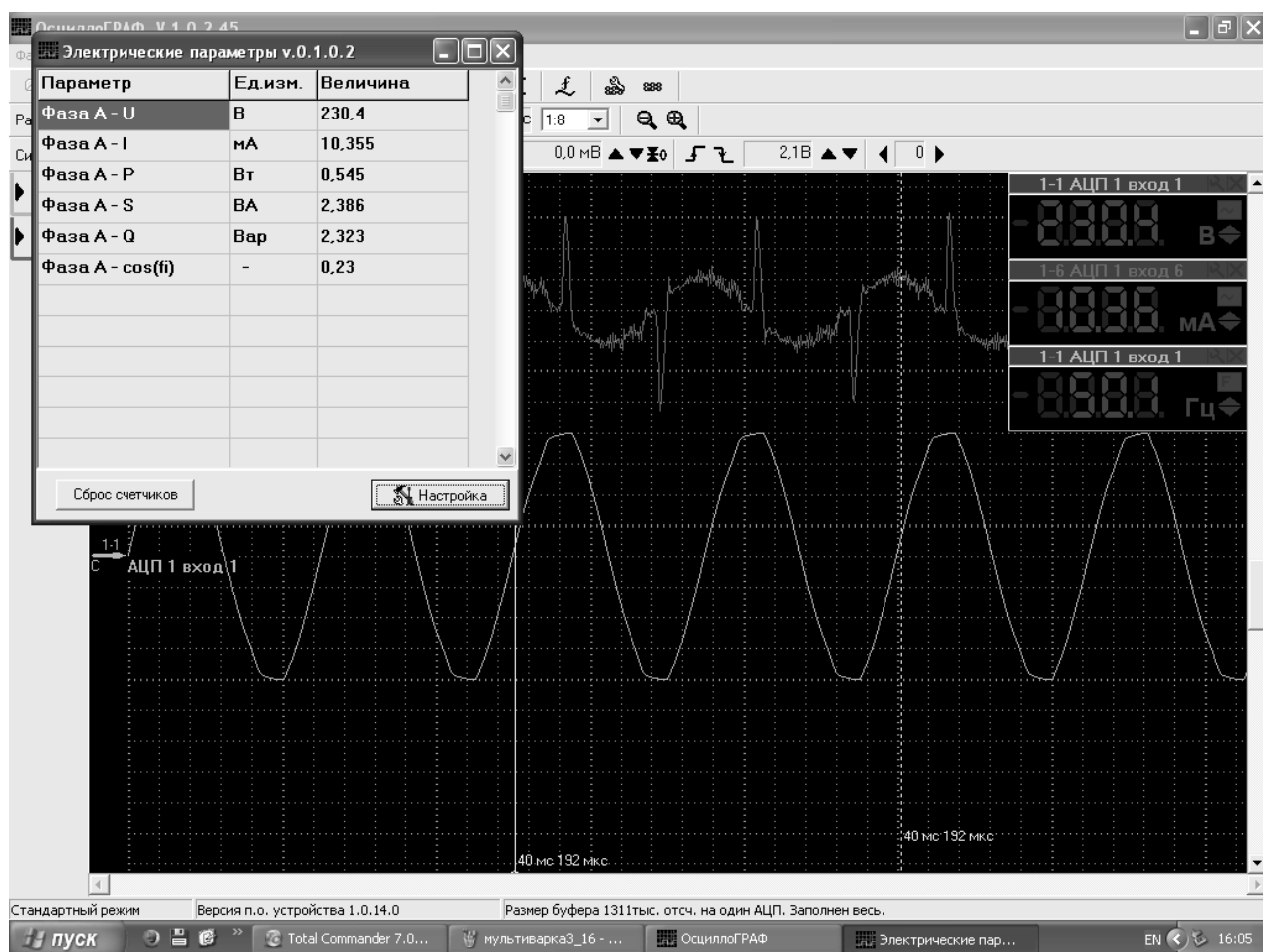


Рис.3 – Скриншот программного обеспечения для исследования энергетических характеристик

теля состоит в том, что классические методики для определения потерь непри-

менимы из-за особенностей конструкции. Для этого параллельно проводятся вентиляционные и тепловые испытания, на основе которых определяются искомые потери. Особый интерес при этом представляет определение мощности, потребляемой вентиляторами, и потерь в вентиляционных трактах.

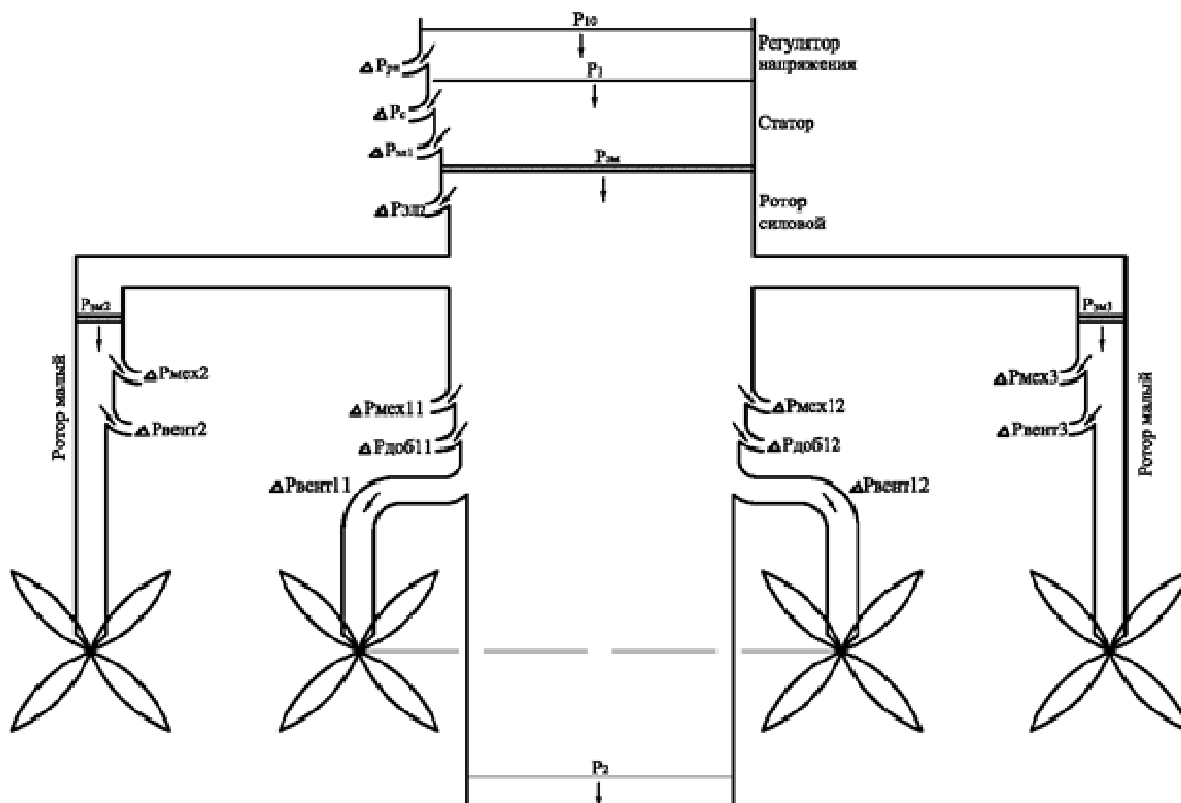


Рис.4 – Энергетическая диаграмма электродвигателя улучшенной конструкции

Настройка данного комплекса была выполнена на базе общепромышленного асинхронного электродвигателя АИРС100S4 (прототип). Проведенные испытания младшей модели асинхронного электродвигателя улучшенной конструкции (модифицированная система охлаждения располагается со стороны встроенного вентилятора) подтвердили правильность показаний и измерений, эффективность отвода потерь, возможность снятия большей мощности без изменения массогабаритных показателей, и более высоких энергетических показателей по сравнению с прототипом.

Литература

1. Пат. а 20071410 РБ, МПК (2006) Н 02К 9/04. Асинхронный электродвигатель для регулируемого привода машин и механизмов / Парфенович О.Н., Третьяков А.С.; заявитель и патентообладатель ГУВПО «Белорусско – Российский университет». - №12180; заявл. 11.21.07; опубл.06.30.09, Бюл. №12 (II ч.). -18 с.
2. Аппаратное и программное обеспечение для исследования тепловентиляционных режимов асинхронных электродвигателей // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XVI междунар. научн. - техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 28-29 апреля 2016 г. /М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. Гос. техн. ун-т П. О. Сухого, под общ. Ред. А. А. Бойко. - с.289-292.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПАРОВОДОВ В НЕПРОЕКТНЫХ РЕЖИМАХ

В статье рассматриваются проблемы эксплуатации тепловых сетей в неprojektных режимах, в частности, промышленных паропроводов. Рассмотрены основные проблемы тепловых сетей и последствия эксплуатации трубопроводов в малорасходных режимах. В статье рассмотрены существующие методики оценки качества систем теплоснабжения, рассмотрены принципы и недостатки существующих методов. В результате исследования была выявлена необходимость расширения методической базы для оценки качества систем теплоснабжения и поставлена дальнейшая задача исследования.

Ключевые слова: теплоснабжение, тепловые сети, неprojectный режим, промышленные паропроводы, надежность.

Россия является страной с самым высоким уровнем централизованного теплоснабжения в Европе. Тепло является уникальным продуктом, который невозможно резервировать и транспортировать на дальние расстояния.

Тепловые сети являются важнейшим элементом системы теплоснабжения, так как они соединяют источники тепла с местами их потребления.

Однако, тепловые сети это наиболее уязвимый элемент системы, снижающий надежность теплоснабжения по ряду причин:

- неудовлетворительное техническое состояние и обслуживание тепловых сетей;
- износ оборудования;
- нарушение тепловой изоляции;
- длительный срок эксплуатации трубопроводов.

Все эти факторы приводят к снижению надежности теплоснабжения, несоответствию параметров теплоносителя договорным значениям, значительному росту тепловых потерь и снижению качества теплоснабжения в целом.

В связи со спадом промышленного производства в России системы пароснабжения находятся в критическом состоянии. С уменьшением теплопотребления пара перед владельцами сетевых паропроводов возникает острая проблема, так как транспортировка малых расходов пара через большие проходные сечения уже существующих трубопроводов весьма убыточна, и приводит к значительным потерям пара и конденсата.

Основная расходная статья в балансе любой теплоснабжающей кампании (ТСК) это потери. При работе в нерасчетном режиме и недостаточном обслуживании тепловых сетей растут величины тепловых потерь, и их рост носит экспоненциальный характер. В результате такой эксплуатации тепловые сети, чтобы не работать себе в убыток, полностью распределяют тепловые потери по потребителям.

Тогда цена тепловой энергии для потребителя:

$$Ц = Ц_{ТЭЦ} + \Delta Q \cdot Ц_{ТЭЦ}, \text{ руб/Гкал,}$$

где $Ц_{ТЭЦ}$ – цена за отпущенное тепло с коллекторов ТЭЦ,
 ΔQ – тепловые потери тепловой сети.

Для Смоленска $C_{ТЭЦ} = 1500-1800$ руб/Гкал.

В итоге, цена единицы тепловой энергии в 3-4 раза превышает цену отпущенной единицы тепла с источника.

Однако эксплуатация паропроводов в непроектном режиме затрагивает не только экономическую составляющую теплоснабжения, но и техническую.

Расход пара от ТЭЦ определяется не только договорными нагрузками потребителей. На пути до них пар теряет давление, температуру и становится влажным. Изменение этих характеристик зависит от начального расхода пара, его распределения по потребителям и температуры наружного воздуха. При значительном уменьшении нагрузки относительно проектной, большая часть пара конденсируется и заполняет объем трубопровода, что может привести к гидроударам и порывам тепловой сети.

Эксплуатации промышленных паропроводов, спроектированных для транспортировки перегретого пара в условиях транспортировки влажного пара, существенно снижает надежность и безопасность теплоснабжения.

В настоящее время в нормативной документации отсутствует сформировавшееся представление об особенностях и критериях оценки таких режимов работы. Поэтому, владельцы паропроводов, будучи связанными юридическими обязательствами, вынуждены продолжать эксплуатацию существующих паропроводов в малорасходных режимах. Все это обуславливает актуальность расширения методической базы по оценке качества систем теплоснабжения с целью практического применения при прогнозировании дальнейшей эксплуатации элементов промышленных теплоэнергетических систем.

Проблема качества теплоснабжения в научно-практическом плане представляется как система взаимосвязанных вопросов, решение которых направлено на разработку и совершенствование показателей и нормативов качества энергоснабжения.

Разработка методик оценки качества теплоснабжения началась с появления первых систем централизованного теплоснабжения. Одним из первых упоминаний об определении показателей качества теплоснабжения следует считать публикацию Л.К. Якимова, где была сформирована задача определения предельного радиуса теплофикации [1]. В тексте работы, в рамках главы «Технико-экономический расчет тепловых сетей» представлен аналитический способ определения оптимального радиуса действия тепловых сетей. Однако этот метод позволяет гарантировать эффективность теплоснабжения лишь на этапе проектирования. Прорывом в направлении исследования качества теплоснабжения явился период 1951-1957 гг., когда Е.П. Шубиным [2] был подробно рассмотрен принципиально новый показатель – оборот тепловой энергии. Каждое значение данного показателя по всей СЦТ различно и зависит от величины расчетной тепловой нагрузки потребителя и расстояния от теплоисточника до точки подключения тепловой нагрузки. Впоследствии отношение оборота тепловой нагрузки к суммарной тепловой нагрузке было переименовано в средний радиус теплоснабжения. Научным способом было доказано, что эффективность централизованного теплоснабжения не может оцениваться в целом по СЦТ,

эффективность СЦТ носит территориальный характер и в зависимости от комплекса факторов может принимать различные значения.

Зачастую понятие «качества» отождествляется с температурой теплоносителя подающего трубопровода теплосети. Хотя, качество температурного режима помещения обеспечивается не температурой теплоносителя подающего трубопровода, а количеством поставляемого тепла и рациональным использованием этого тепла внутри помещения, а также перерывами в предоставлении теплоносителя. Однако этот метод не является точным, так как при оценке качества со стороны только термодинамических параметров не контролируется главное требование к системе теплоснабжения – надежность и бесперебойность теплоснабжения.

Вопрос надежности тепловых сетей исследовали А.И. Юфа, Н.В. Калинин, А.А. Ионин, Е.В. Сеннова и др. Под надежностью тепловых сетей понимается их способность обеспечивать потребителей требуемым количеством теплоносителя при заданном его качестве, оставаясь в течение заданного срока (25 – 30 лет) в полностью работоспособном состоянии при сохранении заданных на стадии проектирования технико-экономических показателей (значений абсолютных и удельных потерь теплоты, удельной пропускной способности, расхода электроэнергии на перекачку). Методики расчета, определяющие показатели надежности, не затрагивают термодинамические, эксплуатационные, экологические и технические характеристики.

Однако применение перечисленных методик на практике дает не полную картину о качестве теплоснабжения, так как они включают в себя лишь отдельные единичные показатели, а не учитывают их взаимосвязь и чувствительность друг к другу.

Впервые комплексную оценку качества затронули в своей работе Е.Л. Архангельская и Н.Н. Елизарова, предложив описание функции качества теплоснабжения в виде функционала, аргументами которого являются параметры качества поставки тепловой энергии [3]:

$$F(x) = \sum_{j=0}^m P[q_j] \prod_{i=1}^n P[K_{i\min} \leq K_i \leq \frac{K_{i\max}}{q_i} \geq (q_i \geq Q)],$$

где $j = 0, \dots, m$ – возможные состояния системы; $P[q_j]$ – вероятность нахождения системы в состоянии j , которое характеризуется пропускной способностью q_j ; $P[K_{i\min} \leq K_i \leq \frac{K_{i\max}}{q_i} \geq (q_i \geq Q)]$ – вероятность того, что показатель качества тепловой энергии K_i будет находиться в заданных пределах, а пропускная способность q_i будет удовлетворять режиму теплоснабжения Q ; n – число рассматриваемых показателей качества энергии. Недостаток представленной функции в том, что он рассматривает состояние только трех групп показателей: термодинамических, физико-химических и показателей бесперебойности, что сводит данную методику к определению надежности тепловых сетей.

Вышеперечисленные методики оценки качества теплоснабжения имеют частный характер, для полной оценки необходим комплексный показатель. Все это обуславливает актуальность расширения методической базы по оценке ка-

чества систем теплоснабжения с целью практического применения при проектировании и модернизации систем теплоснабжения городов.

Литература

1. Якимов Л. К. Предельный радиус действия теплофикации / Л.К. Якимов // Тепло и сила. - 1931. - № 9. С. 8–10.
2. Шубин Е.П. Проектирование городских тепловых сетей / Е.П. Шубин. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957.
3. Архангельская Е.Л., Елизарова Н.Н. Информационное обеспечение управления качеством теплообеспечения потребителей // Вестник Ивановского государственного энергетического университета, 2012. № 4. С. 66-71.

А.М. Фокин, ст.пр.; А.И. Киселева, асс.

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

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Затрагивается проблема качества теплоснабжения, связанная с отсутствием государственного стандарта на этот вид продукции. Авторами предложен комплексный показатель качества, который позволяет оценить теплоснабжение, учитывая и потребительские требования, и инженерные характеристики. По результатам расчетов был получен комплексный показатель качества, представленный на «доме качества». Данный формальный подход, наглядно показывает, какие показатели в системе теплоснабжения являются наиболее уязвимыми и требуют пристального внимания со стороны теплоснабжающей организации.

Разработанная методика оценки качества тепловых сетей может быть распространена на любые тепловые сети: как на паровые, так и на водяные. Данную методику также можно рекомендовать для прогнозирования развития как новых, так и существующих объектов теплоэнергетики, при модернизации или реконструкции тепловых сетей.

Ключевые слова: тепловые сети, качество теплоснабжения, показатели качества, теплоэлектроцентраль, дом качества, теплоноситель, надежность тепловых сетей, паропроводы, теплоэнергетические системы.

Качество продукции – понятие многогранное. В первую очередь качество продукции ассоциируется с комплексом ее естественных свойств, которые определяют ее полезность. Продукцией топливно-энергетического комплекса (ТЭК) является топливо, электрическая и тепловая энергия. Несмотря на видимой различие энергетической продукции, вся она имеет общее полезное свойство – способность совершать работу (или превращаться в другие виды энергии) [1]. Качество тепловой энергии, в зависимости от теплоносителя может характеризоваться такими параметрами как температура, давление, энтальпия и другими. Таким образом, понятие качества идентично для всех видов топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), в то время как параметры, определяющие качество, будут различны для каждого вида ресурса.

Проблема качества теплоснабжения в научно-практическом плане представляется как система взаимосвязанных вопросов, решение которых направлено на разработку и совершенствование показателей и нормативов качества энергоснабжения.

При разработке комплексного критерия оценки качества тепловых сетей были решены следующие задачи:

- определение номенклатуры показателей качества для тепловых сетей;
- расчет показателей качества с целью оценки качества теплоснабжения;
- определение эталона «тепловой сети» для рассматриваемого объекта;
- определение комплексного показателя качества тепловых сетей.

В качестве объекта исследования был рассмотрен паропровод от ТЭЦ-2, расположенной в г.Смоленске, конфигурация и тепловые нагрузки которого представлены на рис.1.

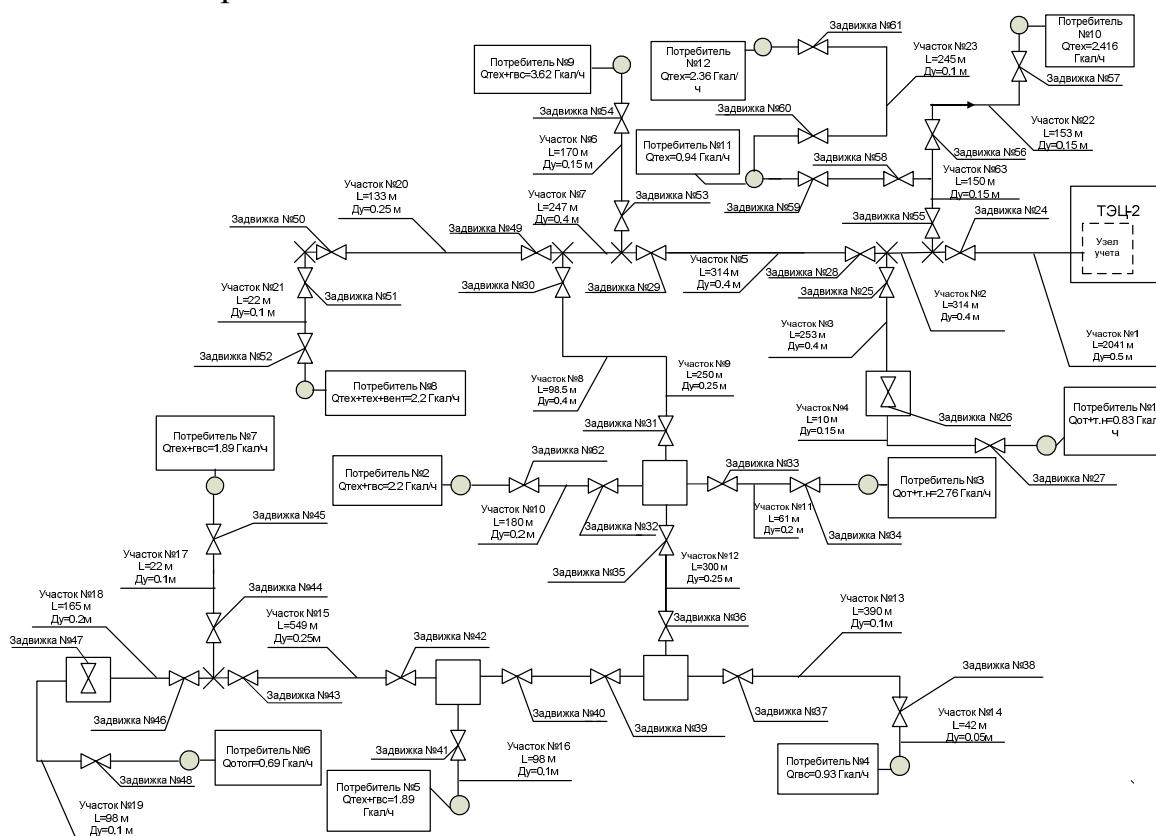


Рисунок 1. Схема тепловой сети от ТЭЦ-2.

Первым этапом при определении номенклатуры показателей качества для любого промышленного объекта является установление класса и группы продукции. Тепловые сети можно отнести к продукции, расходующей свой ресурс и группе ремонтируемых изделий. Согласно нормативной документации, для этого типа продукции необходимо определять все единичные и комплексные показатели качества.

При проведении анализа технической литературы, который представлял собой подсчет количества упоминаний по каждой группе показателей качества, было выявлено, что определение абсолютно всех показателей для объекта исследования излишне. Распределение весомостей показателей качества для тепловых сетей представлено на рис 2.

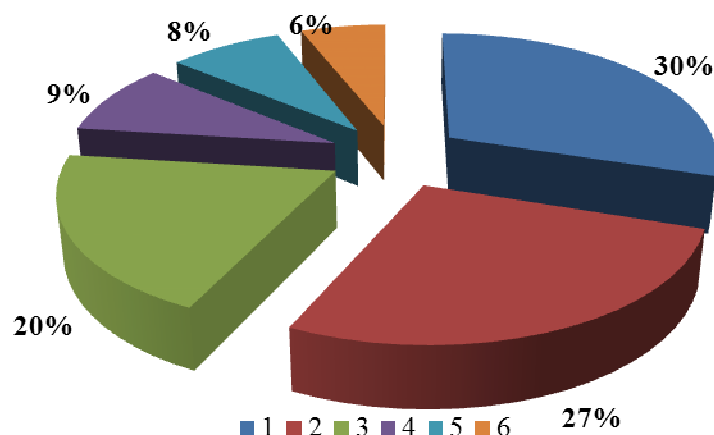


Рисунок 2. Распределение весов показателей качества для тепловых сетей. 1 – показатели надежности, 2 – показатели назначения, 3 – экологические показатели, 4 – показатели технологичности, 5 – показатели экономного использования сырья, материалов и топлива, 6 – прочие показатели.

Главным требованием при оценке качества любой продукции является наличие базового образца (эталона). Базовый образец должен относиться к оцениваемой продукции или аналогичной по назначению и условиям эксплуатации продукции [2]. Особенностью данного паропровода является работа в нерасчетном режиме. На данный момент загрузка составляет 30% от расчетной, поэтому в качестве эталона был спроектирован паропровод на ту же нагрузку, что и оцениваемый объект, но с учетом экономической скорости движения пара.

Для данного паропровода были рассчитаны те же показатели качества, что и для рассматриваемого объекта.

Для определения качества тепловой сети был применен формальный подход, который осуществляется с использованием матричной диаграммы, названной в соответствии со своей формой «домом качества». Путем деления абсолютных значений единичных показателей исследуемого объекта на абсолютные значения базового образца были получены относительные значения показателей качества. В результате был определен комплексный показатель, представленный пунктирной линией на «крыше качества» (рис. 3).

Группы показателей качества отображаются наклонными прямыми. Длина каждой прямой, характеризующей группу показателей, была определена весомостью при проведении литературного анализа (например, показатели надежности являются важнейшими показателями, поэтому линия, характеризующая эту группу самая длинная). На горизонтальной прямой расположены нулевые значения показателей.

После нанесения относительных показателей качества, по методу наименьших квадратов была построена аппроксимирующая линия, являющаяся комплексным показателем качества паропровода, в общем.

На рисунке также представлена связь между инженерными характеристиками тепловых сетей и потребительскими требованиями, где 3 – сильная связь, 2 – слабая связь, 1 – связи нет. Такое наглядное представление оценки качества теплоснабжения, позволяет найти причину снижения эффективности тепло-

снабжения и предупредить возможные последствия нарушения теплоснабжения.

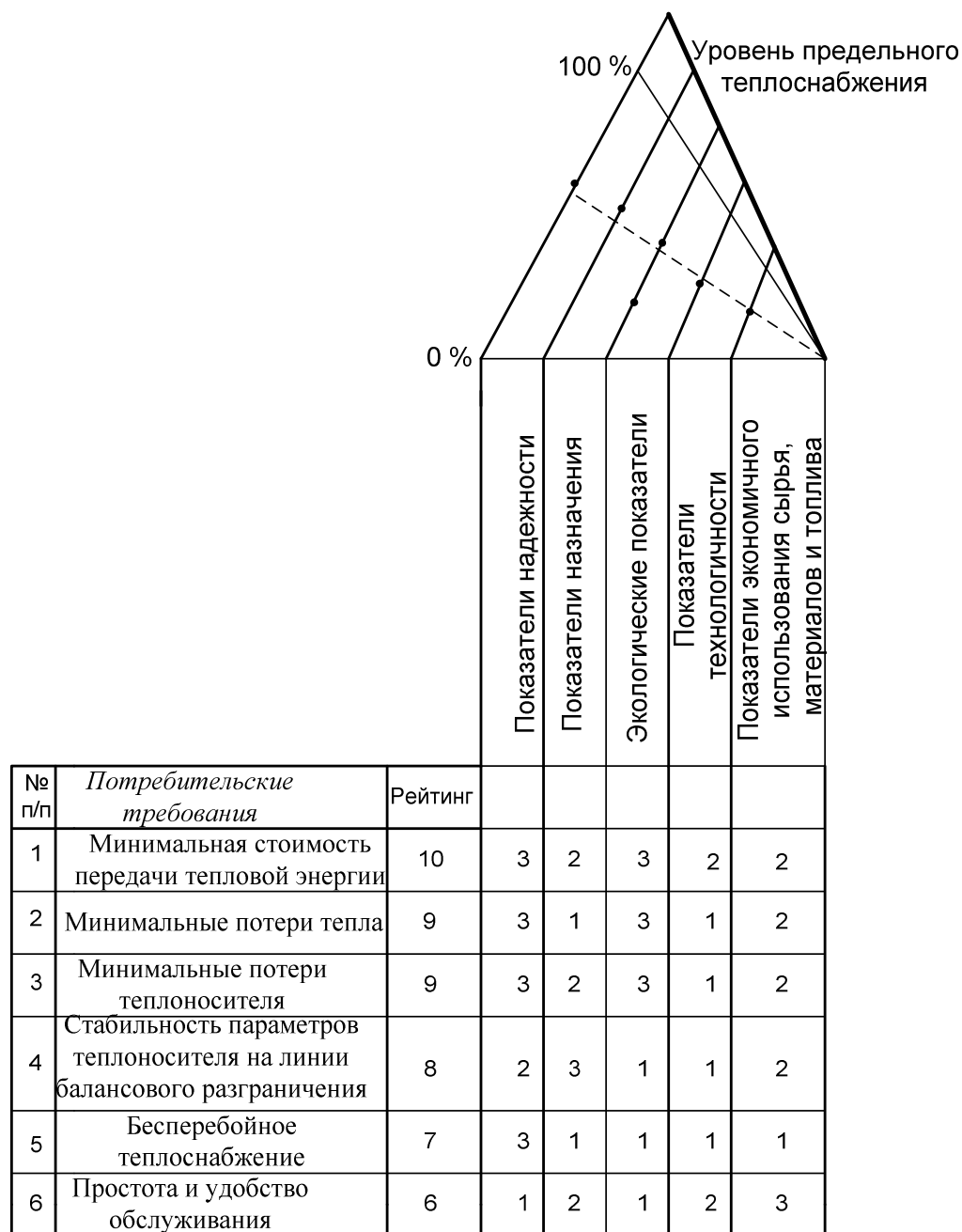


Рисунок 3. «Дом качества» для тепловых сетей.

Уровень предельного теплоснабжения характеризует такое состояние системы, когда показатели качества превышают «эталонные» значения, регламентируемые нормативной документацией.

Показатели надежности обеспечивают 47,4% от должного качества (эталонного, соответствующего значению 100%). Наибольшее влияние на эту группу показателей оказывает вероятность безотказного теплоснабжения, которая в большей степени не отвечает нормативному значению $P_j=0.9$. Для того чтобы исправить эту ситуацию, теплоснабжающей организации можно порекомендовать уделить внимание техническому обслуживанию данного паропровода и проводить ежегодные ремонтно-профилактические работы.

Экологические показатели находятся на самой низкой отметке (28,8%), что объясняется тем, что показатели потерь тепла и теплоносителя значительно превышают допустимые значения. Во избежание подобных ситуаций, следует уделить большое внимание состоянию тепловой изоляции паропровода.

В результате построения комплексного показателя выявлены основные причины некачественного теплоснабжения для тепловых сетей и их последствия. Определена номенклатура показателей качества для тепловых сетей, произведен расчет показателей. На основании полученных результатов выведен комплексный показатель качества, учитывающий параметры тепловых сетей и их влияния на качество теплоснабжения в целом.

Разработанная методика для определения качества тепловых сетей может быть применена для любых тепловых сетей: как для паровых, так и для водяных; ее можно рекомендовать как при проектировании тепловых сетей, так и для определения качества эксплуатируемых объектов.

На основании полученного комплексного показателя качества, можно разрабатывать рекомендации для улучшения качества систем теплоснабжения.

Литература

1. Кузнецов Е.П. Качество теплоснабжения городов: учебное пособие / Е.П. Кузнецов, Н.В. Кобышева, Т.А. Дацюк и др. – 2-е изд. – СПб.: ПЭИПК, 2004. – 294 с.
2. Федюкин В.К. Квалиметрия. Измерение качества промышленной продукции – М.: Кнорус, 2015. – 287 с.
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / 9-е издание, стереотипное: учебник для вузов. - М.: Издательский дом МЭИ, 2009 - 472 с.

А.М. Хайруллин, студ.; Р.С. Зарипова, к.т.н., доц.

(ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г.Казань)

РАЗРАБОТКА ПРИБОРОВ УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА

Развитие автоматизированных систем учета потребления электроэнергии, введение многотарифности и предоплаты ставит перед разработчиками информационно-измерительных систем задачу создания нового электронного счетчика для измерения электроэнергии, совместимого с другими элементами систем учета и обладающего более высокой точностью по сравнению с существующими приборами.

Ключевые слова: приборы учёта электрической энергии, цифровой сигнальный процессор, электронный счетчик измерения электроэнергии.

Тенденция развития компонентной базы современной микропроцессорной техники такова, что все большее применение при разработке разнообразных приборов и систем находит класс специализированных микропроцессорных систем, получивших название цифровых сигнальных процессоров (ЦСП). Одним из применений ЦСП в области информационно-измерительной техники и контрольно-измерительных приборах стали приборы учета потребляемой электрической энергии. Прямое вычисление мгновенной потребляемой активной мощности в многофазных питающих электрических сетях тривиально реализуется с помощью ЦСП оснащенных многоканальным АЦП. Кроме того, приборы

учета данного класса на основе ЦСП могут с минимальными усилиями для разработчика быть функционально расширены для учета реактивной мощности, что характеризует эффективность передачи электроэнергии потребителю и имеет важное значение в системах учета энергопотребления промышленными предприятиями.

Наряду с общими требованиями и важнейшими характеристиками, которые предъявляются к классу приборов и систем информационно-измерительной техники общего назначения, такими как класс точности прибора для измеряемых величин, диапазон измерений, время непрерывной работы, время установления рабочего режима температурный диапазон работы, срок службы прибора, следует отметить, что при проектировании счетчиков электроэнергии следует учитывать, то что такие приборы должны отличаться весьма длительным сроком службы, высокой надежностью, постоянством измерительных характеристик, возможностью стационарной поверки и при необходимости калибровки прибора.

Реализация этих важнейших требований предполагает применение таких схемотехнических решений и выбор такой компонентной базы, которая отличалась бы высокой надежностью и вместе с тем простотой, а также минимальным числом вспомогательных элементов. Требование надежности и долговечности прибора учета предполагает использование современных специализированных информационных систем реализующих ставшую, уже классической, схему измерения на основе аналого-цифровых преобразователей «мощность-частота». Большинство таких информационных систем, в том числе информационная система ADE7755 обеспечивают не только непосредственное подключение электромеханических счетных устройств на основе шаговых двигателей, но подключение микропроцессорных систем [1]. Именно перспективное применение микроконтроллеров, выполняющих счетную функцию, функцию управления индикаторной системы, а также коммуникационную и поверочно-калибровочную функции, позволит разработать современный, высоконадежный, долговечный и точный прибор [2].

Таким образом, на основании общей постановки задачи и акцентировании внимания на особенностях рассмотренной компонентной базы (специализированных ИС преобразователей «мощность-частота», цифрового сигнального процессора семейства dsPIC33, трансформаторных датчиков тока и напряжения) и измерительных схем и методов становится очевидной структура проектируемого прибора. Разработка трёхфазного счетчика предполагает использование трех каналов преобразования мощность-частота и применения специализированных трехфазных преобразователей или трех отдельных информационных систем. С точки зрения реализации коммуникационных функций между информационными системами и микропроцессором наиболее удобным является использование преобразователей компании Microchip Technology типа MCP3909, которые функционально полностью повторяют ADE7755 и также поддерживают SPI интерфейс для передачи измерительной информации непо-

средственно в микропроцессорную систему. Таким образом, структура разрабатываемого прибора включает в себя следующие элементы:

- три канала аналого-цифрового преобразования типа «мощность-частота» – высокоточный интегральный первичный преобразователь активной потребляемой мощности в цифровой сигнал стандартного ТТЛ-уровня с частотой прямо пропорциональной мощности (МСР3909) с микропроцессорным управлением. Данная информационная система содержит два встроенных прецизионных сигма-дельта АЦП с высокой частотой дискретизации для преобразования мгновенных значений напряжения и тока, а также умножитель-интегратор для вычисления средней активной мощности. Сигнал пропорциональный мощности управляет выходным генератором с переменной частотой, которая и является мерой потребляемой энергии [3];

- цифровой сигнальный процессор (ЦСП) – 16-разрядный микропроцессор, реализующий измерительные, индикаторные, управляющие и коммуникационные функции;

- интегральные линейные стабилизаторы напряжения – преобразователи сетевого напряжения сети переменного тока в постоянное напряжение 5 В и 3,3 В для питания интегральных преобразователей, микропроцессорной системы и вспомогательных схем. Наличие в схеме второго питающего напряжения 3,3 В связано с тем, что ядро ЦСП имеет пониженное напряжение питания;

- EEPROM-память – внешняя интегральная электрически перепрограммируемая постоянная память, предназначенная для сохранения настроек, режимов и показаний прибора. Использование внешней энергонезависимой памяти является обязательным элементом современного прибора учета, поскольку при отключении питания в ней должны сохраняться последние показания прибора. Наряду с этим память достаточного объема может использоваться для хранения истории показания потребления за временные периоды, реализации подсистем многотарифного учета и т.д.;

- модуль интерфейса RS-232 – преобразователь уровней UART-интерфейса микропроцессорной системы для реализации стандарта протокола физического уровня RS-232. Необходимость этого модуля обусловлена тем, что современный прибор учета должен допускать внешнее управление от вычислительной машины, может быть включен в систему АСКУЭ и иметь канал для перепрограммирования измерительных параметров при поверки и калибровке;

- три канала трансформаторов тока (ДТ – датчик тока) (катушки Роговского) – предназначены для первичного преобразования величины протекаемого тока через нагрузку в каждой отдельной фазе в величину пропорциональную напряжению регистрируемую каналом СНО интегрального преобразователя МСР3909. Применение трансформаторов тока без ферритового сердечника позволяет существенно упростить калибровочные расчеты и избежать учета нелинейных искажений при насыщении ферромагнитного материала (насыщение, гистерезис, резонанс, остаточное намагничивание);

- три трансформатора тока и резистивных делителя (ДН – датчик напряжения) – предназначены для первичного преобразования величины, питающего

нагрузку сетевого напряжения к величине пропорционального и безопасного напряжения для регистрации каналом СН1 интегрального преобразователя МСР3909;

- фильтры низких частот (ФНЧ) – обеспечивают пропускание рабочего частотного спектра регистрируемых сигналов в измерительных каналах тока (СН0) и напряжения (СН1) интегрального преобразователя МСР3909;

- блок семисегментной ЖК-индикации – индикаторный модуль для отображения величины измеряемых параметров потребления и режимов работы прибора;

- клавиатурный блок – основной орган ручного управления прибора, предназначенный для выбора режимов индикации параметров.

Таким образом, выбрав измерительную схему и метод измерения [4], сформулировав некоторые общие требования, определив состав компонентов прибора и структурные связи между ними, рассмотрев электронную компонентную базу можно перейти к и схемотехническому проектированию.

Рассмотрены вопросы проектирования и схемотехнической реализации прототипа электронного трехфазного счетчика электрической энергии для двухпроводной сети с применением современных компонентов цифровой электроники, в котором реализованы средства контроля и предотвращения хищения электроэнергии и коммуникационные средства с подсистемами диспетчерского уровня автоматизированных систем коммерческого учета электрической энергии.

Литература

1. Шаров В.В. Система учета электрической энергии с использованием современных информационных технологий / В.В. Шаров, Р.И. Фатыхов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2015. – № 7-8. – С. 14-19.
2. Кольцов В.В., Зарипова Р.С. Устройство, выполняющее функцию автоматического выключателя лестничного освещения // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: Материалы IV российской молодежной научной школы-конференции. – Томск, 2016. – С.147-148.
3. Красавина Е.О., Плотникова Л.В. Повышение энергетической эффективности промышленных процессов ректификации // Научному прогрессу – творчество молодых, 2016. – № 2-4. – С. 205-207.
4. Ситников Ю.К. Теория, компьютерная модель, лабораторная установка / Ю.К. Ситников, С.Ю. Ситников // Ученые записки ИСГЗ. – 2015. – №1. – С. 494-499.

*А.В. Цветкова, студент; В.А. Галковский, к.т.н., доцент;
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

БЕЗДЕАЭРАТОРНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ СХЕМЫ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

До определенного времени содержание кислорода в питательной воде энергоустановок считалось недопустимым. Для его устранения применяют специальное оборудование-деаэраторы. Но они имеют ряд существенных недостатков: большие габариты, дороговизна, регулярный надзор персонала и другое. Однако, сейчас наука не стоит на месте, и разрабатываются бездеаэрационные тепловые схемы, позволяющие устранить данные недостатки.

Ключевые слова: деаэраторы, бездеаэрационная тепловая схема (БТС), отказ от деаэрации, подогреватели смешивающего типа.

С ростом единичных мощностей энергоблоков как на органическом, так и на ядерном топливе в первую очередь повышаются требования к надежности вспомогательного оборудования системы регенеративного подогрева питательной воды. Повышение надежности может быть достигнуто путем разумного упрощения тепловой схемы энергоблока без заметного снижения экономичности установки. Следует прежде всего стремиться к исключению из схемы элементов, отказы которых при водят к отключению энергоблока. В ВТИ (Всероссийский теплотехнический институт) был проведен большой комплекс работ по расчету, проектированию и внедрению бездеаэрационных тепловых схем. Полученный опыт показал, что этот путь приводит к наиболее весомым результатам в повышении надежности и дает ряд других преимуществ. Практическая реализация бездеаэрационной схемы стала возможной после внедрения и освоения комбинированных систем регенерации низкого давления с подогревателями низкого давления (ПНД) смешивающего типа [1].

Вторым фактором, способствующим реализации БТС, является нейтрально-кислородный водный режим (НКВР)[3]. При этом режиме потребность в деаэраторе как дегазаторе питательной воды вообще отпадает.

Опыт внедрения БТС на турбинах 300 МВт показал, что при бездеаэрационной схеме уменьшаются капитальные затраты и объем ремонтных работ в связи с ликвидацией деаэрационной установки, бустерных насосов части трубопроводов, арматуры, регуляторов, а также уменьшением в ряде случаев строительной части здания электростанции. Кроме того повышается экономичность турбоустановки в результате снижения расхода электроэнергии на собственные нужды (в основном на работу насосов системы регенерации) ликвидации потерь теплоты с выпаром из деаэратора и дросселирования отборного пара. Но главное преимущество этой схемы в том, что она проще и содержит по сравнению с деаэрационной меньше аппаратов, насосов, арматуры, трубопроводов, выход из строя которых приводит к отключению энергоблока. Надежность БТС выраженная в количественных показателях, примерно в 2 раза выше надежности исходной схемы с деаэратором в основном за счет исключения возможности переполнения и подпрессовки деаэратора, попадания из него воды в турбину или в ее уплотнения, срыва бустерных насосов, разуплотнения корпуса бака-аккумулятора.

Бездеаэрационная схема впервые в нашей стране была реализована в июне 1981 г. на турбине К-300-240 ЛМЗ Кармановской ГРЭС, а в 1985 турбине К-300-240 ХТГЗ Ладыжинской ГРЭС. К настоящему времени на этих электростанциях на бездеаэрационную схему переведены остальные энергоблоки (всего 12). В 1988 г. БТС внедрена на турбине мощностью 800 МВт Пермской ГРЭС.

К настоящему времени в нашей стране и за рубежом сложилась весьма устойчивая структура регенеративной (тепловой) схемы конденсационной паровой турбины. Она включает ПНД, деаэратор и подогреватели высокого давления. Система регенерации энергоблока предназначена для подогрева питательной воды отбираемым из промежуточных ступеней турбины паром, который уже совершил определенную работу при расширении от начального состояния перед

турбиной до давления в отборе. Тем самым уменьшается количество пара, поступающего в конденсатор турбины, в котором теплота конденсации передается охлаждающей воде. Теплота конденсации отборного пара в регенеративных подогревателях передается питательной воде, что приводит к уменьшению расхода топлива в котле и повышению экономичности энергоблока. Теоретически наибольший выигрыш в экономичности от регенерации достигается при установке подогревателя после каждой ступени турбины и нагреве питательной воды до температуры насыщения греющего пара. Однако расчеты показывают, что при установке в регенеративной схеме 7-9 подогревателей относительный выигрыш в КПД достигает 0,9 максимально возможного [2]. Дальнейшее увеличение числа подогревателей нерентабельно из-за увеличения капитальных затрат и усложнения системы регенерации, поэтому в современных тепловых схемах количество ПНД составляет обычно 4-5 штук.

Использование деаэрационной установки в схеме имеет за собой ряд преимуществ. А именно, в нем осуществляется удаление из питательной воды кислорода и диоксида углерода до установленных норм; достаточно большой объем бака дает возможность на продление времени для устранения неполадок при прекращении подачи в деаэрактор воды.

В то же время деаэрактор-это большой резервуар с водой высокой температуры (160-170°C), который размещается на высоте, на деаэрационной этажерке, с разветвленной системой трубопроводов для пара и воды. Деаэрактор снабжается большим набором предохранительной аппаратуры, быстродействующими защитами, регуляторами и требует постоянного контроля со стороны технологического персонала.

На данный момент деаэрационные схемы нашли применение в зарубежной энергетике, в нашей же энергетике пока что они на уровне проектирования и медленного внедрения. На рисунке 1 приведена принципиальная тепловая бездеаэрационная схема энергоблока двухконтурной АЭС. Схема регенеративного подогрева воды состоит из одного ПВД, шести ПНД, охладителя сепарата влаги СПП и подогревателя уплотнений [3].

Расчеты, которые проводил ВТИ, говорят о том, что использование бездеаэрационной схемы на энергоблоке мощностью 800 МВт увеличивает коэффициент полезного действия установки на 0,1–0,7 % в зависимости от нагрузки, а годовой экономический эффект внедрения этой схемы на таком блоке составляет от 400 до 600 тысяч рублей.

Опыт показывает, что отказ от деаэратора упрощает тепловую схему и способствует повышению надежности ее работы.

На сегодняшний день идет переоценка применения традиционных тепловых схем с деаэрационными установками, применение которых значительно усложняет эксплуатацию электростанции и снижает экономичность вырабатываемого киловатта мощности.

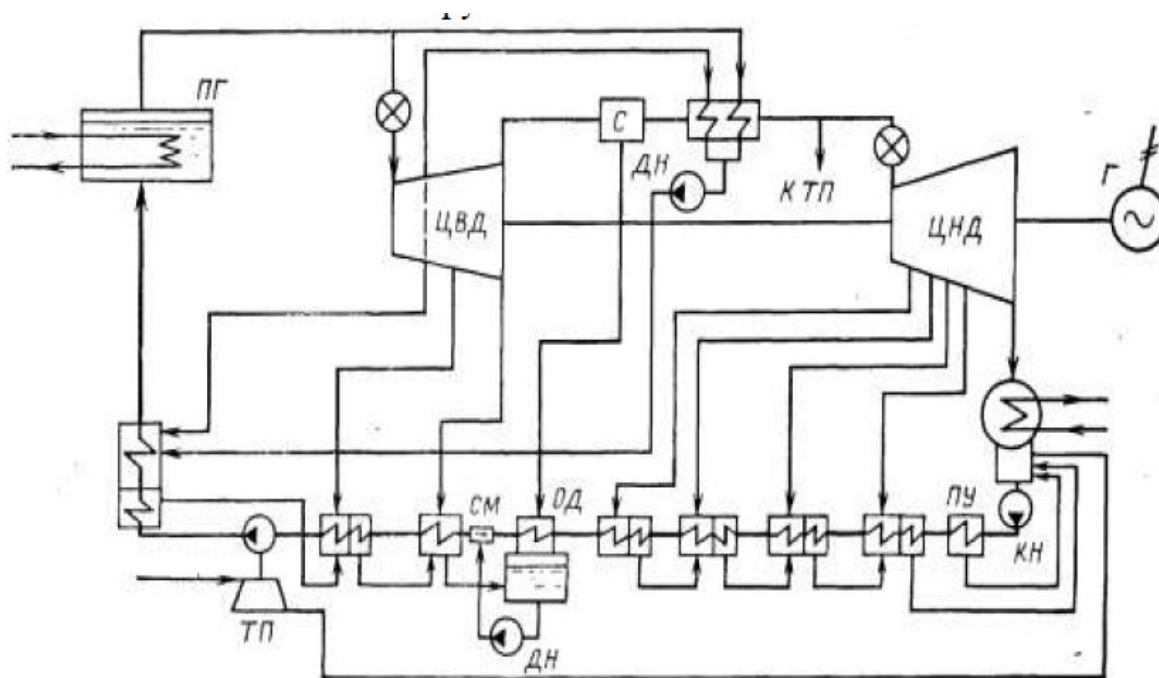


Рисунок 1 - Бездеаэраторная схема энергоблока мощностью 1175 МВт АЭС фирмы «Востингауз»: ОД — охладитель сепарата влаги СПП; СМ — смеситель; ПУ — подогреватель уплотнений; ДН — дренажный насос.

Литература

1. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Строительство», А.Н. Хуторной. - Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2003. - 161 с. : ил. ISBN 5-93057-118-X.
2. Бездеаэраторные схемы паротурбинных установок. Г.И. Ефимочкин. - М.: Энергоиздат, 1989. - 232 с.: ил. - (Б-ка теплоэнергетика) ISBN 5-283-00077-X.
3. Совершенствование регенеративной схемы паровых турбин современных энергоблоков. Ефимочкин Г.И.//Теплоэнергетика. 1894

М.В. Чупова, студент; В.А. Галковский, к.т.н., доцент;
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ВЛИЯНИЕ НАКИПНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В статье рассматривается проблема снижения скорости движения воды в системах теплоснабжения. Существует много причин недополучения потребителями необходимой тепловой нагрузки, одной из таких более важных причин является образование накипных отложений внутри систем теплоснабжения. Приведены графические зависимости изменения скорости теплоносителя от толщины слоя накипи.

Ключевые слова: накипь, снижение скорости теплоносителя, гидравлический расчет, теплообменники, вводоподготовка.

Из-за обрастания внутренней поверхности пластинчатого теплообменника слоем накипи, помимо роста давления в системе, происходит и изменение скорости теплоносителя. Рост давления и изменение скорости воды в системах теплоснабжения ведет к преждевременному износу всего оборудования ЦТП (запорной арматуры, насосов, труб и т.д.) и тепловых сетей в целом. Гидравличе-

ский расчет дает возможность оценить и подобрать необходимое оборудование для ЦТП и тепловых сетей. Ниже, на рисунках 1-3, представлены графические зависимости изменения скорости воды от толщины слоя накипных отложений в теплообменном оборудовании, а именно в пластинчатом и кожухотрубчатом теплообменниках, для греющей и нагреваемой воды. Графические зависимости $W^{гр} = f(\delta_n)$, $W^н = f(\delta_n)$ представлены на рисунке 1.

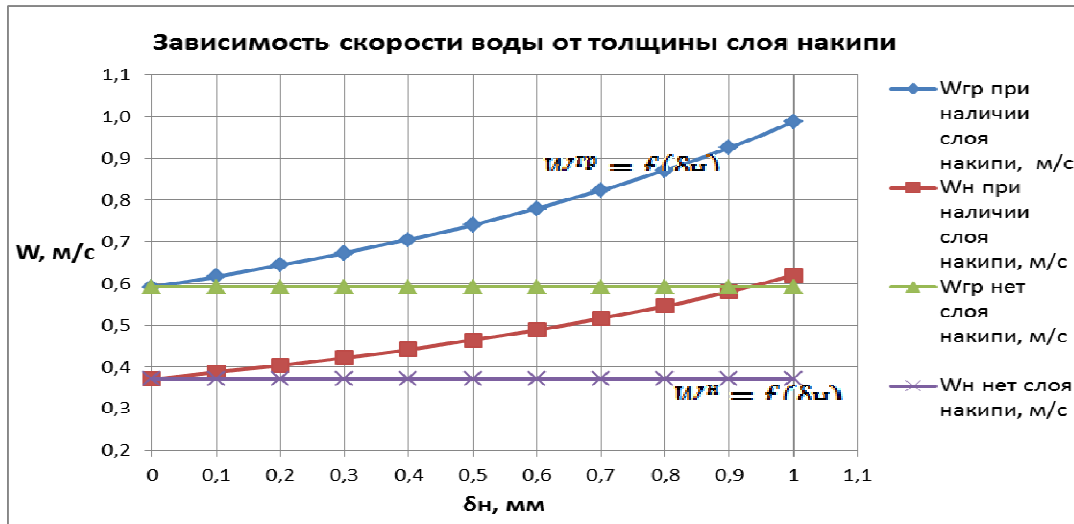


Рисунок 1 - Графические зависимости $W^{гр} = f(\delta_n)$, $W^н = f(\delta_n)$

Математические зависимости $W = f(\delta_n)$:

$$W^{гр} = 0,1974 \cdot \delta_n^2 + 0,1901 \cdot \delta_n + 0,5955$$

$$W^н = 0,063 \cdot \delta_n^3 + 0,0294 \cdot \delta_n^2 + 0,1553 \cdot \delta_n + 0,3712$$

Для кожухотрубчатого теплообменника графические зависимости $W^{тр} = f(\delta_n)$ и $W^{мтр} = f(\delta_n)$ представлены на рисунках 2,3.

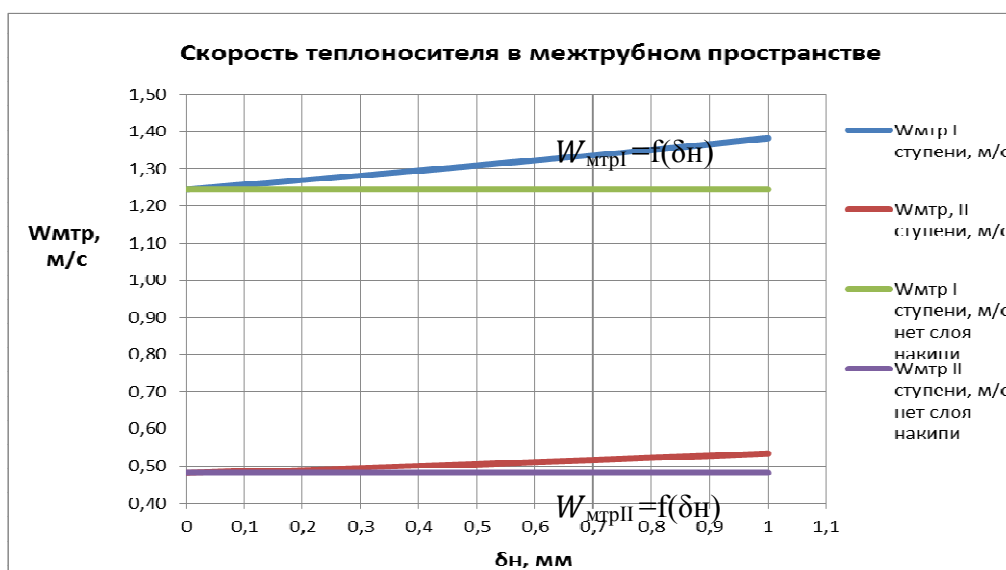


Рисунок 27 - Графические зависимости $W^{мтр} = f(\delta_n)$

Математические зависимости $w_{\text{тр}} = f(\delta_n)$:

$$w_{\text{трI}} = 0,0175 \cdot \delta_n^2 + 0,1193 \cdot \delta_n + 1,2448$$

$$w_{\text{трII}} = 0,0047 \cdot \delta_n^2 + 0,0482 \cdot \delta_n + 0,4811$$

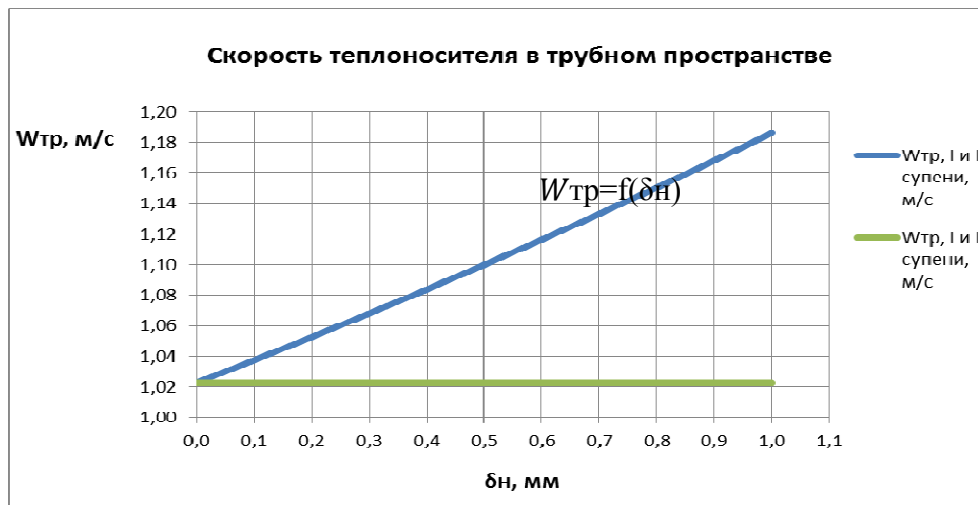


Рисунок 28 - Графические зависимости $w^{\text{TP}} = f(\delta_n)$

Математические зависимости $w^{\text{TP}} = f(\delta_n)$:

$$w^{\text{TP}} = 0,0181 \cdot \delta_n^2 + 0,1451 \cdot \delta_n + 1,0229$$

Как уже говорилось, рост давления, и изменение скорости теплоносителя (воды) в системах теплоснабжения ведет к износу всего оборудования ЦТП, это приводит к выбору теплоснабжающих организаций более дорого и надежного оборудования с повышенной износостойкостью, более высокой мощностью, с целью обеспечения потребителей теплоты необходимым объемом тепловой нагрузки. Все это ведет к удорожанию самого проекта застройки объекта теплоснабжения. Поэтому важной проблемой оставалась и остается качественная водоподготовка теплоносителей на источниках теплоты, и проведение ряда мероприятий по оценке качества и состояний систем теплоснабжения в целом.

Литература

1. Коваленко Л. М., Глушков А. Ф. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи. М. - Энергоатомиздат 1986.
2. Официальное издание - Своды правил по проектированию и строительству СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов.
3. Проектирование централизованного горячего водоснабжения жилого дома и микрорайона: учеб. Пособие / Т.А. Стрелюхина. – 3-е изд., перераб. и доп; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 120 с

СЕКЦИЯ 3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

А.Е. Азаров, Д.В. Лучанинов

(Приамурский университет имени Шолом-Алейхема в г. Биробиджане)

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ИГРЫ ПЛАТФОРМЕРА НА UNITY3D

В статье рассматривается процесс разработки игры в жанре платформер с помощью программы Unity3d. Описываются необходимые ресурсы для создания подобной игры и возможные проблемы с которыми может столкнуться разработчик в готовом проекте.

Ключевые слова: unity3d, разработка игры, отладка приложений, оптимизация памяти, ускорение производительности.

С появление первых компьютерных игр, игры в жанре платформер были и будут очень популярны среди людей играющих в игры. Если исследовать рынок приложений на текущий момент, то увидим, что как на рынке онлайн цифровой дистрибьюцией для персональных компьютеров и консолей, так и на рынке игр для смартфонов на любой операционной системе, размещается огромное количество игр данного жанра, что и делает разработку игр жанре платформер потенциально выгодной. Популярность данного жанра обусловлена обычно простым управлением с которым справляются даже дети, так и нередко сложными игровыми элементами прохождение которых занимает долгое время.

Unity3d – является программным обеспечением с помощью которого создаются 2d и 3d приложения самого разного назначения: калькуляторы, будильники, мультфильмы, одиночные и онлайн игры и многое другое. В данной статье рассматривается создание платформера «Running Girl» (в переводе Бегущая девочка). Для создания данной игры необходимо множество ресурсов: спрайты, несколько музыкальных звуков, скрипты, особые шрифты. Спрайт – это 2D-изображение, используемое в видеоигре. В данном случае это объект Unity для создания 2D-игр. Также для создания 2d игры нужна команда, как минимум из дизайнера который может создать грамотный дизайн интерфейса, дизайн уровней и программиста.

Unity3d даёт возможность разработчику множество разных инструментов для создания приложений и игр. Для создания платформера необходимо все собранные ресурсы поместить в проект чтобы далее работать с их копиями. Программист должен иметь хорошие знания в языке программирования C# или java script. На экран в окно иерархии необходимо поместить фон, а ниже поместить игровые объекты вместе с персонажем. В окне иерархии объекты находятся сверху вниз, объекты которые находятся выше, являются фоном для объектов которые находятся ниже. [1]

После размещения всех объектов на сцене необходимо написать скрипты для взаимодействия игровых элементов с игроком и добавить дополнительные компоненты каждому игровому элементу. Платформам, персонажу за которого будет играть игрок и врагам, всем этим элементам добавляется Box-collider.

Box-collider – это зеленая рамка вокруг спрайта при пересечении которой другого объекта можно запустить то или иное взаимодействие, скрипт. Чтобы игровой персонаж вёл себя реалистично в Unity уже встроены различные физические свойства объектов, например сила притяжения и масса. Для установки физических свойств объекта необходимо добавить компонент Rigidbody 2D.

Перемещение игрока осуществляется с помощью скрипта, в скрипте необходимо указать скорость движения персонажа и включить бег персонажа бесконечно, что характерно для игр жанра платформер, эту задачу в основном решает данная строка – `transform.position = new Vector3(1f*speed, 0, 0)`. Также при нажатии на экран смартфона игровой персонаж должен подпрыгивать для избегания препятствий, эту задачу решает скрипт – `GetComponent<Rigidbody2D>().AddForce(_jump, ForceMode2D.Impulse)`. Для проверки столкновений игрока с врагами описывается другой скрипт для работы которого добавлялся box-collider на каждом объекте - `void OnCollisionEnter2D(Collision2D enemy) {if (enemy.gameObject.tag == "bullet") { reloadlevel() }`. Добавить музыку очень просто, необходимо перенести её в окно иерархии в любое место, она автоматически будет играть при включении, главное – поставить галочку напротив свойства Loop, чтобы музыка не заканчивалась после первого включения.

И заключительный этап, это построение меню. На отдельной сцене необходимо поместить заранее созданные спрайты с текстурами кнопок старт, настройки, выход и другие необходимые кнопки. На каждую кнопку прикрепляется скрипт, который реагирует на нажатие и выполняет соответствующие действия.

После завершения процесса разработки игры, необходимо провести процесс проверки и отладки. Игра при запуске может некорректно себя вести, например при проверке на настольном компьютере у игры стабильно высокое количество кадров в секунду, а на смартфоне игра начинает тормозить, виснуть и количество кадров в секунду стремится к нулю. Существует множество способов оптимизации игр в Unity3d.

Объединение спрайтов в атласы. [2] Атлас это 1 изображение, на котором находятся множество разных спрайтов, с помощью атласов уменьшается общий размер приложений и программе легче обращаться всегда к одному изображению, чем ко множеству разных.

Не создавать новые экземпляры объектов. В Unity существуют функция для создания экземпляров объекта – `Instantiate()`. Каждый раз когда вызывается эта функция происходит скачок производительности и слабые процессоры, такие как зачастую бывают на смартфонах могут зависать. Вместо этого можно использовать заранее созданные объекты при запуске многократно.

Также аналогично свойству `Instantiate`, не стоит часто использовать функцию `Destroy()`.

Оптимизация скриптов. Для оптимизации скриптов можно использовать встроенный инструмент Unity 5 Profiler. Данный инструмент подскажет ошибки и недочёты в скриптах исправление которых может ускорить работы игры.

Не стоит изменять Transform - Scale. Спрайты загруженные в Unity должны использоваться в игре в своём стандартном размере, иначе это лишние расчёты каждый кадр, что также нагружает систему. В результате производительность приложения может вырасти вдвоё, что очень хорошо для приложений на смартфоне.

Вызовы функций `Object.Find()` и `GetComponent()` требуют больше памяти, чем больше объектов на сцене, поэтому вызовы этих функций в сценах с множеством количеством объектов создаёт понижение производительности во время их работы.

В Unity существует специальный инструмент для проверки производительности игры – Unity profiler. [3] Профайлер представляет наглядно в виде графиков все процессы которые происходят во время игры и сколько ресурсов они потребляют.

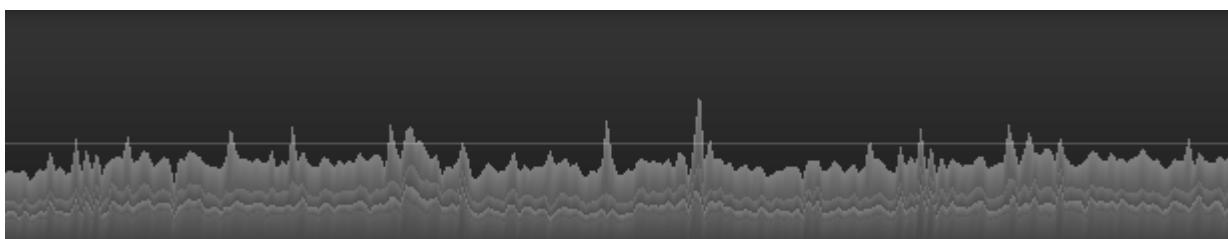


Рис. 1.

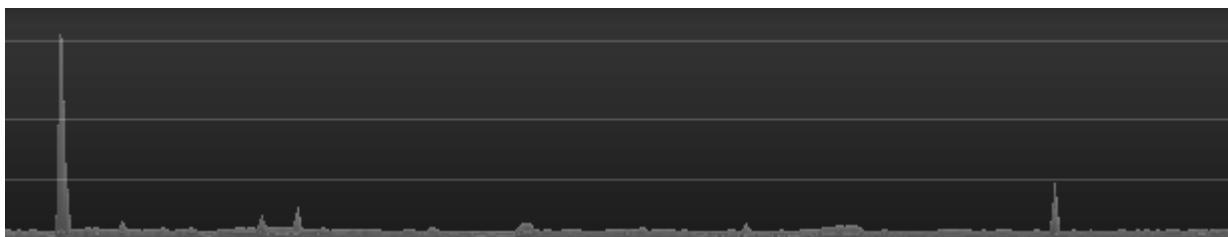


Рис. 2.

На рисунках 1 и 2 показаны графики загруженности центрального процессора во время игры. Первый график отображает загруженность до использования вышеперечисленных методов, график показывает, что симуляция физики и управление объектами через скрипты сильно загружает систему, а на графике 2, загруженность симуляции физики и скрипты, намного меньше загружают систему. Это демонстрирует, как важно удалять неиспользуемые объекты, реже вызывать функции `Instantiate` и `Destroy`, по возможности не использовать `Object.Find()` и `GetComponent()`.

Проведя все вышеперечисленные способы оптимизации, можно увеличить производительность игры на слабых устройствах в десятки раз, из за гораздо меньшего потребления оперативной памяти. Оптимизация игр созданных с помощью любого программного обеспечения является необходимым этапом для любого разработчика. Для разработчика игр на Unity это особенно важно, так как Unity кроме самой игры устанавливает вместе с ней множество необходимых компонентов для запуска приложения, что тоже занимает ресурсы устройства.

В некоторых вузах, у студентов обучающихся на специальностях информационных системы и технологии, может проходить дисциплина – моделирование в Unity3d, в которой рассматривается управление моделями в unity и создание разнообразных игр. Данное исследование можно предоставлять студентам для изучения, для представления более полной картины о разработке компьютерных игр и их оптимизации под различные мобильные устройства.

Список интернет ресурсов

1. 2d игра на unity. Подробное руководство. // websketches URL: <http://websketches.ru/blog/2d-igra-na-unity-podrobnoye-rukovodstvo-p1>
2. Оптимизация 2d-приложений для мобильных устройств в Unity3d // Habrahabr URL: <https://habrahabr.ru/post/169451/>
3. Оптимизация игры на Unity и dev story Tap Tap Builder // Habrahabr URL: <https://habrahabr.ru/post/282391/>

*В.В. Амяга, студ.; рук. Л.В. Гадасина, к.ф.-м.н., доц.
(СПбГУ, г. Санкт-Петербург)*

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ BUSINESS INTELLIGENCE В ОПЕРАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОМПАНИИ

В данной работе рассматриваются проблемы внедрения систем business intelligence (бизнес-аналитики) в компаниях, обосновывается необходимость внедрения систем бизнес-аналитики, а также рассмотрен круг проблем, которые способны решать данные системы.

Ключевые слова: business intelligence, BI, бизнес-анализ, системы бизнес-аналитики

Большой интерес к средствам бизнес-анализа информации вызван современным этапом развития цифрового общества и цифровой экономики. Доступность информации, изменение бизнес-процессов и технологических связей между предприятиями, а также факторы внешней среды вынуждают компании разрабатывать инновационные технологические решения, способствующие дальнейшему развитию и выживанию. Работа в этом направлении так же проводится и в сфере анализа данных. Происходит процесс так называемой цифровой трансформации бизнеса, одним из аспектов которой является ориентация бизнеса на клиента, предоставление ему новых услуг новым способом и расширение опыта клиентского взаимодействия с компанией. Для поддержания данного взаимодействия на должном уровне необходимо затрачивать значительные ресурсы, связанные с непрерывным анализом поступающей информации, постоянным мониторингом настроений клиентов и оперативным принятием решений. Следует отметить, что в современных условиях чем быстрее принимаются управленческие решения, тем лучше, так как любое промедление может вылиться в потерю лояльности клиента.

Развитие цифрового общества и цифровой экономики является одним из приоритетов государственной политики Российской Федерации. Прежде всего данный аспект проявляется в поддержке информационно-технологических компаний, расширении международного сотрудничества, а также в акцентировании особого внимания высшей школе и перечню приоритетных специально-

стей. Представленные направления развития были сформулированы в послании президента Федеральному собранию от 01.12.2016 года.

Так, можно выделить современные вызовы, с которыми сталкиваются компании:

- Цифровая трансформация бизнеса
- Влияние внешней среды на внутренние бизнес-процессы компании (государственное регулирование, конкуренты, поставщики и потребители)
- Появление новых моделей бизнеса
- Изменение цепочек создания и доставки ценности для потребителей
- Необходимость предоставления услуг клиентам новыми способами

Таким образом, в настоящее время в отечественных компаниях столкнулись с проблемами, связанными с реальной потребностью в модернизации операционной деятельности, в том числе и всего процесса бизнес-аналитики и последующего принятия решений. Следовательно, исследования по данной тематике являются актуальными и практически значимыми.

В представленной работе рассматриваются различные аспекты применения инструментов бизнес-аналитики, а также описываются возможности, открывающиеся перед компаниями при использовании Business intelligence (BI) систем. Объектом данного исследования являются информационные системы business intelligence (бизнес-аналитики), предметом – инструменты и методы систем business intelligence.

Бизнес-анализ – это исследовательская дисциплина, направленная на выявление потребностей бизнеса и нахождение решений выявленных проблем [1].

Business intelligence (BI) – набор стратегий и технологий используемых предприятиями для анализа корпоративных данных [2]. Инструменты и методы BI позволяют бизнес-пользователям переводить большие объёмы необработанной информации из несвязанных друг с другом источников в удобную, осмысленную форму. Это открывает возможности для обработки больших объёмом неструктурированных данных для поиска знаний и стратегических возможностей дальнейшего развития бизнеса.

BI системы – это программные продукты, направленные на реализацию стратегий и технологий business intelligence в операционной деятельности предприятия. Примерами данных систем являются: QlikView, Tableau и Microsoft Power BI.

Цель данного исследования заключается в обосновании необходимости внедрения систем бизнес-аналитики для компаний активно работающих с данными. Внедрение систем бизнес-анализа является закономерным этапом цифровой трансформации бизнеса, попыткой перевода взаимодействия с клиентами на новый уровень. Развитие интернета и телекоммуникационных сетей, рост производительности компьютерной техники, а также появление новых методов хранения и обработки информации (облачные технологии) открывают перед компаниями возможности непрерывного процесса бизнес-анализа в реальном времени. Таким образом, взаимодействие с клиентом никогда не прекращается,

и компании имеют возможность постоянного отслеживания лояльности потребителей и проведения корректирующих воздействий при необходимости.

Перечислим основные цели использования систем ВІ в компании:

- Уменьшение затрат
- Поиск решения проблем
- Соблюдение сроков проектов
- Увеличение эффективности бизнес-процессов
- Документация лучших практик
- Отслеживание достижения бизнес-целей
- Мониторинг ключевых показателей
- Управление знаниями и экспертизой
- Моделирование различных вариантов действий
- Отслеживание результатов принятия решений
- Акцентирование внимание на ключевых факторах эффективности

Необходимо понимать, что системы business intelligence подходят не для всех компаний. Для успеха проекта внедрения ВІ-системы необходимо выполнение следующих предпосылок [3]:

1. Организационная и финансовая поддержка со стороны руководства компании
2. Востребованность в средствах бизнес-анализа со стороны конкретного бизнеса (или бизнес-процесса)
3. Высокое качество и большой объём доступных данных в компании (внешних и внутренних)
4. Наличие большого количества гетерогенных информационных систем

Большое количество информационных систем (ИС) на предприятиях, иногда выполняющих схожие функции, вызван современным подходом компаний к использованию особенностей ИС различных типов. Так, например, для определённых задач оптимальным по критериям времени выполнения и производительности могут быть предпочтительны одни информационные системы, а для выполнения задач с другими критериями могут использоваться другие ИС. Ресурсы компании ограничены, поэтому данный подход позволяет распределять их наилучшим способом. В связи с этим возникает необходимость объединения в единую модель данных разнородной информации из большого количества гетерогенных информационных систем. Помимо объединения данных, перед компаниями стоит проблема выбора оптимальных вариантов хранения и обработки данных, а также представления результатов в удобном и воспринимаемом виде. Системы бизнес-анализа успешно справляются с этими проблемами, о чём будет сказано в дальнейшем.

Любой проект внедрения должен быть направлен на удовлетворение основных стратегических целей бизнеса:

- Снижение рисков
- Снижение затрат
- Увеличение прибыли

- Увеличение ценности и качества информации и знаний (накопление опыта и экспертизы)

В свою очередь использование систем бизнес-аналитики способствует достижению данных стратегических целей. Также системы business intelligence способны разрешить следующие проблемы:

- Удовлетворение потребностей внутренних пользователей в качественной и достоверной информации
- Проведение более качественной аналитики
- Предоставление персонализированных продуктов для клиентов
- Значительное снижение затрат на удержание клиента
- Увеличение скорости принятия решений
- Возможности интеграции данных из различных источников, обогащения данных
- Анализ агрегированных данных на уровне всей компании, обнаружение скрытых знаний
- Увеличение взаимодействия между сотрудниками
- Монетизация знаний (получение прибыли от накопленных знаний)

Главное преимущество систем бизнес-анализа заключается в значительном увеличении скорости принятия решений. Управленческие решения принимаются более обоснованно, основываясь на качественных, достоверных и своевременных данных. Для грамотного принятия управленческих решений необходимо чёткое обоснование, оперативность, своевременность и нацеленность на будущее. Должна проводиться значительная работа с высоким уровнем прогностической составляющей, направленной на построение прогнозов и предсказание возможных событий.

Особое внимание следует уделить необходимости обогащения данных, для повышения их качества и формирования наиболее полной картины операционной деятельности. Так, объединение внешних данных о рынке, на котором работает фирма, и внутренних данных из корпоративных информационных систем компании формирует предпосылки для более глубокого анализа и поиска скрытых зависимостей. Анализ обогащённых данных из различных источников активизирует системные бизнес-эффекты, значительно увеличивающие ценность, извлекаемую из знаний и анализируемых данных. Поиск ценности происходит через нахождение ответов на поставленные вопросы (способствующие достижению бизнес-целей), формирование отчётности и аналитические процессы, происходящие в реальном времени.

Системы business intelligence также предоставляют бизнес-пользователям возможность самостоятельно проводить гибкую аналитику без глубоких знаний особенностей и технической части используемой системы. Поэтому одним из важнейших эффектов от внедрения данных систем является качественное управление знаниями. В процессе операционной деятельности компании накапливается опыт и экспертиза, поэтому для репликации накопленного опыта необходим обмен мнениями и тесное сотрудничество между работниками раз-

личных отделов. Обязательным условием данного взаимодействия является получение качественной информации каждым участником. В конечном счёте это позволяет принимать более обоснованные решения, снижать риски и повышать степень соответствия требованиям компании.

Таким образом, системы бизнес-аналитики способны решить целый ряд проблем, возникающих в компаниях. Следует учитывать, что данные информационные системы не являются решением абсолютно всех проблем и не подходят для компаний, не готовых к внедрению BI. Проект внедрения должен быть обоснован, направлен на определённый бизнес-процесс компании и реализован только при наличии необходимости в нём. Только после этого системы business intelligence становятся необходимым условием успешной деятельности компании.

Литература

1. Hass K. B. et al. From analyst to leader: Elevating the role of the business analyst. – Management Concepts Inc., 2007.
2. Dedic N., STANIER C. Measuring the success of changes to existing Business Intelligence solutions to improve Business Intelligence reporting //Journal of Management Analytics. – 2017. – Т. 4. – №. 2. – С. 130-144.
3. Kimball R. The data warehouse lifecycle toolkit. – John Wiley & Sons, 2008.

М.А. Андреев, асс.

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

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В статье рассматриваются проблемы обеспечения информационной безопасности.

Ключевые слова: защита информации, информационная безопасность, шифрование.

В современном обществе придается большое значение развитию цифровых технологий. В Российской Федерации это нашло отражение в Указе Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 “О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы”. В нем утверждена стратегия развития информационного общества в России на 2017-2030 гг., определены цели, задачи и меры по реализации внутренней и внешней политики в сфере применения информационных и коммуникационных технологий. Отмечается, что электронные СМИ, информационные системы, социальные сети стали частью повседневной жизни россиян. Пользователями российского сегмента сети «Интернет» в 2016 г. стали более 80 миллионов человек. Целью стратегии является создание условий для формирования в России общества знаний. Среди приоритетов - формирование информационного пространства с учетом потребностей в получении качественных и достоверных сведений; создание и применение российских информационных и коммуникационных технологий, обеспечение их конкурентоспособности на международном уровне. Необходимо обеспечивать национальные интересы в области цифровой экономики.

Количество пользователей сети «Интернет» продолжает неуклонно расти. Растет и количество передаваемой по сети информации. По статистике, каждую секунду в «Иинтернете» появляется 6 тысяч новых "твитов", обрабатывается 40 тысяч поисковых запросов только в Google и отправляется около 2 млн электронных сообщений. При этом надо учитывать, что Google - не единственная поисковая система. Это данные сайта Live Stats, но даже они не могут указать на точные размеры данных во всем интернете.

На 2014 год в Сети насчитывался 1 млрд сайтов. Но какие-то из этих страниц закрываются, а на их месте появляются новые. К тому же существует понятие Deep Web (глубинный веб) – это те страницы «Иинтернета», которые не доступны обычным пользователям. И объем данных продолжает увеличиваться.

Даже если принять 1 млрд как базовое количество сайтов в «Иинтернете», то количество отдельных сетевых страничек будет куда больше. Подсчетами занимается алгоритм сайта www.worldwidewebsize.com. Автором применяемого метода является Морис де Кундер (Maurice de Kunder). Он и его соавторы опубликовали данные методологические наработки в февральском издании Scientometrics. В одном из экспериментов были использованы поисковые системы Google и Bing (только они теперь показывают общее количество страниц) и сделаны запросы из 50 часто употребляемых слов. Заранее было известно, как часто эти слова употребляются в печати. Так что было проведено сравнение количества выдаваемых страниц на эти слова и сделаны выводы о количестве всех страниц в Сети. Специально для случаев "перекрытия" страниц в поиске был добавлен "отсеивающий" алгоритм.

В результате получилось, что в «Интернете» находится 4,66 млрд страниц (данные на середину марта 2016 года). Но эта цифра не включает в себя глубинный веб

В связи с этим очень большое значение приобретает защита информации. Информация сегодня – ценные ресурс, от которого зависит как функционирование предприятий и государственных структур в целом, так и их конкурентоспособность. Угроз безопасности информационных ресурсов много – это и компьютерные вирусы, которые могут уничтожить важные данные, и попытки незаконного доступа к информации представляющей коммерческую тайну и персональные данные, и много другое. Поэтому особое место приобретает деятельность по защите информации, по обеспечению информационной безопасности.

Основными угрозами информационной безопасности являются: угрозы конфиденциальности – несанкционированный доступ к данным; угрозы целостности – несанкционированная модификация, дополнение или уничтожение данных; угрозы доступности – ограничение или блокирование доступа к данным.

По данным KSN (Kaspersky Security Network) в первом квартале 2017 года, решения «Лаборатории Касперского» отразили 479 528 279 атак, которые проводились с интернет-ресурсов, размещенных в 190 странах мира. Зафиксировано 79 209 775 уникальных URL, на которых происходило срабатывание

веб-антивируса. Попытки запуска вредоносного ПО для кражи денежных средств через онлайн-доступ к банковским счетам отражены на компьютерах 288 тысяч пользователей. Атаки шифровальщиков отражены на компьютерах 240 799 уникальных пользователей. Файловым антивирусом зафиксировано 174 989 956 уникальных вредоносных и потенциально нежелательных объектов. Продуктами «Лаборатории Касперского» для защиты мобильных устройств было обнаружено: 1 333 605 вредоносных установочных пакетов; 32 038 установочных пакетов мобильных банковских троянцев; 218 625 установочных пакетов мобильных троянцев-вымогателей.

Методы обеспечения безопасности информации в информационных системах: Препятствие - физическое преграждение пути злоумышленнику к защищаемой информации (например, коммерчески важная информация хранится на сервере внутри здания компании, доступ в которое имеют только ее сотрудники). Управление доступом – регулирование использования информации и доступа к ней за счет системы идентификации пользователей, их опознавания, проверки полномочий и т.д. (например, когда доступ в отдел или на этаж с компьютерами, на которых хранится секретная информация, возможен только по специальной карточке-пропуску, или когда каждому сотруднику выдается персональный логин и пароль для доступа к базе данных предприятия с разными уровнями привилегий). Криптография – шифрование информации с помощью специальных алгоритмов (например, шифрование данных при их пересылке по Интернету; или использование электронной цифровой подписи). Противодействие атакам вредоносных программ (англ. «malware») – предполагает использование внешних накопителей информации только от проверенных источников, антивирусных программ, брандмауэров, регулярное выполнение резервного копирования важных данных и т.д. (вредоносных программ очень много и они делятся на ряд классов: вирусы, эксплойты, логические бомбы, трояны, сетевые черви и т.п.). Регламентация – создание условий по обработке, передаче и хранению информации, в наибольшей степени обеспечивающих ее защиту (специальные нормы и стандарты для персонала по работе с информацией, например, предписывающие в определенные числа делать резервную копию электронной документации, запрещающие использование собственных флеш-накопителей и т.д.). Принуждение – установление правил по работе с информацией, нарушение которых карается материальной, административной или даже уголовной ответственностью (штрафы, закон «О коммерческой тайне» и т.п.). Побуждение – призыв к персоналу не нарушать установленные порядки по работе с информацией, т.к. это противоречит сложившимся моральным и этическим нормам.

Для дальнейшего развития обеспечения информационной безопасности является крайне важным совершенствование программного обеспечения, служащего для защиты от несанкционированного доступа к информации. Одним из важных средств защиты является шифрование. Развитие шифрования и его методов привело к их широчайшей распространённости. Сейчас для любого пользователя не составляет труда зашифровать раздел на жёстком диске или переписку и установить защищённое соединение в интернет. В самом интернете

имеется множество инструкций по реализации данных процедур. Зашифрованная информация так или иначе представляет собой объект защиты, который, в свою очередь, должен подвергаться правовому регулированию. Кроме того, подобные правовые нормы необходимы из-за того, что существует некоторое противоречие между стремлением правительств иметь доступ к информации (с целью обеспечения безопасности и для предотвращения преступлений) и стремлением граждан обеспечить высокий уровень охраны для своей действительно секретной информации. Примером чему являются последние события вокруг Telegram. Для разрешения этой проблемы прибегают к разным способам: это и возможный запрет на использование высокоэффективных методов шифрования, и требование передачи компетентным органам шифровальных ключей. Различия в правилах и ограничениях по шифрованию компьютерной информации могут создать определенные трудности в деловых международных контактах в плане обеспечения конфиденциальности их общения.

Литература

1. <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/#ixzz4xjWrt2QG> (дата обращения: 01.10.2017)
2. <https://securelist.ru/it-threat-evolution-q1-2017-statistics> (дата обращения: 01.10.2017)

*Т.С. Антипова, студ.; Р.С. Зарипова, к.т.н., доц.
(ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г.Казань)*
**КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВЫХ
ПРОТОТИПОВ ПРИБОРОВ**

Рассматривается проектирование электронных устройств в программной среде ProteusISIS. Работа посвящена исследованию практических методик совместного комплексного применения сред схемотехнического проектирования, систем проектирования печатных плат и машиностроительных САПР для подготовки элементов цифровых прототипов изделий в области приборостроения.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, проектирование электронных устройств, цифровые модели приборов, автоматизированное проектирование.

В настоящее время современные приборостроительные предприятия находятся в стадии глубокой модернизации технологической оснащенности производственных процессов, и в первую очередь переосмысления подходов к процессам проектирования новых современных изделий своей продукции в соответствии с современными требованиями. В связи с этим актуальной становится задача внедрения и эффективного применения существующих программных комплексов трехмерного цифрового моделирования, их интеграция со средами схемотехнического проектирования, автоматизированными системами управления производством и технологическими процессами. Работа посвящена исследованию практических методик совместного комплексного применения сред схемотехнического проектирования, систем проектирования печатных плат и машиностроительных САПР для подготовки элементов цифровых прототипов изделий в области приборостроения. Представлены результаты этапов построения элементов цифрового прототипа простого измерительного прибора на примере промышленного цифрового термометра. Выполнено его схемотехни-

ческое проектирование, разработка печатной платы прибора, формирование трехмерной твердотельной модели печатной платы и компонентов прибора и проектирование корпуса прибора средствами машиностроительной САПР. Моделирование выполнено с применением инструментов среды MatLab[1].

К основным результатам полученным в ходе выполнения работы следует отнести следующие:

- исследованы существующие среды схемотехнического проектирования и РСВ-дизайна;
- проведен сравнительный анализ и изучены наиболее развитые системы автоматизированного проектирования общего назначения с целью выявления возможности их практического применения для разработки цифровых прототипов элементов измерительных приборов (корпусы приборов, элементы шасси, элементы систем охлаждения);
- разработаны элементы методики инженерного применения систем компьютерного моделирования для создания цифровых прототипов изделий в области приборостроения;
- выполнены этапы построения элементов цифрового прототипа простого измерительного прибора на примере промышленного цифрового термометра. В частности, схемотехническое проектирование, разработка печатной платы прибора, формирование трехмерной твердотельной модели печатной платы и компонентов прибора и, наконец, проектирование корпуса прибора средствами машиностроительной САПР [2].

Для отработки методики совместного применения схемотехнических САПР, систем РСВ-дизайна и машиностроительных САПР общего назначения рассмотрим пример сквозного проектирования простого измерительного устройства, например цифрового промышленного термометра на основе термопары с блоком семисегментной индикации и микропроцессорным управлением.

Первым этапом является схемотехническое проектирование и создание полной схемотехнической модели в выбранной САПР (в данном случае ProteusISIS). После построения схемотехнической модели и определения типов корпусов и коннекторов в составе устройства схема может быть без дополнительных усилий транспортирована в среду автоматизированного проектирования печатных плат для ручной, полуавтоматической или автоматической трассировки межсоединений компонентов (Proteus ARES). На этом этапе проектирования элементов цифрового прототипа измерительного прибора должна быть получена твердотельная модель печатной платы и монтажа компонентов схему полностью учитывающая геометрию, как самой печатной платы, так и геометрию каждого отдельно взятого компонента схемы. Полученная трехмерная модель на следующем этапе проектирования должна быть конвертирована в твердотельную или поверхностную модель (с возможностью последующего преобразования в твердотельную) для дальнейшего машиностроительного проектирования элементов корпуса, шасси и других элементов цифрового прототипа.

Рассмотрим перечисленные этапы на примере проектирования разработки элементов цифрового прототипа измерительной системы на примере простого промышленного цифрового термометра, в котором использована термопара.

В системах измерения температуры общего назначения все большее применение находят полупроводниковые термисторы и терморезисторы, имеющие относительно высокую линейность температурной зависимости, не слишком большую инерционность, малую стоимость, воспроизводимость параметров и многие другие преимущества. Несмотря на все это полупроводниковые первичные преобразователи температуры имеют один существенный недостаток – узкий диапазон измеряемых температур, как правило, в пределах от -50°C до $+150^{\circ}\text{C}$, что существенно ограничивает их применение в промышленных системах измерения температуры. Поскольку в промышленных применениях необходимо осуществлять измерение в широком диапазоне рабочих температур (до $+1000^{\circ}\text{C}$), то для измерительных систем целесообразно использовать термопары. Термопары незаменимы при измерении высоких температур (вплоть до 2200°C) в агрессивных средах. Термопары могут обеспечивать высокую точность измерения температуры на уровне $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$. Они вырабатывают на выходе термоЭДС в диапазоне от микровольт до милливольт, однако требуют стабильного усиления для последующей обработки. Измерение температур с помощью термопар получило широкое распространение из-за надежной конструкции датчика, возможности работать в широком диапазоне температур и дешевизны. Однако использование термопар осложняется тем, что выходное напряжение этих датчиков очень мало и необходимо организовывать компенсацию холодного спая, корректирующую ошибку, вызванную температурой соединения между проводниками термопары и схемой измерения. В типовых схемах интерфейса с термопарами используется ряд дополнительных компонентов, организуется потенциал смещения и регулирование усиления.

Интегральные микросхемы MAX6674/MAX6675, выпущенные компанией Maxim Integrated Products, представляют собой приборы прямого преобразования сигнала термопары в цифровую форму. Прецизионные приборы преобразуют входной сигнал от термопары К-типа (по отечественной классификации ТХА – спай сплава хромель ($90,5\% \text{ Ni} + 9,5\% \text{ Cr}$) и сплава алюмель ($94,5\% \text{ Ni} + 5,5\% \text{ Al, Si, Mn, Co}$)) в цифровой код, соответствующий температуре спая. 10-разрядные выходные данные, обеспечивающие разрешение $0,125^{\circ}\text{C}$, формируемые прибором MAX6674, и 12-разрядные данные, формируемые прибором MAX6675, могут быть считаны в любой момент посредством простого, обеспечивающего только чтение, последовательного интерфейса. Реализация программы позволяет выявить связи между элементами исследуемой сложноструктурированной схемы [3].

Однокристалльные приборы MAX6674/MAX6675 оснащены встроенными средствами компенсации характеристик холодного спая, масштабирования и усиления, а также средствами аналого-цифрового преобразования. Тактовая частота последовательного интерфейса, обеспечивающего только чтение, может достигать 4,3 МГц. Прибор MAX6674 предназначен для работы с термопарами

типа К, позволяя измерять температуру в диапазоне от 0°C до +128°C и обеспечивая 10-разрядное разрешение (0,125°C/LSB). Прибор MAX6675 также работает с термопарами типа К, но в диапазоне температур от 0°C до +1024°C и обеспечивает 12-разрядное разрешение (0,25°C/LSB). Оба прибора, размещенные в 8-выводных корпусах SO, работают при напряжении питания от 3,0 до 5,5 В в диапазоне температур окружающей среды от -20°C до 85°C. Схема подключения микросхемы прямого преобразования сигнала термопары MAX6674/MAX6675 требует только одного блокировочного конденсатора по цепи питания микросхемы. Для сопряжения с микропроцессорной системой в микросхеме данного типа реализован последовательный двухпроводной интерфейс типа MicroWire с дополнительной линией «выбора кристалла».

Наличие в этой микросхеме цифрового последовательного интерфейса с микропроцессором существенно упрощает схемотехническое решение применения термопары и типовая схема включения требует трех блокировочных конденсаторов и токоограничивающих резисторов. Выходные линии этой микросхемы соединены с тремя выводами порта микроконтроллера. Для включения термопары используется коннектор. Внешнее питание к основной части схемы +5В подводится к схеме через коннектор через параллельно включенные блокировочные конденсаторы. Конденсатор большой емкости служит для подавления низкочастотных помех, тогда как конденсатор меньшей емкости служит для фильтрации высокочастотных помех. Тактирование микроконтроллера осуществляется внутренним тактовым генератором, для которого частотодающим элементом служит кварцевый резонатор с собственной частотой 4 МГц.

Для графического построения схемы была использована среда схемотехнического моделирования[4], имеющая развитые средства построения схем – ProteusISIS. Таким образом, выполнив захват схемы в схемотехническом редакторе ISIS, можно перейти к этапу формирования печатной платы и ее трехмерной твердотельной модели.

Литература

1. Залялова Г.Р., Зарипова Р.С. Моделирование цифрового фильтра с применением инструментов среды MatLab// Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук: Материалы III научно-практической всероссийской конференции (школы-семинара) молодых ученых. – Тольятти, 2017. – С. 190-194.
2. Ситников Ю.К., Ситников С.Ю. Применение САПР для проектирования специализированных цифровых устройств при изучении функциональных узлов информационных систем // Ученые записки ИСГЗ, 2015. – №1. – С.489-493.
3. Плотникова Л.В., Звегинцев А.А., Кашипова Л.А., Ишмуратов Р.А., Нуриев Н.К. Программная реализация системного анализа сложноструктурированной химико-технологической схемы нефтехимического производства // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 8. – С. 198-202.
4. Халуева В.В. Формирование профессиональной проектно-конструкторской компетентности специалиста// Вестник Казанского энергетического университета. – 2014. – №2(21) – С.146-149.

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕИНЖИНИРИНГА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ БИБЛИОТЕКИ

В статье обосновывается необходимость проведения реинжиниринга информационных процессов в библиотеке. Приводится сравнение процессов, которые осуществляет библиотека в online и offline средах, общая контекстная диаграмма процесса обслуживания читателей. Рассмотрены особенности реинжиниринга указанных процессов, которые позволяют оптимизировать существующую деятельность библиотеки.

Ключевые слова: библиотека, информационные процессы, реинжиниринг, электронный билет, RFID-технология, Big Data.

Библиотека оперирует с большими объемами информации, четкая структуризация и актуальность которой играют существенную роль. Основными информационными процессами являются хранение, поиск, передача и обработка информации, а также использование данных, благодаря которым удовлетворяются те или иные информационные потребности потребителя. Рассмотрим специфику каждого из указанных процессов относительно деятельности библиотеки. Каждый из этих процессов имеет место, как в традиционном процессе предоставления библиотечных услуг, так и в сети Интернет на web-сайте библиотеки (таблица 1).

Таблица 1 – Информационные процессы библиотеки

Процесс	Оффлайн	Онлайн
Хранение	Печатные материалы (книги, журналы, газеты) расположены в помещении библиотеки	Электронные версии книг, журналов и т.д. хранятся в специальной базе данных
Поиск	Читатель запрашивает книгу или журнал у библиотекаря, который ищет необходимые материалы в фонде	Читатель запрашивает книгу или журнал путем задания поискового запроса в электронном каталоге, также возможен поиск по web-приложению библиотеки (при его наличии)
Передача	Представленные в книге или журнале сведения передаются читателю	
Обработка	Когда в библиотеку поступает новая литература, данные о которой заносят в каталог; читая, читатель обрабатывает данные, тем самым и происходит информационный процесс	

Бизнес-процессы библиотеки можно представить в общем виде, отраженном на рисунках 1-2. Основным ее процессом является обслуживание читателей, то есть удовлетворение их информационных потребностей. Это происходит за счет выполнения таких этапов, как: регистрация читателя, выдача книг, прием книг и предоставление справочной информации [1].

В современном мире все большее значение приобретает информация. Проще всего ее получить посредством сети Интернет. Это обуславливает тот факт, что большее число читателей ищут информацию в Глобальной сети. Таким образом, предоставление справочной информации в библиотеке должно осу-

ществляться читателям как в оффлайн, так и в онлайн режиме. Большинство библиотек до настоящего времени делают акцент своей деятельности на предоставлении очень большого контента информации, но работа с этими объемами может быть затруднительна. Исходя из вышеописанного, следует, что реинжиниринг информационных процессов не только имеет место, но и необходим для эффективной работы современных библиотек.

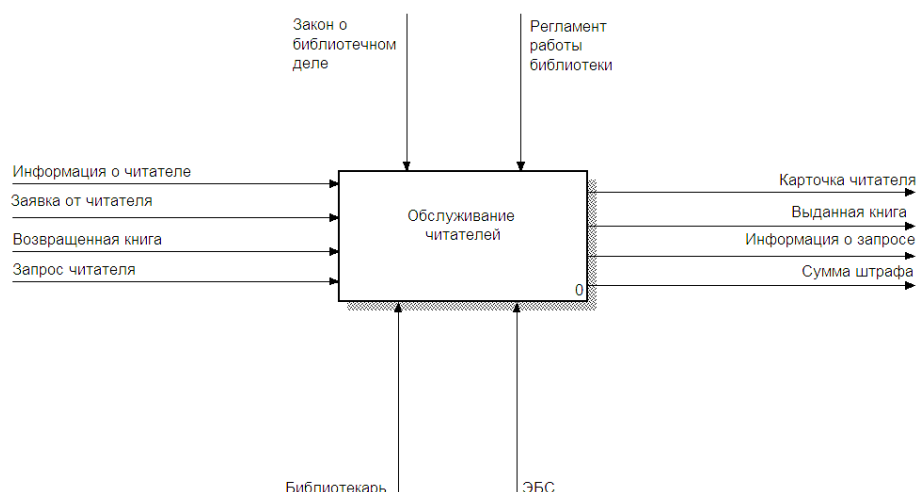


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма процесса «Обслуживания читателей»

Поскольку библиотека предоставляет литературу не только печатную, но и электронную, в первую очередь, реинжиниринг должен затронуть обе эти составляющие ее деятельности.

Можно выделить следующие наиболее актуальные направления реинжиниринга и совершенствования информационных процессов библиотеки.

Переход на электронные читательские билеты. Их использование позволит не только ускорить работу библиотекарей, но и реализовать в дальнейшем автоматическую книговыдачу, снизить процент утрат и краж печатных изданий.

Все печатные издания должны быть оснащены радиочастотной меткой с уникальным кодом, то есть должна быть использована RFID-технология, которая позволит не упростить ведение и контроль фонда, а также обеспечить свободный доступ к нему. Для реализации этой технологии также необходима установка «противокражных ворот». Автоматическая выдача книг возможна с помощью установления станций книговыдачи [2].

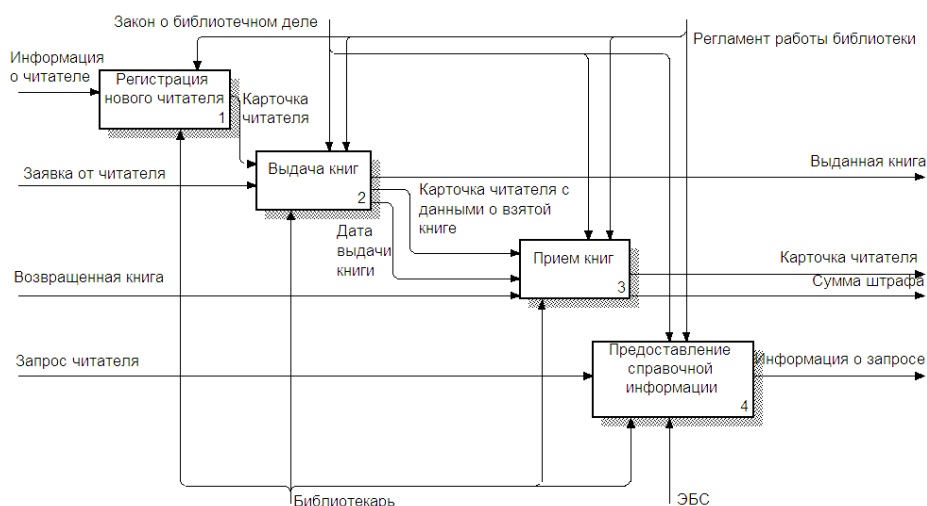


Рисунок 2 - Декомпозиция контекстной диаграммы «Обслуживание читателей»

Любая библиотека в настоящее время должна иметь свое представительство в Глобальной сети – Web-сайт. В нем должны быть реализованы такие возможности, как: просмотр устаревшей информации (архив), дружественный и удобный интерфейс, поиск по сайту, личный кабинет читателя, в котором он может ознакомиться со своими «долгами». Если какого-то из перечисленных пунктов нет в настоящее время у библиотеки, это говорит о том, что ее web-сайту необходима частичная доработка, поскольку перечисленные возможности сайта позволят читателю не только повысить интерес к библиотеке, но и создать виртуальную работу между читателем и библиотекой. Для высоко результативного поиска литературы необходимо обеспечить на сайте единое информационное пространство, с помощью которого пользователь сможет искать литературу сразу во всех доступных библиотеке источниках. Важным при этом является реализовать поиск не только по ключевым словам (название, автор, год), но и по полному тексту. Это также обязует библиотеку предоставлять полные тексты. Для защиты авторского права тексты должны быть в формате pdf, копирование текста должно быть либо запрещено, либо ограничено [1].

Указанные предложения в том или ином виде могут существовать или отсутствовать в библиотеке. Они затрагивают все информационные процессы. Хранение книг в фонде должно быть под контролем RFID-технологии, хранение электронных изданий должно быть полнотекстовым, если это не нарушает авторских прав. Поиск в фонде будет облегчен путем использования радиочастотных меток, на сайте поиск будет возможен, как в самом web-приложении, так и среди электронных книг. Передача и обработка информации также приобретают новую форму, которая позволяет быстрее и качественнее осуществлять работу с информацией, а значит и удовлетворять информационные потребности читателей.

На глобальном уровне, реинжиниринг информационных процессов библиотеки можно рассматривать с точки зрения внедрения сквозных технологий. Технология Big Data может эффективно сосуществовать с внедрением электронных билетов. Электронные билеты в этом случае должны хранить не только

персональную информацию о читателе, но и историю его взаимодействия с библиотекой:

- что взял, когда, на сколько;
- предпочтения, сроки возвратов книг;
- задолженности;
- количество обращений в библиотеку, частота.

Сбор указанных данных позволит создать персональную карточку для каждого читателя, что впоследствии позволит прогнозировать задолженности читателей, осуществлять индивидуальный подбор литературы, которая может заинтересовать читателя, выявить новые способы обслуживания, исходя из частоты обращений в библиотеку по тем или иным вопросам [3].

Наглядное представление изменения процесса обслуживания читателей библиотеки в результате их реинжиниринга отображено на рисунке 3. Изменения, связанные с сайтом библиотеки, содержатся в блоке «Предоставление справочной информации».

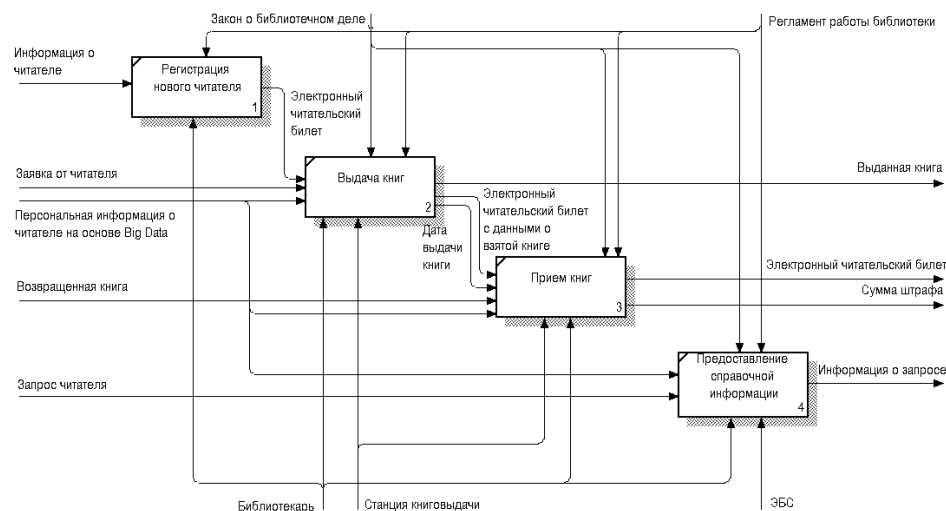


Рисунок 3 – Результат реинжиниринга информационных процессов библиотеки

Результаты проведенного анализа показали, что основными направлениями реинжиниринга и совершенствования информационных процессов библиотеки являются: переход на электронные билеты, использование RFID-технологии, тесная работа с web-сайтом библиотеки, и впоследствии, для крупных, обеспеченных библиотек переход на использование больших данных для индивидуальной работы с каждым читателем и оптимизации деятельности библиотеки в целом.

Литература

- 1 Беликова Е.А. Реинжиниринг информационной электронно-библиотечной системы образовательной организации высшего образования : выпускная квалификационная работа (бакалаврская работа) [Электронный ресурс] / Е.А. Беликова. Электрон. текстовые дан. Смоленск : , 2017. 122 с. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=463138>

- 2 Беликова Е.А., Окунев Б.В. Автоматизация процесса учета книговыдачи в библиотеках высших учебных заведений // Энергетика, информатика, инновации-2016: в 3 т. Смоленск : Универсум, 2016. Т.2. С.277-280

- 3 Big Data [Электронный ресурс] // DIS : URL: http://www.dis-group.ru/solutions/data_management/big_data/
(дата обращения 23.09.17 г.)

С.С. Бекназарова, д.т.н., доц.; Ф.М. Нуралиев д.т.н., доц.; К.П. Абдурахманов д.ф-м.н., доц.; Х.И. Убайдуллаев маг.
(Ташкентский университет информационных технологий,
г. Ташкент, Узбекистан)

КОМПЛЕКС МЕДИАОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация: В статье описан процесс разработки проектирования и формирования структуры медиаобразовательной системы mediaedu.uz, разработки моделей, алгоритмов, программной реализации онлайн системы-конструктора проектирования медиакурсов.

Ключевые слова: медиаобразовательная система, онлайн системы-конструктора проектирования медиакурсов.

Особая роль в медиаобразовательных технологиях отводится созданию медиакурсов. Именно здесь открываются недостижимые ранее возможности. Например, при создании произведений в области искусства можно осуществлять демонстрацию изобразительных произведений художника или экспозиции картинной галереи с одновременным речевым сопровождением этого процесса. Для тестирования знаний, полученных посредством изучения медиакурсов, целесообразно использование разноуровневые тестовые оболочки проверки полученных знаний.

Таким образом, современные средства ИКТ как инструмент внедрения элементов медиаобразования, имеют сложную информационную структуру, включающую в себя различные компоненты: медиаобразовательный портал, онлайн система - конструктор проектирования медиакурсов, медиакурсы.

Медиаобразование в Узбекистане как самостоятельное направление приобретает все большую значимость в учебном процессе общеобразовательных заведений. Медиаобразование в Узбекистане развивается интенсивно, оказывая влияние и на качество учебного процесса в общеобразовательных заведениях. Сегодня перед каждым преподавателем стоит задача не ограждать подопечных от массивных потоков различной информации, а научить пользоваться ими, выбирая полезное и разумное. Ведь, в конечном счете, это способствует раскрытию талантов каждого человека[2].

Модели медиаобразовательной системы

Разработка функциональной модели онлайн системы-конструктора проектирования медиакурсов Mediacourse Builder медиаобразовательного портала сводится к разработке: общего алгоритма работы системы; DFD - диаграммы; SADT – диаграммы; STD – диаграммы. Контекстная диаграмма приведена на рисунке 1.

Детализирующая диаграмма более подробно описывает процессы и потоки данных разрабатываемой или существующей системы. Для разрабатываемой онлайн системы - конструктора проектирования медиакурсов была предложена контекстная диаграмма, чтобы более точно определить процессы и потоки данных системы.

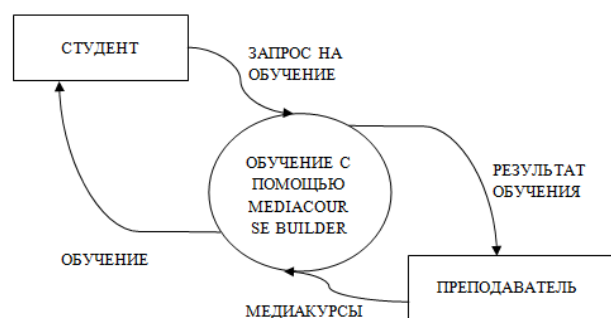


Рисунок 1 –Контекстная DFD – диаграмма

Кроме того, на детализирующей диаграмме присутствуют хранилища обучающего материала и базы по контролю материала. Детализирующая диаграмма приведена на рисунке 2.

Процесс 1 на рисунке 2 должен обеспечить заполнение информационной базы учебным материалом. Входной поток “Обучающий материал” является управляющим для процесса, так как формирует наполнение материала. Процесс заполняет потоком “Материал” хранилище. “Хранилище 1” – представляет собой базу данных, которая хранит учебный материал.

Заполненное хранилище представляет собой входную информацию для процесса 2 на рисунке 2. Этот процесс должен обеспечить обучение, используя информацию из хранилища. На процесс воздействует управляющий поток “Запрос на обучение”, и процесс формирует выходной поток “Обучение” в зависимости от поступающей управляющей информации.

Процесс 3 на рисунке 2 контролирует обучение дисциплине. Входным потоком является информация из хранилища. “Хранилище 2” наполняется потоком “Медиа данные”, который формирует процесс 1 на рисунке 2.

3. SADT – диаграммы.

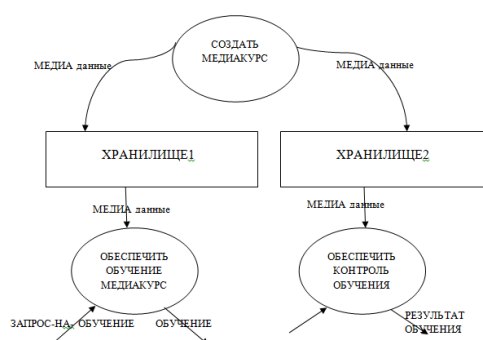


Рисунок 2 – Детализирующая DFD – диаграмма

Представленная на рисунке 3 контекстная SADT-диаграмма четко и ясно определяет входные данные для разрабатываемой онлайн системы, выходные данные, требования к онлайн системе.

На диаграмме Активность A1 формирует структурированный материал. Исполнителем является преподаватель. Активность A2 выводит обучающий материал, получив на входе структурированный материал. Активность A3 кон-

тролирует полученные знания и результаты контроля возвращает как условия для активности A1. STD – диаграмма моделирует последующее функционирование системы на основе ее предыдущего и текущего функционирования. Система находится в одном из состояний. Во времени она меняет состояние, причем все переходы должны быть четко определены. STD – диаграмма программного комплекса изображена на рисунке 3.

Цель информационной модели заключается в выработке непротиворечивой интерпретации данных и взаимосвязей между ними, что необходимо для интеграции, совместного использования и управления целостностью данных[3].

Алгоритм выбора предпочтительной структуры медиаобразовательной системы

На первом этапе эксперимента идет построение концептуальной модели медиаобразовательного объекта (процесса) и его формализации – формулируется модель и строится ее формальная схема, т.е. осуществляется переход от содержательного описания объекта к его математической модели, другими словами, процессу формализации.

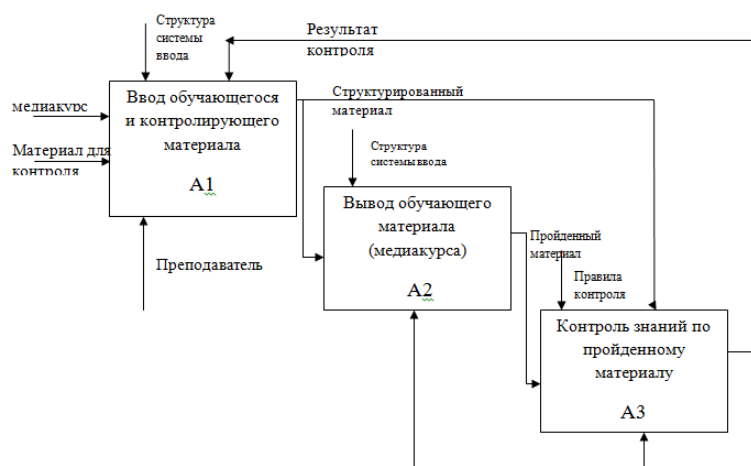


Рисунок 3 – SADT – диаграмма

Математической моделью медиаобразовательной системы (объекта) называется множество переменных u, v, q, x, y, w вместе с законом функционирования в виде:

$$x(t) = F_1(u^{(t)}, v^{(t)}, \theta, t), y(t) = F_2(u^{(t)}, v^{(t)}, \theta, t), w(t) = F_3(u^{(t)}, v^{(t)}, \theta, t), t \in T \quad (1)$$

где q - собственные параметры системы, T – время окончания моделирования, t – текущее значение времени, $u^{(t)}$ – обозначает реализацию процесса $u(t)$ на отрезке $[0, t]$, аналогично обозначены выходная характеристика y , характеристика состояния медиаобразовательной системы x и внешнее воздействие v , w – характеристика функционирования медиаобразовательной системы (объекта).

Причем $x(t) \in X$ совокупности множеству состояний; $y(t) \in Y$ совокупности множеству выходных характеристик; $v(t) \in V$ совокупности множеству внешних воздействий; $u(t) \in U$ совокупности множеству реализаций процесса;

$w(t) \in W$ совокупности множеству характеристик функционирования медиаобразовательной системы.

Необходимо отметить, что время t можно рассматривать как непрерывную переменную, которая в начальный момент времени моделирования $t = t_0 = 0$, где $t_0 \in T$, тогда $t \in (t_0, T)$ и $t_0 < t \in T$, и как дискретную $t = iD, i = 0, 1, \dots, M, M = [T/D]$, где D шаг дискретизации. При этом имеем либо непрерывную, либо дискретную математические модели. Если математическая модель не содержит случайных моментов, то имеем детерминированную модель, в противном случае стохастическую. Таким же образом можно выделить четыре класса математических моделей: непрерывно-детерминированные модели, дискретно-детерминированные модели, дискретно-стохастические (вероятностные) модели, непрерывно-стохастические модели. Первый этап компьютерного (машинного) моделирования – это этап построения концептуальной модели, что предполагает формализацию модели, т.е. переход от содержательного описания объекта исследования к его математической модели.

Характерной особенностью математических моделей непрерывного медиаобразовательного процесса является их высокая размерность (потoki информационных данных), что обуславливает основную трудность управления медиаобразовательным процессом. Такая размерность объясняется как структурой подсистем медиаобразовательной системы, при которой каждая подсистема имеет свою модель, так и сравнительно большим числом переменных и ограничений в моделях подсистем. При переходе к динамической оптимизации комплекса размерность модели еще больше возрастает. По этой причине целесообразно применять принцип декомпозиции для управления непрерывным процессом разработки онлайн системы проектирования медиакурсов и конкретно медиаобразовательным комплексом [3].

Разработка, поиск и выбор на ранних стадиях проектирования наиболее эффективного варианта медиаобразовательной системы – сложная научно-техническая задача, в которой пересекаются многочисленные организационно-технические и планово-экономические решения. Окончательный выбор этих решений на проектной стадии сопряжен с выявлением наиболее экономической формы связи между планом разработки медиакурсов и структурой, поскольку ее состав и характеристики определяют конечные цели, как отдельных инженерных задач, так и проектируемой системы в целом. Мультимедийная структура содержит множество возможных путей достижения системой поставленных перед ней программой целей при определенных критериях или показателях ее функционирования. Ими может быть, например, обеспечение наивысшей производительности, наименьшей себестоимости или связанных с ними мощности системы и капитальных затрат на ее создание и внедрение. Важной особенностью создания медиаобразовательной системы, во многом обуславливающей и подход к его организации, является определение состава как технологического, так и информационно-управляющей технологии путем вы-

бора соответствующих его единиц из числа заданных элементов, имеющихся в распоряжении проектировщика- программиста.

Формирование множества вариантов - процесс длительный и трудоемкий даже при использовании современных средств выполнение же этого процесса «вручную» практически невозможно. Если выбор ведется из множества вариантов, то наилучше в технико-экономическом отношении решение действительно будет оптимальным. Если же количество анализируемых вариантов достаточно большое, но не представляет собой множества, то не исключено, что оптимальное решение окажется за пределами анализа. В связи с этим с целью оптимизации выбора технологического или информационно-управляющей технологии и на их основе оптимальной структуры медиаобразовательной системы следует перебрать несколько возможных вариантов того или иного оборудования, мультимедийных схем обработки медиаобразовательных объектов, чтобы найти наилучший. Аналогичная многовариантность свойственна всему процессу технологического проектирования, поскольку существуют различные варианты мультимедийных операций, мультимедийных технологий и, следовательно, множество вариантов технологических схем.

В связи с «многовариантным» характером технологического проектирования одной из задач разработки теории системного проектирования является определение структуры процесса проектирования, т. е. его последовательности, поскольку именно структуру следует считать доминирующим фактором успеха, так как решение самих задач оптимизации по этапам есть лишь тактика, а не стратегия. Выбор мультимедийных технологий можно разбить на два этапа: выбор количественного состава и выбор типов технологий. В первом случае при конкретном заданном наборе технологий необходимо выбрать оптимальный количественный состав в каждой группе, занятой в заданном мультимедийном процессе. Во втором случае для каждой операции рассматриваемого мультимедийного процесса из заданного набора следует выбрать технологию, способное выполнить данную операцию оптимальным образом по некоторым критериям для данного мультимедийного процесса [1]. На рис.4 представлен алгоритм моделирования медиаобразовательной системы. Технологические процессы медиаобразовательной системы отличаются многовариантностью как по содержанию и последовательности мультимедийных операций, так и по составу технических средств, осуществляющих обработку медиаресурсов. Разнообразие мультимедийных схем и маршрутов обработки медиаобразовательных объектов обуславливается также исходными медиаобразовательными объектами, подвергающиеся обработке. Построение рациональной структуры функционирования во многом зависит и от объективных факторов, характеризующих конкретное производство, таких, как объем мультимедийных контентов, производительность, надежность работы и т.д [4].

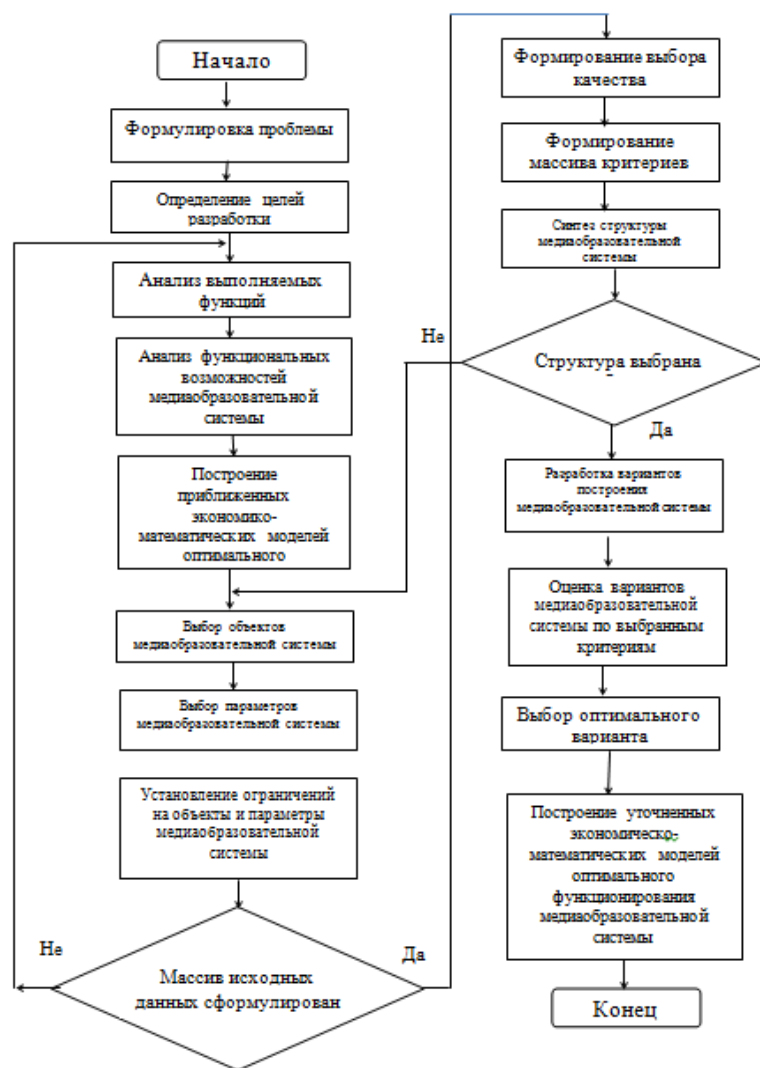


Рисунок 4. Алгоритм выбора предпочтительной структуры медиаобразовательной системы

При проектировании медиаобразовательной системы важно определить структуру медиаобразовательного процесса, т.е. упорядоченное множество мультимедийных переходов $\varphi_j = \varphi_j^1, \varphi_j^2, \dots, \varphi_j^k$, воздействие которых на множество $\{a_i\}$ приводит к образованию медиакурсов в A : $\varphi_j: \{a_i\} \rightarrow A, \forall \varphi_j \in \Phi$, при соблюдении технических и технико-экономических требований (Φ - множество мультимедийных схем, удовлетворяющих необходимому условию обработки медиаобразовательных объектов и выпуска мультимедийных контентов). Обычно выбор предпочтительной производственно-технологической структуры медиаобразовательная система включает определение таких схем мультимедийного процесса и комплекта технологий для их реализации. Реализации, которые обращают в экстремум целевую функцию Z_n или Ξ_n , а также длительности процесса обработки (Z_n - желаемый эффект при минимуме затрат на обработку информационных ресурсов; Ξ_n - максимальный эффект при использовании заданных ресурсов).

Если в качестве главного показателя эффективности мультимедийного процесса выбрать длительность процесса обработки медиаобразовательных объектов, то задача оптимизации может быть сформулирована следующим образом:

$$F(\varphi_j) = \sum_{i=1}^n f(\varphi_j^i) \rightarrow \min$$

при ограничениях по производительности $P_{\min} < P < P_{\max}$, стоимости технологии $S_{\min} < S < S_{\max}$, занимаемому объему хостинга $H_{\min} < H < H_{\max}$, надежности работы $Q_{\min} < Q < Q_{\max}$, где $F(\varphi_j)$ - функция, определяющая время обработки Медиакурсов; $f(\varphi_j^i)$ - функция определяющая время каждой мультимедийной операции; i - число мультимедийных переходов; j — номер мультимедийных схем.

Структура, пользовательский интерфейс онлайн системы -конструктора проектирования медиакурсов Mediacourse Builder

Структура онлайн системы - конструктора проектирования медиакурсов Mediacourse Builder состоит из следующих основных частей:

- база данных онлайн системы - конструктора проектирования медиакурсов Mediacourse Builder;
- программное ядро.

База данных онлайн системы - конструктора проектирования медиакурсов Mediacourse Builder

По сути база данных (БД) онлайн системы - конструктора проектирования медиакурсов Mediacourse Builder является хранилищем всей информации портала, доступ к которой осуществляется через программное ядро[5]. БД портала является реляционной базой данных — наиболее подходящей и способной удовлетворить все задачи при написании подобного рода программных продуктов. В соответствии с правилами реляционных БД база данных делится на таблицы, в частности и данная онлайн системы - конструктора проектирования медиакурсов Mediacourse Builder. Онлайн система- конструктора проектирования медиакурсов Mediacourse Builder состоит из следующих таблиц: медиакурсы (courses); лекции (lectures); уроки (lessons); новости (news); тесты для проверки уровня знаний (tests__degree); преподаватели (teacher); пользователи (users); привилегии (roles); видео (video).

Программное ядро онлайн системы - конструктора проектирования медиакурсов Mediacourse Builder в свою очередь делится на 2 системы: онлайн система создания медиакурсов, онлайн система обучения медиакурсам и состоит из четырех модулей: - администраторский; - преподавательский; - студенческий; - информационный.

Программное ядро состоит из следующих папок, которые находятся в главном каталоге cb.mediaedu.uz, расположенном в корневом вэб-каталоге (httpdocs): Blocks. Содержит единственный файл – header.php, который отвечает за верхнее меню (состояние изображений, надписей и т.д.) онлайн системы - конструктора проектирования медиакурсов Mediacourse Builder; captcha. Содержит в себе

скриптовые файлы, необходимые для обеспечения защиты системы при регистрации. Functions. Содержит в себе скриптовые файлы необходимые для работы онлайн системы - конструктора проектирования медиакурсов Mediacourse Builder; Images. Содержит в себе графические файлы, необходимые для визуального интерфейса онлайн системы - конструктора проектирования медиакурсов Mediacourse Builder; Nimda. Содержит в себе скриптовые файлы необходимые для работы администраторского и преподавательского модуля; Pages- Содержит в себе файлы, отвечающие за работу студенческого модуля; Cabinet.php- отвечает за работоспособность второй части онлайн системы- конструктора проектирования медиакурсов Mediacourse Builder- Онлайн обучение медиакурсам; Index.php. – основная страница онлайн системы- конструктора проектирования медиакурсов Mediacourse Builder, изменяющая свое содержимое, в соответствии с обращаемыми страницами, переход происходит на папку Pages.

Таким образом, медиаобразовательная система, в частности онлайн система - конструктор проектирования медиакурсов Mediacourse builder предназначена для создания и изучения медиакурсов в онлайн режиме. Каждый созданный медиакурс включает в себя медиатекст, анимации, видео, картинки и т.д. Созданные медиакурсы, доступны на странице Медиакурсы Медиаобразовательного портала. Медиакурсы публикуются на веб - странице медиаобразовательного портала. Медиакурсы создаются и оформляются преподавателями - разработчиками медиакурсов, прошедшими регистрацию, и получившее от администратора персональные данные для входа в систему. Преподаватели, войдя в свой - профайл в онлайн-системе, оформляют проект - медиакурс, выбрав "Проекты - Медиакурсы" в поле навигации.

После завершения проекта преподавателя смогут просмотреть проект на главной странице Mediacourse builder. Также у преподавателей есть возможность порекомендовать новых авторов. Созданные медиакурсы отображаются на странице онлайн системы, и доступны к изучению. Студенты могут выбрать интересующих их медиакурс для изучения. После изучения выбранного медиакурса, они могут проверить полученные знания, предварительно авторизовавшись в системе. Студенты смогут, используя онлайн систему совершенствовать свои знания, изучая медиакурсы, опираясь на рекомендуемые медиа-ресурсы и собственные культурно-образовательные потребности. Основными средствами получения знаний для студента являются медиакурсы, которые содержат необходимые знания и средства для проверки степени их усвоения (комментарии, тесты и др.).

Проведен анализ управления качеством медиаобразовательного процесса, который показывает, что все решаемые при этом практические задачи являются многокритериальными, т.е. для выбора оптимальной альтернативы путем взвешивания всех допустимых альтернатив, одного критерия качества для получения адекватной оценки их сравнения недостаточно. При этом, к сожалению, для проблемы многокритериального сравнения альтернатив фактически отсутствуют эффективные методы выбора.

Выполнена разработка и обоснование системы показателей качества медиакурсов. Основное внимание уделено системам качества медиакурсов и прикладного программного обеспечения. При разработке критериев качества принимались во внимание положения международных стандартов в области информатизации учебного процесса и управлении качеством программного обеспечения.

Анализируя практическое применение информационных систем, приходим к такому выводу, что в большинстве случаев, в системах, функционирующих в режиме доступа внешних пользователей, а также в аналогичных системах наблюдается нехватка потребляемых ими ресурсов. При этом отказ в обслуживании для любой аналогичной системы непосредственно зависит от объема выделенных для ее корректного функционирования ресурсов. Значительное количество клиентов, которые одновременно произвели подключение к серверу могут приводить изменению рабочего трафика.

Литература:

1. Бекназарова С.С. Моделирование процессов обработки мультимедийных медиаресурсов. //Издательство: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany, 2016, С.93.
2. Beknazarova S.S. Multimedia TIIV system. // Journal of Multimedia and Information System VOL. 2, NO. 4, December 2015(pp. 295-302): ISSN 2383-7632(Online).
3. Beknazarova S.S., Qayumova G.A. Optimization of media resource transportation // International Journal of Innovative Technologies in Economy, United Arab Emirates, №2 (4), 2016, P. 44-45.
4. Abdullayeva O.S., Beknazarova S.S. Technologies improve the efficiency of the educational process outside the classroom. //Researcher, USA, №8, 2016), P.30-31.
5. Sh.A. Anarova, F.M. Nuraliev, G.K.Dadenova. Mathematical model of spatially loaded bars with account of torsion function and transverse shears.// International Journal of Technical Research & Applications (IJTRA), India, on-line-
<http://www.ijtra.com/abstract.php?id=mathematical-model-of-spatially-loaded-bars-with-account-of-torsion-function-and-transverse-shears>.

С.А. Богатенков, к. т. н., доцент (ЮУрГУ, г. Челябинск);

Г.К. Яковлев, студент (филиал РАНХиГС в г. Екатеринбург)

СХЕМА ИНТЕГРАЦИИ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В статье рассматриваются проблемы обеспечения безопасного развития информационных технологий, стоящие перед разработчиками проектов при выборе схем интеграции. Приведено описание разработанной авторами моделей интеграции системы обеспечения безопасности на примере внедрения информационно-измерительных систем.

Ключевые слова: информационные технологии, информационно-измерительные системы, безопасность, моделирование, интеграция

В современном информационном обществе усиливаются традиционные и возникают новые риски для безопасности профессиональной деятельности.

Ущерб от развития новых информационных технологий (ИТ) соизмерим с ежегодным ростом ВВП в связи с развитием кибертерроризма, увеличением случаев крупномасштабных аварий в мире и санкций для применения зарубежного программного обеспечения на предприятиях России. Проблема обеспечения безопасности на 70 % связана с человеческим фактором. Неудовлетворительное качество подготовки выпускников образовательных организаций

обусловлено устаревшими методами и технологиями, отсутствием связи учебных дисциплин и реальных потребностей работодателей [1–3].

Различные риски, оказывающие деструктивное воздействие на профессиональную деятельность находятся в тесной взаимосвязи и во взаимодействии друг с другом. В ходе этого взаимодействия возникает результирующий комплекс угроз, который не является простой их совокупностью. Каждый специалист по-своему решает задачу обеспечения безопасности и применяет свои способы и методы для достижения заданных целей. При этом каждый из них в своем конкретном случае находит свои правильные решения. Однако, как показывает практика, совокупность таких правильных решений не дает в сумме положительного результата - система безопасности в общем и целом работает неэффективно. По мнению экспертов американского Института управления проектами (*Project Management Institute — PMI*), невосполнимые потери организаций по причине низкого качества управления проектами составляют на каждый миллиард долларов США 109 млн. долл. США [4]. Примерно такая же картина наблюдается и с выполнением сложных и мегапроектов в России. Поэтому проектное управление на практике реализует не более половины своих возможностей.

Такое положение дел обусловлено отсутствием системного подхода, который определил бы взаимные связи (отношения) между существующими понятиями, определениями, принципами, способами и механизмами обеспечения безопасности кадров при работе с новыми ИТ.

В статье на основе системного подхода к учету влияния рисков приведено описание модели интеграции системы, обеспечивающей безопасность при внедрении информационно-измерительных систем (ИИС).

В основу схемы интеграции положены модели состава и оценки мероприятий безопасного развития ИТ участников функционирующих сторон.

Модель состава мероприятий безопасного развития ИТ. Основной задачей модели является научное обеспечение процесса создания системы безопасности персонала при работе с новыми ИТ путем оценки безопасности принимаемых решений и выбора рационального варианта реализации системы обеспечения безопасности персонала.

Модель состава мероприятий безопасного развития ИТ представляется целесообразным рассматривать в трехмерном измерении: направления, этапы и мероприятия.

Направления формируются исходя из конкретных особенностей профессиональной деятельности при использовании новых ИТ. В общем случае, предлагается их связать с угрозами экономического, информационного, дидактического, психологического и социального характера.

Этапы (последовательность шагов) создания системы необходимо реализовать для каждого направления.

Мероприятиями в любой сложной системе, в том числе и системе обеспечения безопасности персонала являются: законодательная, нормативно-правовая и научная база; структура и задачи органов и подразделений, обеспечивающих безопасность; организационно-технические и режимные меры

и методы; программно-технические способы и средства. Для каждого направления и этапа определяется мероприятие.

Предложенная модель состава мероприятий безопасного развития ИТ в виде трехмерной матрицы позволяет не только жестко отслеживать взаимные связи между элементами защиты, но может выступать в роли руководства по созданию системы безопасности.

Процесс *создания* модели состава мероприятий безопасного развития ИТ состоит в последовательном заполнении элементов модели с учетом особенностей конкретного вида ИТ. Применение модели состава мероприятий безопасного развития ИИС приведено в таблице 1.

Модель оценки мероприятий безопасного развития ИТ. Оценить эффективность создаваемой или уже функционирующей системы безопасности можно также на основе трехмерной матрицы. Только теперь по показателям (элементам матрицы) надо выставить соответствующие оценки.

Методика оценки безопасности подготовки кадров к работе с ИТ основана на определении рисков, т.е. степени влияния на безопасность различных компонентов угроз. Сначала формируется перечень возможных этапов, затем на основе мнений независимых экспертов каждому этапу ставится в соответствие значение степени риска по трехбалльной шкале («1» - влияние незначительное, «2» - среднее, «3» - сильное).

Результаты использования методики на примере подготовки кадров к работе с ИИС приведены в табл.2.

Для исследования особенно важен вывод, что любая проблемно-ориентированная система управления и принятия решений может быть эффективным образом спроектирована на основе предложенной модели. При этом обеспечение безопасности персонала в результате применения ИТ в большинстве случаев имеет целью прежде всего выполнение мероприятий, соответствующих угрозам с максимальной степенью влияния, затем – со средней и, наконец, с незначительной.

Таблица 1 – Модель состава мероприятий безопасного развития ИИС

Направление	Этап	Мероприятие
1.Экономическое	1.1.Необоснованный выбор систем	1.1.Выбор систем по экономическому критерию
	1.2.Отсутствие унификации баз данных различных систем	1.2.Разработка программы унификации баз данных различных систем
	1.3.Потеря и искажение данных	1.3.Организация участка дежурных инженеров
2.Информационное	2.1.Субъективные ошибки персонала	2.1.Организация противоаварийных тренировок
	2.2.Недостоверные измерительные каналы	2.2.Метод поиска недостоверных измерительных каналов
	2.3.Недопустимые потери энергии	2.3.Метод поиска недопустимых потерь энергии
3.Дидактическое	3.1.Неэффективная организация процесса подготовки персонала	3.1.Организация эффективной подготовки персонала

	3.2. Недостаточный учет требований работодателей	3.2. Компетентностно ориентированное управление подготовкой кадров
	3.3. Недостаточная квалификация преподавателей	3.3. Повышение квалификации преподавателей
4. Психологическое	4.1. Отсутствие мотивации персонала к применению ИИС	4.1. Разработка системы морального и материального стимулирования
	4.2. Отсутствие эффективной образовательной среды	4.2. Разработка эффективной образовательной среды
	4.3. Потеря работы	4.3. Повышение квалификации кадров

В итоге реализации схемы интеграции моделей для обеспечения безопасности при работе с ИТ открывается возможность для определения необходимого комплекса мероприятий для обеспечения безопасности, выполнения принципа всестороннего учета рисков и степени их влияния на безопасность на основе учета интересов всех участников процесса внедрения новых информационных технологий.

Таблица 2 – Модель оценки мероприятий безопасного развития ИИС

Направление	Этап	Степень риска
1. Экономическое	1.1. Необоснованный выбор систем	3
	1.2. Отсутствие унификации баз данных различных систем	3
	1.3. Потеря и искажение данных	3
2. Информационное	2.1. Субъективные ошибки персонала	3
	2.2. Недостоверные измерительные каналы	3
	2.3. Недопустимые потери энергии	3
3. Дидактическое	3.1. Неэффективная организация процесса подготовки персонала	2
	3.2. Недостаточный учет требований работодателей	2
	3.3. Недостаточная квалификация преподавателей	2
4. Психологическое	4.1. Отсутствие мотивации персонала к применению ИИС	1
	4.2. Отсутствие эффективной образовательной среды	1
	4.3. Потеря работы	2

Литература

1. Толмачев В.Д. О кадровом обеспечении современной энергетики // Энергобезопасность и энергосбережение. 2011. №1. С. 37–38.
2. Логинов Е.Л. Сетевые информационные атаки на системы управления энергетическими объектами критической инфраструктуры / Е.Л. Логинов, А.Н. Райков // Теплоэнергетика. 2015. №4. С. 3-9.
3. Иностранное программное обеспечение в России не бойся, ещё хуже будет // Экспертный центр электронного государства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://d-russia.ru/inostrannoe-programmnnoe-obespechenie-v-rossii-ne-bojsya-eshhyyo-xuzhe-budet.html>
4. Позняков, В.В. Управление проектами для топ-менеджеров / В.В. Позняков // Управление проектами и программами. 2012, № 3. С. 27–28.

ПОСТАНОВКА ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПОИСКА И ГЕНЕРИРОВАНИЯ ТЕКСТОВЫХ ОПИСАНИЙ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ

В статье приведена формализованная постановка прямой и обратной задачи поиска и генерирования текстовых описаний по изображениям (Image Captioning).

Ключевые слова: Image Captioning, генерирование текстовых описаний изображений, компьютерное зрение, обработка естественного языка.

Интерес к исследованиям в области компьютерного зрения связан с многочисленными практическими потребностями, а также огромным потенциалом данной области. Высокими темпами идет информатизация всех отраслей экономики и общества. Количество визуальной информации, с которыми сталкиваются пользователи информационных технологий каждый день, поражает: в настоящее время более 85% всех данных, расположенных в сети Интернет, представляют собой графическую информацию (мультимедиа). Каждый месяц на сервера ресурса Youtube пользователи загружают тысячи видеороликов общей длительностью более 70 млн часов [1].

Очевидно, что это неуклонно увеличивающееся количество информации человек не в состоянии обработать (классифицировать, описать) самостоятельно. В связи с этим актуальной задачей является поиск эффективных алгоритмов автоматической обработки изображений (видео), способных решать задачи интеллектуального анализа изображений различной степени сложности.

Задача генерирования текстовых описаний по изображениям (Image Captioning [2-4]) является сложной задачей, предполагающей интеграцию методов двух разномодальных областей анализа данных: компьютерное зрение (computer vision) и обработка естественного языка (natural language processing).

Несмотря на то, что в большинстве случаев человеку достаточно даже беглого взгляда на изображение, чтобы дать описание увиденного на естественном языке, совсем не очевидно, как научить ЭВМ проводить эту процедуру. В области интеллектуального анализа изображений интерес исследователей в последнее время был прикован к различным вариантам задач классификации образов (объектов) на изображениях, в решении которых в последние годы был достигнут большой прогресс.

Однако во всех этих задачах исследователи имеют дело с ограниченными словарями (наборами классов), что значительно упрощает задачу и ограничивают потенциальные возможности интеллектуальной системы (по сравнению с огромным количеством описаний изображений различной степени детализации, которые может составить человек).

Кроме того, задача генерирования текстовых описаний по изображениям предполагает понимание содержания изображенных сцен. От моделей требуются «интеллектуальные» способности устанавливать пространственно-временные, причинно-следственные и другие связи и отношения между объектами.

Интерес к исследованиям в области автоматического поиска и генерирования текстовых описаний по изображениям связан с многочисленными практическими потребностями, а также огромным потенциалом данной области. Подобные задачи возникают во многих отраслях. Вот далеко неполный список приложений методов интеллектуального анализа изображений:

- системы управления технологическими процессами (в т.ч. промышленные роботы, автономные транспортные средства);
- эффективный поиск изображений или видео в больших коллекциях;
- помощь слабовидящим людям;
- взаимодействие компьютер-человек;
- виртуальная (дополненная) реальность.

Приведем формализованную постановку прямой и обратной задачи поиска и генерирования текстовых описаний по изображениям.

Пусть $P = \{p_1, p_2, \dots\}$ – множество изображений, представленных в цифровом виде (в общем случае универсальное множество, включающее все всевозможные изображения исследуемой предметной области).

$C = \{c_1, c_2, \dots\}$ – множество текстовых описаний на естественном языке (в общем случае также универсальное множество, включающее все всевозможные описания изображений из множества P).

Во множествах P и C выделены подмножества P_{train} и C_{train} соответственно, содержащие прецедентную информацию [5] D_{train} :

$$D_{train} = \{P_{train}, C_{train}\},$$

где $P_{train} = \{p_{1_{train}}, p_{2_{train}}, \dots, p_{n_{train}}\}$, $C_{train} = \{C_{1_{train}}, C_{2_{train}}, \dots, C_{n_{train}}\}$, $P_{train} \subset P$, $C_{train} \subset C$, n – мощность множества D_{train} (количество прецедентных примеров).

Каждому изображению $p_{i_{train}}$ из обучающей выборки соответствует множество $C_{i_{train}}$ из m текстовых описаний:

$$\forall p_{i_{train}} \subset P_{train} \exists ! C_{i_{train}} \subset C_{train},$$

где $C_{i_{train}} = \{c_1^{(i)}, c_2^{(i)}, \dots, c_m^{(i)}\}$, $m \geq 1$, $i = 1, \dots, n$.

Кроме того, определено некоторое отображение $f(p, c)$, которое для произвольных изображения p и текстового описания c определяет степень "ассоциации" (соответствия) между ними:

$$f(p, c) = \mu,$$

где $\mu \in [0; 1]$.

Прямая задача M_{dir} поиска (генерирования) текстового описания по изображению состоит в том, что для произвольно заданного изображения $p_q \notin P_{train}$ необходимо найти соответствующее текстовое описание $c^* \in C$ с максимальной степенью ассоциации:

$$M_{dir} : p_q \rightarrow c^* = \arg \max_{c \in C} f(p_q, c).$$

Обратная задача M_{rev} поиска (генерирования) изображения по текстовому описанию состоит в том, чтобы для заданного описания на естественном языке $c_q \notin C_{train}$ найти соответствующее изображение $p^* \in P$ с максимальной степенью ассоциации:

$$M_{rev} : c_q \rightarrow p^* = \arg \max_{p \in P} f(p, c_q).$$

При этом, если множества P и C являются ограниченными, то речь идет о задаче *поиска*, в противном случае – о задаче *генерирования* (формирования) описания/изображения.

Литература

1. Statistics - YouTube [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/yt/press/statistics.html>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 14.08.2017).
2. Fang, H., Gupta, S., & Iandola, F. (2014). From Captions to Visual Concepts and Back. *arXiv Preprint arXiv: 1408.1775*, (Lm), 1473–1482. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298754>
3. Karpathy, A., & Li, F. F. (2015). Deep visual-semantic alignments for generating image descriptions. In *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298932>
4. Rampf, C., Villone, B., & Frisch, U. (2015). Microsoft COCO Captions: Data Collection and Evaluation Server, 16. <https://doi.org/10.1093/mnras/stv1365>
5. Местецкий Л.М. Математические методы распознавания образов // Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Вычислительный центр им. А. А. Дородницына Российской академии наук. 2002-2004. URL: <http://www.ccas.ru/frc/papers/mestetskii04course.pdf> (дата обращения: 12.09.2017).

А.В. Борисов, к.т.н., доц.

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

ВЛИЯНИЕ ТРЕНИЯ НА ДВИЖЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТА

Проведено исследование влияния трения на поведение модели антропоморфного механизма типа экзоскелета со звеньями переменной длины. Рассмотрен вопрос о максимальном значении силы трения, обеспечивающем отсутствие проскальзывания в зоне контакта стопы с опорной поверхностью. Система дифференциальных уравнений движения с учетом трения в шарнирах-суставах исследуется численно.

Ключевые слова: трение, экзоскелет, стержень, сосредоточенные массы, шарнир-сустав, управление, дифференциальные уравнения движения.

Целью является численное исследование полученной стержневой модели с подвижными звеньями переменной длины. На основании разработанной выше теоретической модели экзоскелета, используя предложенный ранее эмпирический метод решения обратной задачи динамики [1], проведем исследование различных аспектов функционирования экзоскелета.

Рассмотрим трение в зоне контакта ноги с опорной поверхностью. Возможность поступательного перемещения тел, изменяющих свою геометрию, за счет внутренних источников энергии связана с наличием связей, наложенных на тело. Тела искусственного происхождения (машины) и тела естественного происхождения (биологические тела) используют односторонние неударяющие импульсные связи. В реальности такой связью является сила трения. Для неударяющих связей итогом будет перемещение тела в целом. Важным является вопрос: при каких условиях перемещение тела в целом возможно? Исследуем вопрос о влиянии учета трения в модели и изменения полученной системы

дифференциальных уравнений движения. Так как сила трения прикладывается при ходьбе только вдоль горизонтали, рассмотрим соответствующее уравнение движения, полученное ранее в работе [2]. Рассмотрим в общем случае уравнение для модели с n звеньями. Будем считать, что вместо идеального шарнира имеется некоторая площадка контакта в зоне пальцев ноги и в результате изгиба возникает вращающий момент. При этом возможно проскальзывание. Это наблюдается в реальности, например при ходьбе по снегу.

Сила реакции опоры определялась в [1]. У опорной ноги горизонтальная сила реакции разделяется на две части – торможение после постановки ноги на опору и разгон при отталкивании. Абсолютное максимальное значение горизонтальной составляющей силы реакции наблюдается в фазе отталкивания ноги от опоры и приближенно равно 302 Н. Значение вертикальной составляющей силы реакции опоры при этом равно 1821 Н.

Таким образом, используя закон $F_{mp} = fN$, понимая под F_{mp} горизонтальную составляющую реакции опоры, под N вертикальную составляющую реакцию опоры, имеем: $f = 0,17$. То, есть это минимальное значение коэффициента трения покоя, при котором не наступает скольжения. При любом меньшем значении возможно наступление скольжения. Очевидно, чтобы скольжение не наступало, необходимо, чтобы коэффициент трения был больше полученного значения. Если сравнивать со справочными данными, то например, коэффициент трения скольжения резины по чугуну 0,5-0,8, а он ниже, чем коэффициент трения покоя. Следовательно, в реальных материалах подошвы и поверхности выполняется условие отсутствия проскальзывания.

Если рассмотреть конус трения, то условие сдвига $\tan \gamma > f$. При определенном выше значении $\gamma > 9,7^\circ$. Если принять средний коэффициент трения подошвы с опорной поверхностью равным 0,6. Условие сдвига будет выполнено при угле $\gamma > 31^\circ$. Таким образом, конус трения получается при вращении вектора, направленного под углом 59° , отсчитываемым от горизонтали. При этом максимальная сила трения при определенной выше вертикальной силе реакции равна: $F_{mp}^{max} = 1092,6$ Н.

Рассмотрим модель с пятью подвижными звеньями переменной длины, состоящей из двухзвенных ног и корпуса (рис. 1 а). Была составлена система дифференциальных уравнений движения для рассматриваемой модели, которые здесь не приводятся ввиду громоздкости.

При учете силы трения в шарнирах-суставах модели эндо- и экзоскелета в дифференциальных уравнениях движения в правой части добавляется сила вязкого трения, которую будем моделировать в виде:

$$K_i = -k_i d\chi_i/dt, \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (1)$$

где k_i – коэффициент вязкого сопротивления вращению в шарнирах-суставах, χ_i – относительные углы между звеньями: $\chi_1 = \varphi_1$, $\chi_2 = \pi - \varphi_1 + \varphi_2$, $\chi_3 = \varphi_3 - \varphi_2$, $\chi_4 = \pi - \varphi_4 + \varphi_3$, $\chi_5 = \pi - \varphi_2 + \varphi_5$ (рис. 1 б).

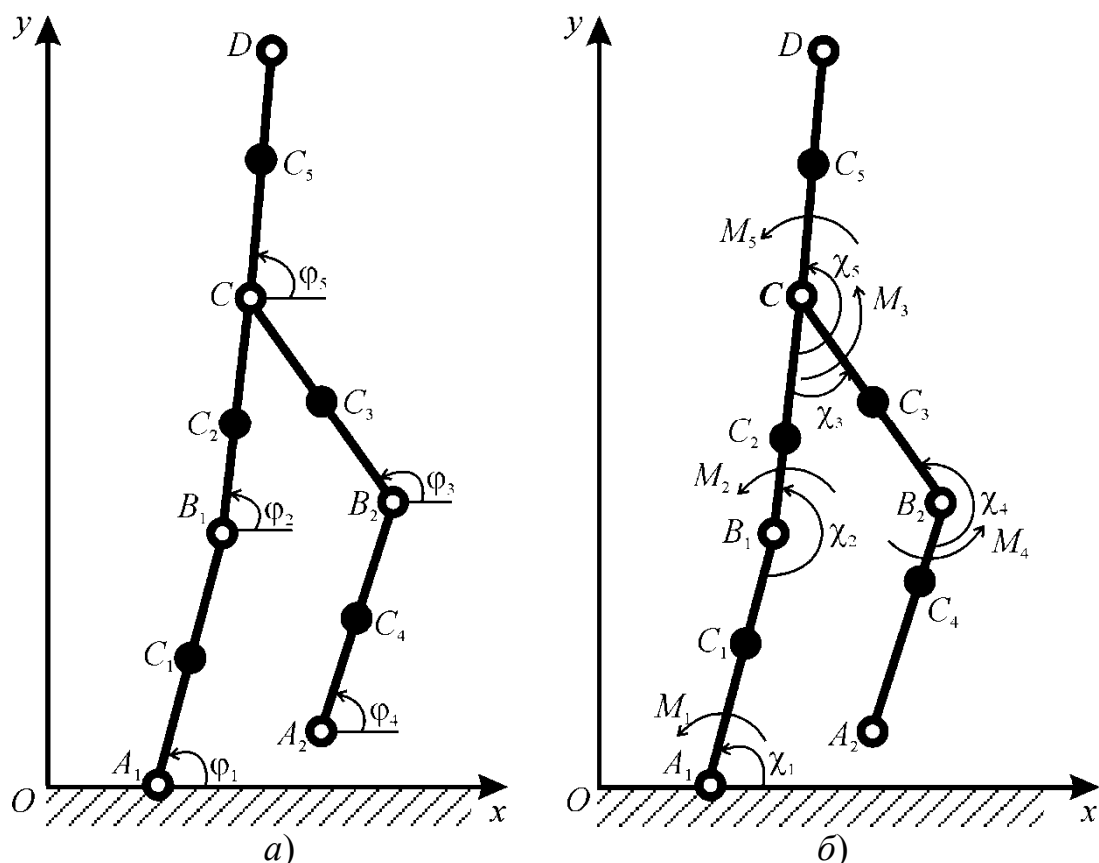


Рисунок 1 – Модель экзоскелета с пятью подвижными звеньями переменной длины

Значения параметров для численных расчетов: массы звеньев $m_1 = m_4 = 2,91$ кг, $m_2 = m_3 = 8,93$ кг, $m_5 = 28,93$ кг, они распределялись в виде точечных масс – в шарнирах $\frac{1}{4}$ и на стержне $\frac{1}{2}$ от массы звена. Множители, задающие положение сосредоточенной массы на стержне равны: $n_{11} = n_{41} = 0,595$, $n_{21} = n_{31} = 0,545$, $n_{51} = 0,500$. Длины звеньев задавались в виде интерполяционных функций времени по эмпирическим данным [1]. Коэффициенты вязкого сопротивления вращению в шарнирах-суставах считались одинаковыми и равными: $k = 0,6$. Начальные условия: $\varphi_1(0) = 1,68$ рад, $\varphi_2(0) = 1,70$ рад, $\varphi_3(0) = 1,21$ рад, $\varphi_4(0) = 0,39$ рад, $\varphi_5(0) = 1,57$ рад, $\dot{\varphi}_1(0) = -1,57$ рад/с, $\dot{\varphi}_2(0) = -2,92$ рад/с, $\dot{\varphi}_3(0) = -0,19$ рад/с, $\dot{\varphi}_4(0) = -2,83$ рад/с, $\dot{\varphi}_5(0) = -0,07$ рад/с. На рис. 2 в качестве иллюстрации приводятся исходные эмпирические данные для модели на примере голени переносимой ноги – звена номер 4.

Эмпирически определенные управляющие моменты включают в себя силу вязкого сопротивления вращению в шарнирах-суставах реального опорно-двигательного аппарата человека. Коэффициент трения в реальных суставах очень мал $\sim 0,01$. Поэтому, для наглядности расчетов берется на порядок большее значение $k = 0,6$. Таким образом, указанная сила трения в реальных суставах при эмпирическом определении моментов пренебрежимо мала и ее можно не учитывать при расчетах, о которых идет речь ниже.

Приведем результаты решения системы дифференциальных уравнений движения с заданным одинаковым в обоих случаях управлением для голени опорной и переносимой ног (рис. 3, слева).

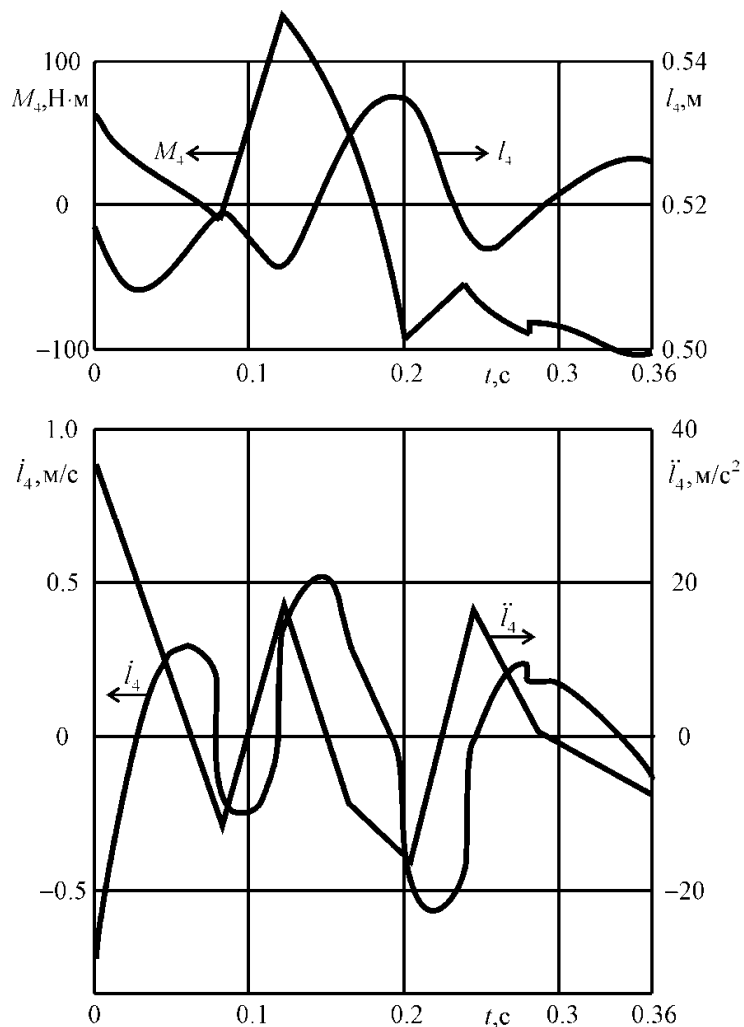


Рисунок 2 – Исходные эмпирические данные для модели на примере голени переносимой ноги – звена номер 4 (M_4 – управляющий момент, l_4 – изменение длины звена, $\dot{l}_4$ – скорость изменения длины звена, $\ddot{l}_4$ – ускорение изменения длины звена)

По полученным графикам видно, что учет трения снижает максимальные значения рассчитанных величин. При этом форма графиков сохраняется. Соответственно, движение изменяется, и конечная конфигурация механизма в рассмотренных выше случаях совпадать не будет.

Сравнение результатов численного решения первого уравнения системы дифференциальных уравнений движения с заданными управляющими моментами для модели без учета трения и с учетом сил трения показывает, что движение изменяется, и конечная конфигурация механизма в рассмотренных выше случаях совпадать не будет.

Чтобы конфигурация модели с учетом сил сопротивления и без учета их учета в конце шага совпадали, очевидно, необходимо изменить управляющие моменты, прикладываемые в шарнирах-суставах.

Проведем теперь расчет движений, то есть решим прямую задачу динамики при определенных выше моментах из решения обратной задачи, с учетом силы трения (рис. 3, справа).

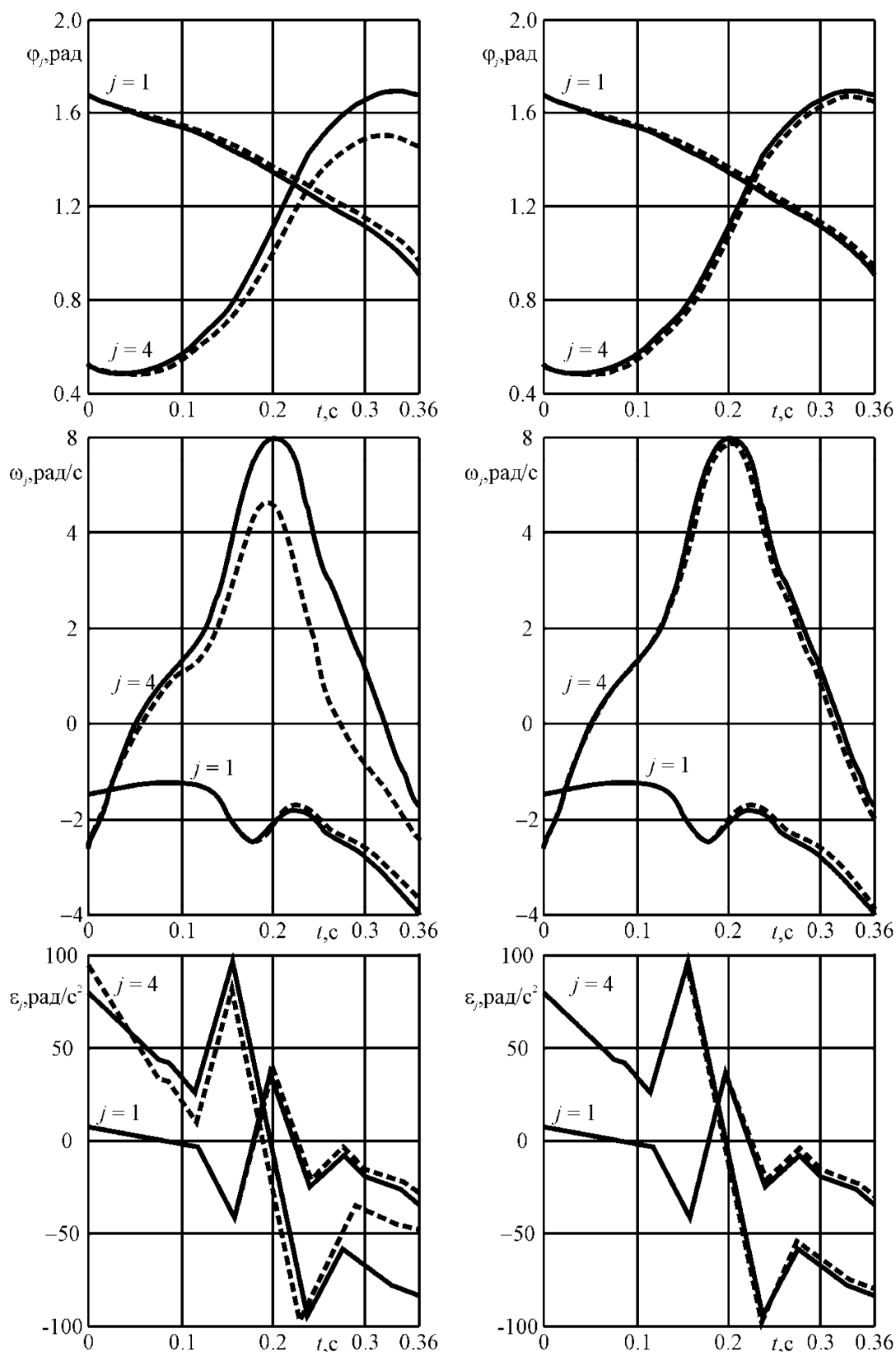


Рисунок 3 – Зависимости от времени угла поворота, угловой скорости и углового ускорения для голени опорной ($j = 1$) и переносимой ($j = 4$) ног с учетом сил трения – пунктирная линия и без учета – сплошная линия при управляющих моментах, рассчитанных без учета сил трения (слева) и при наличии сил трения (справа)

В данном случае видно, что для опорной ноги различия незначительны и имеет место незначительное расхождение результатов, тогда как для переносимой ноги наблюдается очень хорошее совпадение. Таким образом, введение дополнительной силы трения в шарнирах-суставах можно компенсировать изменением управляющих моментов.

Проводя расчет движений, т.е. решая прямую задачу динамики при измененных моментах с учетом силы трения установлено, что введение дополнительной силы трения в шарнирах-суставах компенсируется изменением управляющих моментов.

Литература

1. Борисов А. В. Моделирование опорно-двигательного аппарата человека и применение полученных результатов для разработки модели антропоморфного робота : монография / А. В. Борисов. – М. : Спутник +, 2009. – 212 с.
2. Борисов А. В. Автоматизация разработки трехмерных моделей экзоскелетов со звеньями переменной длины / А. В. Борисов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т.16, №12. С. 828-835.

А.В. Борисов, к.т.н., доц.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ МАСС НА ЗВЕНЕ НА ДИНАМИКУ ЭКЗОСКЕЛЕТА

Описывается новая модель звена экзоскелета переменной длины в виде невесомого стержня и расположенных на нем сосредоточенных точечных масс. Количество и расположение точечных масс на стержне произвольно. Проводится исследования влияния расположения масс на динамику экзоскелета. Установлены значительные изменения в управляющих моментах и продольных силах при изменении расположения масс.

Ключевые слова: экзоскелет, звено переменной длины, сосредоточенные массы, дифференциальные уравнения движения, управляющие моменты, продольные силы.

Современные модели экзоскелета состоят из абсолютно твердых звеньев [1], поэтому они являются некомфортными, что мешает их массовому производству, так как исследования опорно-двигательного аппарата человека [2] показали, что расстояние между осями вращения в суставе не является постоянным, а изменяется в течение шага. Нами предложена модель звеньев, экзоскелета, моделирующая эту особенность опорно-двигательного аппарата человека при ходьбе.

Рассмотрим модель с тремя сосредоточенными массами, расположенными в различных местах на стержне (рис. 1). Массы считаем сосредоточенными: в точке C_{10} масса m_{10} , в точке C_{11} масса m_{11} , в точке C_{12} масса m_{12} . Их положение на стержне задается постоянными множителями n_{10} , n_{11} и n_{12} соответственно.

Для решения поставленной задачи применим уравнения Лагранжа второго рода. Кинетическую энергию звена вычисляем, подсчитывая кинетическую энергию каждой сосредоточенной на звене массы и затем суммируя их.

$$T = \frac{1}{2} \xi_1 (\dot{l}_1^2 + l_1^2 \dot{\varphi}_1^2), \quad \Pi = \eta_1 g l_1 S_1, \quad (1)$$

$$\xi_1 = m_{10} n_{10}^2 + m_{11} n_{11}^2 + m_{12} n_{12}^2, \quad \eta_1 = m_{10} n_{10} + m_{11} n_{11} + m_{12} n_{12}, \quad S_1 = \sin \varphi_1,$$

Обобщения уравнений для однозвенной модели, если имеется произвольное

количество α масс, имеет вид:

$$l_1^2 \left(\sum_{\beta=0}^{\alpha-1} m_{1\beta} n_{1\beta}^2 \right) \ddot{\phi}_1 + g l_1 \left(\sum_{\beta=0}^{\alpha-1} m_{1\beta} n_{1\beta} \right) C_1 + 2 l_1 \left(\sum_{\beta=0}^{\alpha-1} m_{1\beta} n_{1\beta}^2 \right) \dot{l}_1 \dot{\phi}_1 = M_1, \quad (2)$$

$$- l_1 \left(\sum_{\beta=0}^{\alpha-1} m_{1\beta} n_{1\beta}^2 \right) \dot{\phi}_1^2 + g \left(\sum_{\beta=0}^{\alpha-1} m_{1\beta} n_{1\beta} \right) S_1 + \left(\sum_{\beta=0}^{\alpha-1} m_{1\beta} n_{1\beta}^2 \right) \ddot{l}_1 = F_1, \quad (3)$$

$$C_1 = \cos \varphi_1, S_1 = \sin \varphi_1,$$

Данная модель приближает модель звена с дискретными массами к модели с распределенными параметрами за счет возможности задания большого количества масс, моделировать неравномерность структуры костно-мышечной ткани, изменения момента инерции звена реального человека.

Рассмотрим модель с тремя произвольно расположенными сосредоточенными массами (рис. 2). Их положение задается множителями n_{ij} , где первый индекс относится к номеру звена, второй к номеру массы на звене. Массы считаем сосредоточенными в точках C_{10} масса m_{10} , C_{11} масса m_{11} , C_{12} масса m_{12} , C_{20} масса m_{20} , C_{21} масса m_{21} , C_{22} масса m_{22} .

Кинетическую энергию звена вычисляем, подсчитывая кинетическую энергию каждой сосредоточенной на звене массы и затем суммируя их.

$$T = \frac{1}{2} \left(\sum_{\beta=0}^2 m_{1\beta} n_{1\beta}^2 \right) (\dot{l}_1^2 + l_1^2 \dot{\phi}_1^2) + \frac{1}{2} \sum_{\beta=0}^2 m_{2\beta} (\dot{l}_1 S_1 + \dot{l}_2 n_{2\beta} S_2 + l_1 \dot{\phi}_1 C_1 + l_2 \dot{\phi}_2 n_{2\beta} C_2)^2 + (\dot{l}_1 C_1 + \dot{l}_2 n_{2\beta} C_2 - l_1 \dot{\phi}_1 S_1 - l_2 \dot{\phi}_2 n_{2\beta} S_2)^2, \quad C_j = \cos \varphi_j, S_j = \sin \varphi_j, j = 1, 2. \quad (4)$$

Система дифференциальных уравнений движения рассматриваемой стержневой модели, описывающая изменение угловой координаты и длины звена здесь не приводится. Аналогично записываются уравнения для модели с пятью подвижными звеньями переменной длины (рис. 3).

Рассмотрим модель с пятью звеньями, состоящую из двухзвенных ног и корпуса (рис. 3). Значения параметров для численных расчетов: массы звеньев $m_1 = m_4 = 2,91$ кг, $m_2 = m_3 = 8,93$ кг, $m_5 = 28,93$ кг, они распределялись в виде точечных масс – в шарнирах $\frac{1}{4}$ и на стержне $\frac{1}{2}$ от массы звена. Множители, задающие положение сосредоточенной массы на стержне равны: $n_{11} = n_{41} = 0,595$, $n_{21} = n_{31} = 0,545$, $n_{51} = 0,500$. Длины звеньев задавались в виде интерполяционных функций времени по эмпирическим данным [3]. Начальные условия: $\varphi_1(0) = 1,68$ рад, $\varphi_2(0) = 1,70$ рад, $\varphi_3(0) = 1,21$ рад, $\varphi_4(0) = 0,39$ рад, $\varphi_5(0) = 1,57$ рад, $\dot{\varphi}_1(0) = -1,57$ рад/с, $\dot{\varphi}_2(0) = -2,92$ рад/с, $\dot{\varphi}_3(0) = -0,19$ рад/с, $\dot{\varphi}_4(0) = -2,83$ рад/с, $\dot{\varphi}_5(0) = -0,07$ рад/с. На рис. 4 в качестве иллюстрации приводятся исходные эмпирические данные для модели на примере голени переносимой ноги – звена номер четыре.

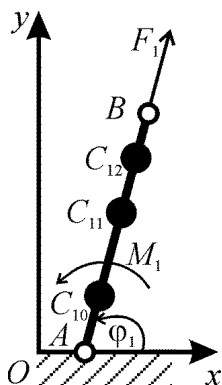


Рисунок 1 – Модель экзоскелета с одним подвижным звеном и тремя массами

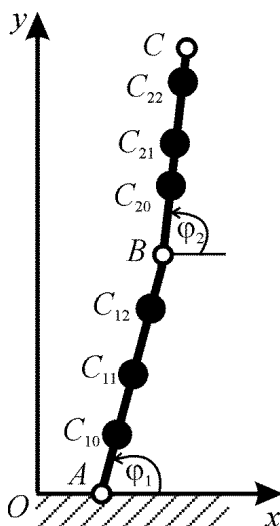


Рисунок 2 – Модель экзоскелета с двумя подвижными звеньями и тремя массами

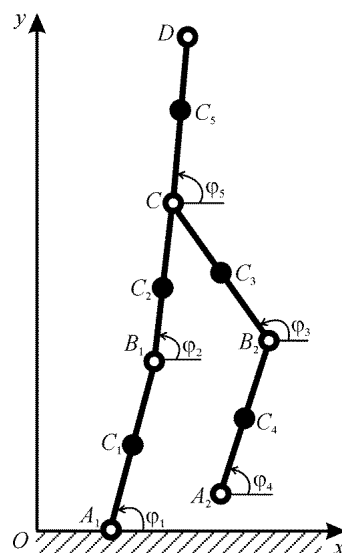


Рисунок 3 – Модель экзоскелета с пятью подвижными звеньями с сосредоточенными массами

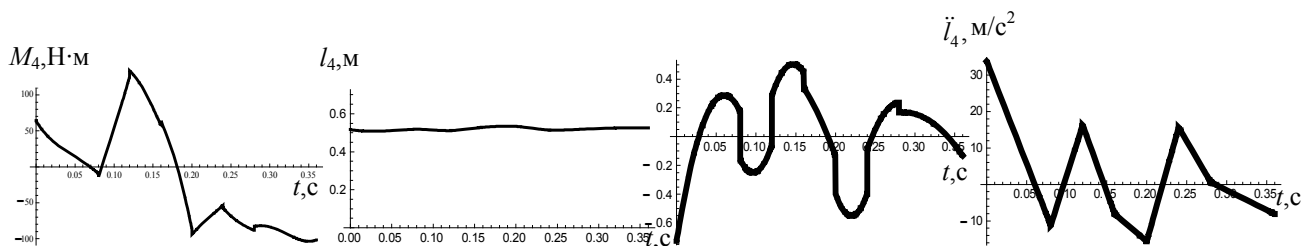


Рисунок 4 – Исходные эмпирические данные для модели экзоскелета для звена номер три – голени переносимой ноги

Рассмотрим решение системы дифференциальных уравнений движения для модели с пятью подвижными звеньями переменной длины с заданным управлением, для различных случаев распределения масс на звене. Интерес представляет анализ предельных случаев. Пусть практически вся масса – 90% сосредоточена в центре масс звена, а в шарнирах суставах располагается по 5% массы звена в каждом. Данная модель близка к модели звена переменной длины, рассмотренной в [3], где считалось, что вся масса звена сосредоточена в центре масс звена. Посмотрим, как изменяются управляющие моменты и продольные силы, действующие вдоль стержня в этом случае (рис. 5 и 6).

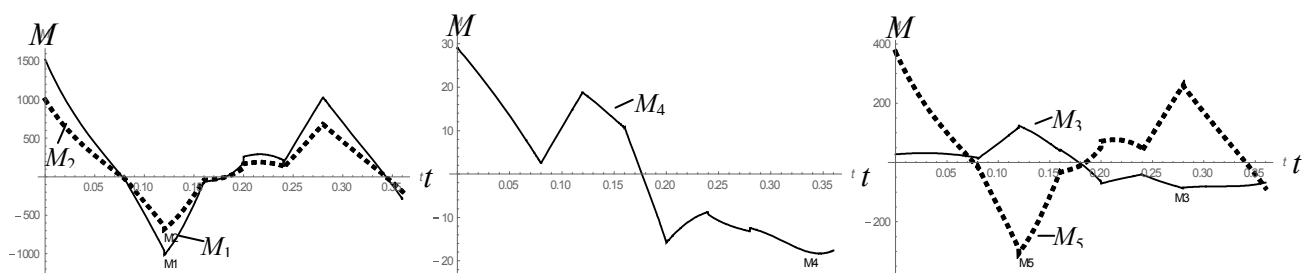


Рисунок 5 – Зависимости управляющих моментов в шарнирах-суставах экзоскелета от времени

F

F

F

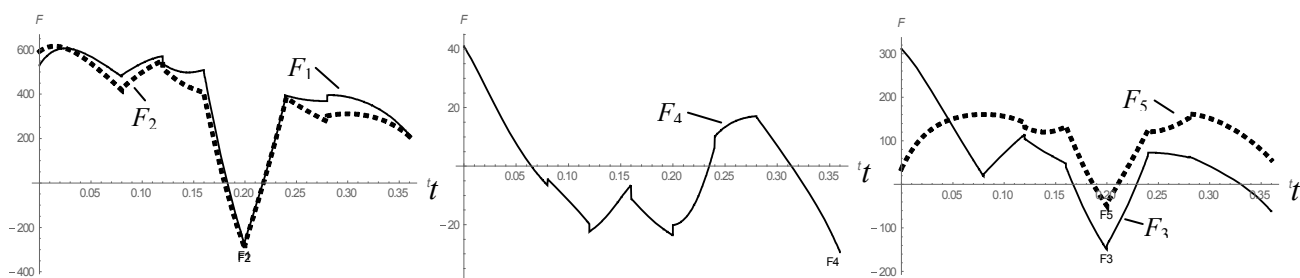


Рисунок 6 – Зависимости продольных сил, действующих вдоль звеньев экзоскелета от времени

Полученные зависимости управляющих моментов (рис. 5) близки к полученным в работе [3].

Рассмотрим другой предельный случай. Пусть теперь в центре масс звена располагается 10% массы звена, а на концах звена в каждом шарнире-сустапе по 45% массы звена. Определим управляющие моменты и продольные силы для этого случая (рис. 7 и 8).

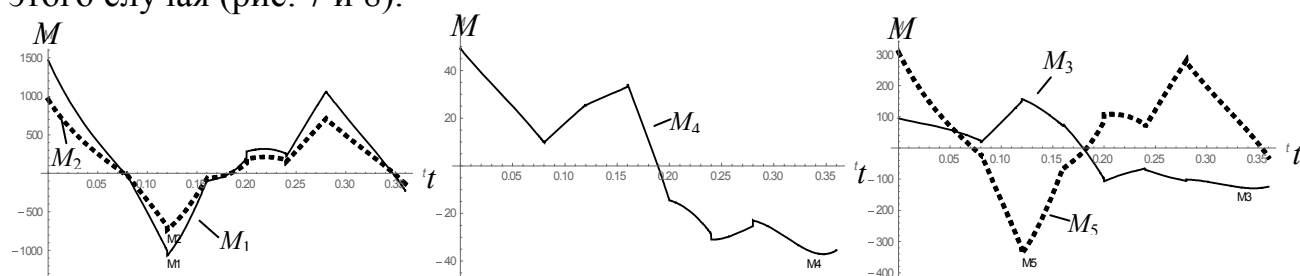


Рисунок 7 – Зависимости управляющих моментов в шарнирах-суставах экзоскелета от времени

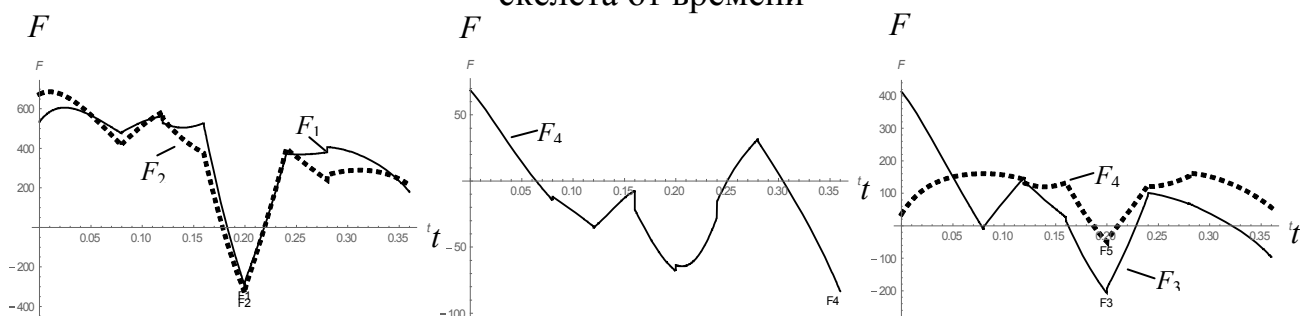


Рисунок 8 – Зависимости продольных сил, действующих вдоль звеньев экзоскелета от времени

При симметричном расположении масс на концах стержня значительных изменений в управляющих моментах и продольных силах в сравнении с моделями, рассмотренными выше, не установлено.

Рассмотрим случай несимметричного распределения масс на концах звена в шарнирах-суставах. Пусть почти вся масса звена 90% сосредоточена на конце звена в шарнире-сустапе с индексом ноль, расположенном снизу звена, а по 5% в центре масс и в другом шарнире-сустапе. Тогда получаем следующие управляющие воздействия и продольные силы (рис. 8 и 10).

M

M

M

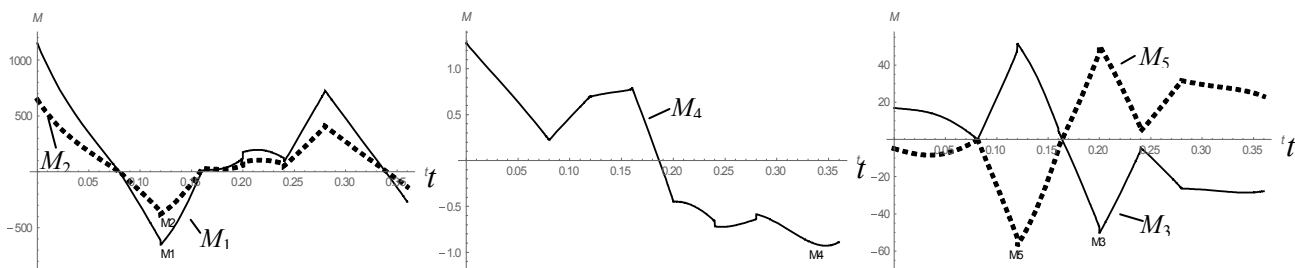


Рисунок 9 – Зависимости управляющих моментов в шарнирах-суставах экзоскелета от времени

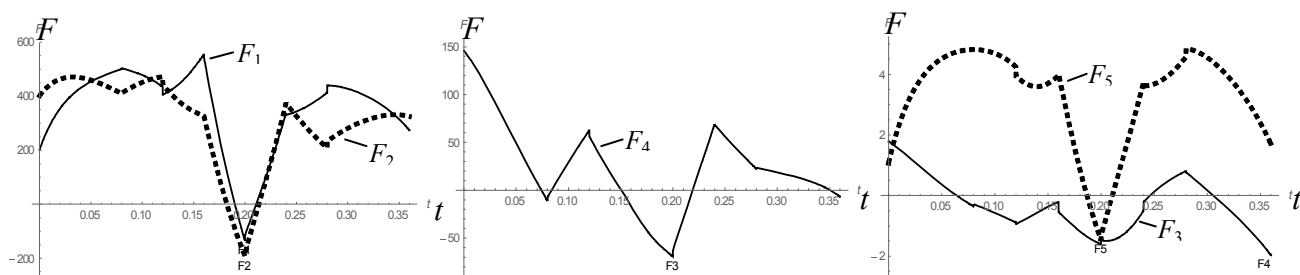


Рисунок 10 – Зависимости продольных сил, действующих вдоль звеньев экзоскелета от времени

Сравнивая полученные зависимости (рис. 9-10) с зависимостями для симметричного расположения масс (рис. 5-8) видим, что управляющие воздействия и продольные силы изменяются значительно.

Рассмотрим случай несимметричного распределения масс на концах звена в шарнирах-суставах. Пусть почти вся масса звена 90% сосредоточена на конце звена в шарнире-суставе с индексом два, расположенном сверху звена, а по 5% в центре масс и в другом шарнире-суставе. Такая модель наиболее близка к звену опорно-двигательного аппарата человека. Получаем следующие управляющие воздействия и продольные силы (рис. 11 и 12).

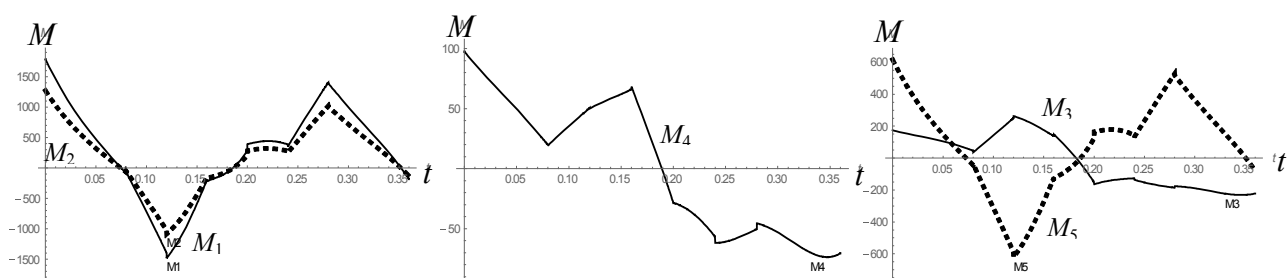


Рисунок 11 – Зависимости управляющих моментов в шарнирах-суставах экзоскелета от времени

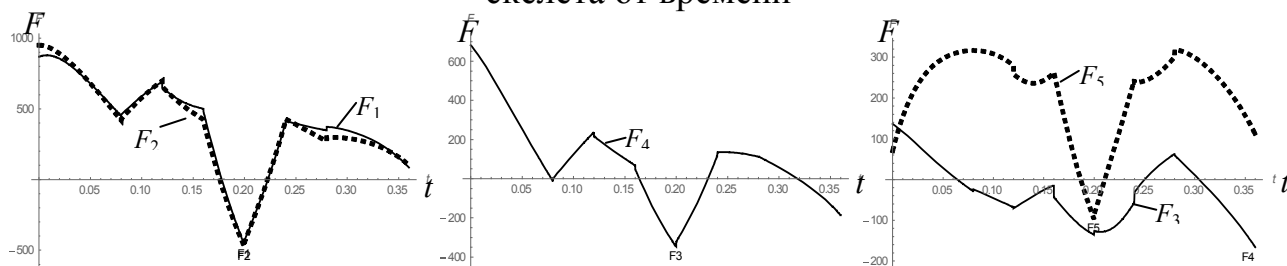


Рисунок 12 – Зависимости продольных сил, действующих вдоль звеньев экзоскелета от времени

Сравнивая (рис. 11 и 12) с (рис. 5-10), видим, что они меняются как по сравнению с симметричным расположением масс, так и с расположением масс снизу звена. Изменения наблюдаются как в форме зависимостей, так и в максимальных значениях до двух порядков.

В результате установлено, что несимметричное расположение масс на звене приводит к серьезным изменениям управляющих моментов. Этот факт является важным при проектировании экзоскелета, так как звенья опорно-двигательного аппарата человека обладают несимметричностью в распределении масс на звене. Моделируя экзоскелет симметричными звеньями невозможно достичь синхронной, комфортной работы экзоскелета с опорно-двигательным аппаратом человека из-за значительных динамических различий поведения моделей звеньев. Это наблюдается в моделях экзоскелетов с абсолютно твердыми звеньями. Таким образом, в рамках разработанной модели можно, изменяя соотношения между массами, аппроксимировать различные звенья экзоскелета и человека и исследовать их поведение.

Литература

1. Формальский А. М. Об одном способе управления экзоскелетом. / А. М. Формальский // Ломоносовские чтения: тезисы докладов науч. конф. (16 – 25 апреля 2012, Москва, МГУ имени М. В. Ломоносова). – М.: Издательство Московского университета, 2012. – С. 151-152.
2. Борисов А. В. Расчет деформаций, возникающих при нагрузках в опорно-двигательном аппарате человека / А. В. Борисов // Известия Смоленского гос. университета. – 2011. – № 4. – С. 114-118.
3. Борисов А. В. Моделирование опорно-двигательного аппарата человека и применение полученных результатов для разработки модели антропоморфного робота : монография / А. В. Борисов. – М. : Спутник +, 2009. – 212 с.

Г.Б. Бурдо, д.т.н., проф.; Б.В. Палух, д.т.н., проф.; Н.А.Семенов, д.т.н., проф.
(Тверской государственный технический университет)

ГИБРИДНЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Предложена концепция информационной интеграции автоматизированных производственных систем в многономенклатурном производстве. Исследование проведено на основе теории систем и методологии жизненного цикла изделий. Показана иерархия рассматриваемых систем. Показаны принципы создания интегрированных систем и входящих в неё подсистем. Предложена методика принятия решений в гибридных системах.

Ключевые слова: многономенклатурное машиностроение, автоматизированные системы, проектирование, управление.

В настоящее время доля единичного и мелкосерийного типов машиностроительных производств (многономенклатурного машиностроительного производства, МП) составляет до 25-30 процентов в общем объеме продукции машиностроения. Это связано с желанием потребителей продукции иметь товар требуемых именно им свойств, и в нужное время. Большинство предприятий выпускает первые образцы наукоемкой, высокотехнологичной продукции именно малыми партиями. МП характеризуется высокой динамичностью производственной ситуации в технологических подразделениях.

К сожалению, МП, в силу его небольшого объема в прежние годы, находилось в стороне от промышленных разработок в области автоматизированных

систем проектирования технологических процессов (САПР ТП) и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП).

Данный факт обуславливает невысокую эффективность спроектированных технологий, создает проблемы при управлении технологическими процессами и, в конечном итоге, увеличивает длительность подготовки производства новой продукции и технологические циклы её изготовления.

Выход из данной ситуации представляется в информационной интеграции САПР ТП и АСУТП на основе предлагаемых принципов.

1 Принципы создания интегрированных САПР ТП-АСУТП

В работах [1-4] были рассмотрены теоретико-множественные модели интегрированной системы, автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и проектирования технологическими процессами (САПР ТП). Показаны виды информационных преобразований, иерархия систем, правила отбора синтезированных решений. С целью учета особенностей многономенклатурного машиностроительного производства сформулированы принципы, определяющие создание интегрированных САПР ТП-АСУТП (ИС). Рассмотрим их.

1. Информационная интеграция должна обеспечивать минимальную инерционность производственной системы, определяемую временем реагирования на изменение производственной ситуации. Это требование вытекает из необходимости обеспечивать работу производственной системы в соответствии с принципом «точно вовремя» [8].

2. Интегрированная система должна обеспечивать возможность управления жизненным циклом продукции.

3. Интегрированная система должна работать в рамках системы управления качеством продукции.

4. Интегрированная система должна управляться системой управления организацией (СУО) на основе прямых и обратных информационных связей, иметь внешние информационные связи с системой конструкторской подготовки производства, управляемыми объектами являются рабочие места производственной системы.

5. Взаимодействие между САПР ТП и АСУТП должно состоять в следующем. Информация от САПР ТП (станкочасности, маршруты прохождения деталей по рабочим местам) является входной для АСУТП. В то же время синтез этой информации выполняется с учетом сведений о фактическом состоянии в производственной системе, получаемых от АСУТП (обратная связь).

2 Принципы создания САПР ТП в рамках интегрированных систем

Рассматриваемые ниже принципы исходят из понимания того факта, что различие конструкторско-технологических характеристик деталей, разнообразный состав оборудования и средств технологического оснащения, непредсказуемые состояния технологических подразделений по загрузке, фактической численности рабочих, появлению новых заказов предопределяют трактованные процесса разработки технологий как недостаточно формализованную, много-

вариантную организационно-технологическую задачу, решаемую в условиях информационной неопределенности [4], [5].

1. Учет текущей ситуации в производственных подразделениях по загрузке оборудования.

2. Подчиненность целевой функции проектируемых технологических процессов (ТПр) целям, достигаемым фирмой при выполнении конкретного заказа.

3. Малая инерционность процессов технологической подготовки производства.

4. Создание предпосылок для проектирования эффективных ТПр.

5. Создание предпосылок для эффективного управления технологическими процессами на этапе проектирования ТПр.

6. Иерархическая организация процедур в САПР ТП.

Рассмотрим наиболее интересные из них.

Иерархическая организация процедур обозначает построение процесса проектирования по методу декомпозиции, что свойственно человеческому мышлению, и позволяет экспертам в естественном виде оценивать результаты.

Суть гибридного способа предлагается следующая. На каждом уровне декомпозиции процесса проектирования САПР ТП генерируется несколько допустимых решений. Далее проектировщик на основании своего опыта и интуиции оценивает и отбирает из них одно или несколько наиболее целесообразных решений для последующей детализации.

Особого разговора заслуживает процесс принятия решения о виде целевой функции технологического процесса. В этом случае согласованное решение принимается группой экспертов - работников заинтересованных служб организации по определенному алгоритму [9].

3 Принципы создания АСУТП в рамках интегрированных систем

Принципы сформулированы с учетом современных тенденций развития машиностроительного производства [6], [7] составляющими которых являются: всеобщий контроль (TQC) или всеобщий менеджмент на основе качества (TQM); всеобщий уход за оборудованием (TPM); производственная система «точно вовремя» (JIT).

Выдерживание принципов должно обеспечить смысловое единство процессов планирования и управления процедурам, реализуемым в АСУТП.

1-й принцип создания АСУТП - принцип системного единства и взаимосвязи.

2-й принцип создания АСУТП - соответствие иерархии планов и точности управления точности планов организации.

3-й принцип создания АСУТП - непрерывность и оперативность управления за счет наличия обратной связи от СУО и технологических подразделений (ТП),

4-й принцип создания АСУТП - обеспечение оптимальных резервов в планах.

5-й принцип создания – АСУТП должна предусматривать диалоговый, гибридный режим, означающий вовлечение человека в процесс управления и получение дополнительных ресурсов управления. Планирование и управление в

АСУТП выполняется в несколько этапов: объемное планирование, календарное планирование, оперативное планирование и диспетчирование (управление). Первые три этапа выполняются итерационно. На каждом шаге итерации и по завершении этапа системой предлагаются возможные варианты решений. Группой экспертов выполняется их анализ. На этапе диспетчирования возможные управляющие решения анализируются и оцениваются экспертами после завершения каждого интервала оперативного планирования. Принятие одного наиболее целесообразного решения выполняется с использованием аппарата нечетких множеств [10], [11], [12].

6-й принцип создания АСУТП – комплексности, т.е. учёт важнейших факторов, влияющих на решение задачи управления в их взаимосвязи, и оценка взаимовлияния принимаемых решений. Это предполагает задачу управления ТПр рассматривать более широко, начиная от создания предпосылок эффективной работы АСУТП путем соблюдения ряда принципов при создании технологических подразделений, временной координации процессов подготовки запуска в производство, и реализации элементов управления с помощью САПР ТП.

4 Условия реализации предлагаемых подходов к созданию ИС

Внедрение новых способов управления производственными системами невозможно без выполнения ряда условий, способствующих успешной реализации проекта.

1. Очередность работ.

А. В первую очередь целесообразно выполнять работы, связанные с конструкторско-технологической унификацией, силами работников конструкторских и технологических служб.

Б. Параллельно можно выполнять мероприятия по балансированию производственных мощностей. Надо понимать, что указанные работы (А и Б) должны носить постоянный характер.

В. Разработка механизмов управления технологической подготовкой производства с целью сокращения цикла работы производственной системы за счет параллельного выполнения работ.

Г. Внедрение концепции организационно-технологического проектирования технологических процессов.

2. Кадровая подготовка цехового управленческого персонала, особенно линейных мастеров и руководителей диспетчерских служб.

3. Кадровая подготовка работников технологических служб, задача которой - научить их разрабатывать (перерабатывать) технологии в соответствии с целевой функцией.

4. Поэтапное внедрение информационно интегрированных автоматизированных систем проектирования технологических процессов, разработки управляющих программ для станков с ЧПУ и управления технологическими процессами, что значительно повысит оперативность решений.

5. Готовность руководства предприятия вкладывать средства не только в развитие производственных мощностей, но и в повышение квалификации работников.

6. Ну и последняя, но возможно, самая сложная задача - выработать понимание чувства коллективной ответственности за результат у всех участников процесса изготовления заказа: конструкторов, технологов, цехового управленческого персонала, производственных рабочих.

5 Обсуждение результатов

Сделаем несколько замечаний по сути работы. Как можно увидеть, основные три цели, которые преследовались в данной работе, это: 1) уменьшение инерционности при принятии решений в разрабатываемой интегрированной автоматизированной системе; 2) повышение качества принимаемых решений и их соответствие производственным условиям; 3) обеспечение достижения единой глобальной цели при технологической подготовке производства и управлении технологическими процессами.

Поэтому, предлагаемый в работе подход, ставящий целью интеллектуализацию инженерного труда - наиболее эффективный способ повышения его производительности. В совокупности с наличием информационной связи с автоматизированной системой управления это позволит повысить и поддерживать надлежащее качество спроектированных технологий за счет наличия элементов обучения и проектирования с учетом текущей ситуации в производственных подразделениях. Подход к управлению, основанный на информационной увязке планов всех уровней, позволяет в автоматизированном режиме осуществлять поиск резервов мощностей, и при необходимости, выполнять переход к корректировке планов более высоких уровней. Единое целеуказание в автоматизированной системе обеспечивается тем, что целевая функция при проектировании технологических процессов, равно как и приоритетность заказов при управлении технологическими процессами, определяются исходя из календарных сроков выполнения заказа и его стоимости.

6 Заключение

Предложенные подходы прошли опытную апробацию и поэтапное внедрение на одном из предприятий и показали свою состоятельность. В работе умышленно не затрагивались вопросы, скажем, комплексного процессного управления деятельностью предприятия, оптимизации функциональной структуры служб и подразделений предприятия, внедрение систем менеджмента качества, координации работы с подрядными организациями и т.п. Указанные задачи весьма серьезно затрагивают не только подразделения среднего звена, но и деятельность высшего руководства предприятий, фирм, их решение часто вызывает протест и отторжение у работников. Поэтому их действенная реализация, как правило, трудна, зависит во многом от воли руководителя, и является темой отдельного разговора.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 17-01-00566.

Литература

1. Бурдо Г.Б., Палюх Б.В. Теоретические основы комплексной автоматизированной системы проектирования и управления технологическими процессами в многономенклатурном производстве. - Вестник Самарского государственного технического университета. Серия технические науки.- 2010.- №4(127).-С.44-54.
2. Бурдо Г.Б., Палюх Б.В., Семенов Н.А. Системы управления технологическими процессами в машиностроении: подходы к созданию интеллектуальных систем управления. Palmarium Academic Publishing, Saarbruchen, Deutschland, 2012.-287 p.
3. Бурдо Г.Б., Семенов Н.А., Исаев А.А. Автоматизированная система управления технологическими процессами в многономенклатурных производствах. Программные продукты и системы.-2012.-№1(97).-С.80-83.
4. Burdo G. B. Improving the Technological Preparations for Manufacturing Production. Russian Engineering Research, 2017, Vol. 37, No. 1, pp. 49–56. [Original Russian Text © G.B. Burdo, 2016, published in STIN, 2016, No. 7, pp. 2–8.].
5. Капустин Н.М.. Автоматизированная система проектирования техногических процессов. - М.: Машиностроение, 1979. - 287 с.
6. James P. Womack, Daniel T. Jones, Lean Thinking (Second Edition), New York: Free Press, 2003.
7. Shigeo Shingo. Kaizen and The Art of Creative Thinking, Enna Product Corporation and PCS Inc, 2007.
8. Вумек Джеймс П., Джонс Даниел Т. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. -473 с.
9. Бурдо Г.Б., Виноградов Г.П., Исаев А.А. Согласованное приня-тие решений в производственных системах изготовления наукоем-ких изделий. Программные продукты и систе-мы.-2015.-№2(110).-С.75-82.
10. Бурдо Г.Б., Семенов Н.А. Принятие решений при формировании объемных планов в АСУТП. Труды Конгресса по интеллектуальным системам информационным технологиям «IS&IT'16». Россия, Дивно-морское, 2-9 сентября 2016г.-Таганрог: изд-во ЮФУ.- Том 1. С.124-131.
11. Бурдо Г.Б., Палюх Б.В., Семенов Н.А. Пятнадцатая национальная кон-ференция по искусст-венному ин-теллекту с международным уча-стием (КИИ-2016).Труды конференции, 3–7 октября 2016 г., г. Смоленск, Россия. Том 1, С. 239-247.
12. L Zadeh. Fuzzy Sets. Information and Control, 1965; 8, pp. 338-353.

**Г.Б. Бурдо, д.т.н., проф.; Б.В. Палюх, д.т.н., проф.; Н.А. Семенов, д.т.н., проф.,
А.Н. Болотов, д.т.н., проф.**

(Тверской государственный технический университет)

МОДЕЛИ И КРИТЕРИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В МАШИ- НОСТРОЕНИИ

Представлены результаты научных исследований, полученные в области создания ин-теллектуальных систем управления качеством продукции в машиностроительном произ-водстве. Показана связь методологии систем с этапами жизненного цикла изделия. Выяв-лены принципы выбора критериев оценки качества изделия на этапах его жизненного цикла.,

Ключевые слова: система управления качеством, критерии качества изделия, маши-ностроение, жизненный цикл изделия.

Качество продукции является важнейшим фактором, влияющим на конкурентоспособность предприятия. Поэтому, с целью управления качеством продукции на всех этапах жизненного цикла изделия, необходимо создавать систему управления качеством (СУК) продукции, функционирование которой определяется стандартами серии ИСО 9000 [3]. Ранее, для достижения желаемого уровня качества продукции, было достаточно контролировать его на отдельных этапах жизненного цикла изделия (ЖЦИ). В настоящее время для обеспечения качества продукции необходимо управлять качеством [5] на каждом этапе и стадии ЖЦИ (рис.1).

1 Принципы выбора критериев оценки качества

Для управления качеством изделия необходимы данные о состоянии качества продукции на протяжении всего ЖЦИ. Такими данными выступают *критерии оценки качества изделия*. Важным становится рациональный выбор критериев, случайный подбор критериев может привести к необоснованным решениям. Следует помнить, что каждый критерий будет служить не только основой оценки, но и служить в качестве базы для выработки управляющих воздействий на проектно-конструкторскую и производственную деятельность. Вследствие этого подбор критериев должны основываться на следующих принципах, полученных на основе анализа деятельности исполнителей на этапах ЖЦИ [1,2,3,4,5,6]:

1. Комплекс критериев качества должен соответствовать принципам серии стандартов ИСО 9000.

2. Иерархическая структура критериев качества должна соответствовать иерархии СУК (исходя из принципа наследственности производных систем).

В данном случае была рассмотрена СУК с иерархической структурой, поэтому и структура критериев качества носит иерархический характер (рис.2).

3. Комплекс критериев должен быть понятным каждому пользователю СУК.

Работнику предприятия должно быть понятно, какой именно результат работы от него ожидают, поэтому должна быть соблюдена определенная терминология.

4. Комплекс критериев должен давать возможность однозначного обоснования и понимания.

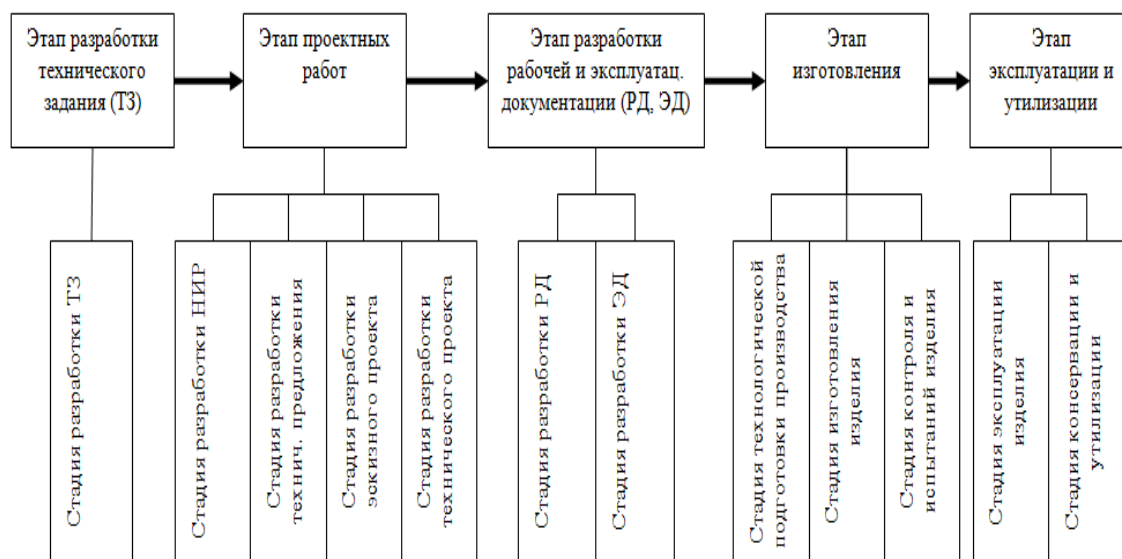


Рис 1. Основные этапы и стадии ЖЦИ

5. Комплекс критериев должен быть адекватным оцениваемой технической системе и непротиворечивым. Система измерения критерия должна соответствовать системе измерения показателей изделия. Критерии на всех этапах ЖЦИ и уровнях должны быть логически увязаны.

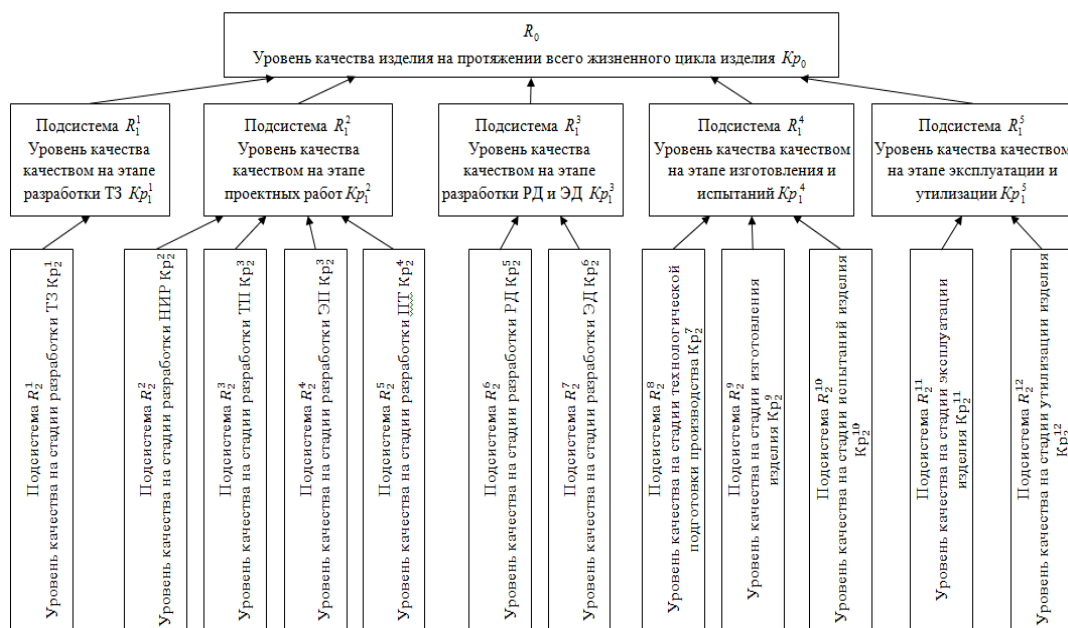


Рис. 2. Иерархическая структура критериев качества изделия

6. Количество критериев должно быть минимальным и достаточным для объективной оценки качества изделия СУК предприятия. Количество критериев не должно быть избыточным, большое количество критериев приведет к перегрузке ресурсов СУК. Более того охватывая незначительные критерии возникает риск недооценить влияние наиболее важных критериев.

7. Комплексность критериев.

Качество изделия следует оценивать в комплексе, т.е. оценивать его с позиции не только данного этапа ЖЦИ, но и последующих. Таким образом обеспечивается перекрытие во времени работ, выполняемых на ранних этапах ЖЦИ.

8. Измеримость критериев.

Для оценивания качества показатели изделия необходимо измерять. Измерения показателей изделия будут носить как качественный, так и количественный характер.

9. Детализация критериев.

При переходе на последующие стадии ЖЦИ критерии должны детализироваться, качественные критерии заменяться количественными.

2 Комплексные критерии оценки качества изделия

На основе представленных принципах была построена модель критериев качества изделия. В подсистеме управления качеством изделия на протяжении всего ЖЦИ (R_0) имеются 5 глобальных критериев качества, на основе которых оценивается общее (конечное) качество изделия [6]:

1. Критерием Kp_1 оценивается уровень качества на этапе разработки ТЗ.
2. Критерием Kp_2 оценивается уровень качества на этапе проектных работ.
3. Критерием Kp_3 оценивается уровень качества на этапе разработки РД и ЭД.
4. Критерием Kp_4 оценивается уровень качества на этапе изготовления и испытания.

5. Критерием Kp_5 оценивается уровень качества на этапе эксплуатации и утилизации.

Представленные глобальные критерии носят качественный характер, характеризую конечное множество частных критериев. Для них установлена следующая шкала оценок: 1) недостаточное качество, 2) достаточное качество, 3) хорошее качество.

Наиболее важным этапом, влияющим на качество изделия, является этап проектных работ, результаты которого станут основой для всех последующих этапов ЖЦИ. Поэтому, рассмотрим критерии качества на этом этапе.

Подсистемы 1-го уровня (R_1^n) оценивающие качество изделия на соответствующем этапе ЖЦИ имеют соответствующие этапу критерии качества изделия. Например: в подсистеме управления качеством проектных работ (R_1^2) установлены следующие частные критерии:

1. Критерий Kp_2^2 оценивается уровень качества на стадии проведения НИР.

2. Критерий Kp_3^2 оценивается уровень качества на стадии разработки технического предложения (ТП).

3. Критерий Kp_4^2 оценивается уровень качества на стадии разработки эскизного проекта (ЭП).

4. Критерий Kp_5^2 оценивается уровень качества на стадии разработки технического проекта (ПТ).

Наконец, подсистемы 2-го уровня (R_2^n) оценивающие качество изделия на соответствующей стадии ЖЦИ имеют соответствующие стадии критерии качества изделия. Например, в подсистеме управления качеством на стадии разработки ЭП (R_2^4) установлены следующие частные критерии (рис. 3).

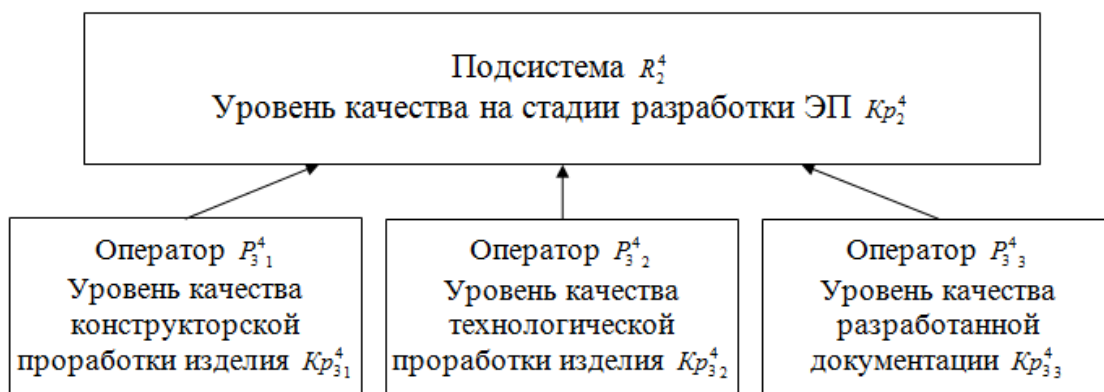


Рис. 3. Модель системы критериев качества на стадии разработки ЭП

1. Критерий Kp_{21}^4 оценивается уровень качества конструкторской проработки изделия, разработанного на стадии ЭП.

2. Критерий Kp_{22}^4 оценивается уровень качества технологической проработки изделия, разработанной на стадии ЭП, т.е. захватывает следующие этапы ЖЦИ.

3. Критерий Kp_{23}^4 оценивается уровень качества документации, разработанной на стадии ЭП.

Подобное разделение позволяет отдельно оценить качество самой документации, разработанной на данной стадии, так и качество изделия, т.е. информацию, содержащуюся в документации.

Последним 3-м уровнем СУК являются операторы $\{ P_{3m}'' \}$, оценивающие результаты работ на стадиях ЖЦИ, которые сгруппированы и формализованы с целью повышения эффективности и удобства работы. Например, оператор, оценивающий качество конструкторской проработки изделия, разработанного на стадии ЭП (P_{31}^4), оценивает всю информацию, относящуюся к конструкции изделия на стадии ЭП. Оценка качества выполняется на основе множества частных критериев оценки качества изделия $Kp_{31}^4 = [K_1(P_{31}^4), K_2(P_{31}^4), K_3(P_{31}^4), K_4(P_{31}^4), K_5(P_{31}^4)]$.

1. Критерием $K_1(P_{31}^4)$ оценивается степень соответствия параметров изделия (технические характеристики и технико-экономические показатели) требованиям ТЗ и ТП, устанавливается 3-х бальная шкала: 1) не соответствуют, 2) соответствуют только ключевые (основные) показатели изделия, 3) все показатели изделия соответствуют требованиям ТЗ и ТП.

2. Критерием $K_2(P_{31}^4)$ оцениваются показатели работоспособности и надежности конструкции изделия, устанавливается 3-х бальная шкала: 1) конструкция изделия неработоспособна и/или ненадежна, 2) конструкция изделия работоспособна и в целом надежна, 3) конструкция изделия работоспособна и надежна.

3. Критерием $K_3(P_{31}^4)$ оценивается соответствие изделия требованиям техники безопасности и экологичности, устанавливается 2-х бальная шкала: 1) не соответствует, 2) соответствует.

4. Критерием $K_4(P_{31}^4)$ оцениваются показатели эргономичности изделия, устанавливается 2-х бальная шкала: 1) недостаточно эргономично, 2) достаточно эргономично.

5. Критерием $K_5(P_{31}^4)$ оценивается удобство эксплуатации изделия (т.е. качество на последующих этапах ЖЦИ), устанавливается 3-х бальная шкала: 1) неудобно (не соответствует требованиям эргономичности), 2) в целом удобно, 3) достаточно удобно.

На основании анализа качественных и количественных значений частных критериев выполняется комплексная оценка качества изделия. Разработана база правил для продукционных моделей знаний, вырабатывающая директивные указания. На основе указаний осуществляется возврат на предыдущую стадию ЖЦИ (итерация) при ненадлежащем качестве изделия, либо переход на последующую (безусловный или с замечаниями об учете недостатков на следующей стадии).

Заключение

Представленная иерархическая модель критериев оценки качества изделия позволяет комплексно охватить все этапы и стадии ЖЦИ и оценить состояние разработок на них. По нашему мнению, ее внедрение позволяет обеспечить качество изделия и целенаправленно построить работу проектировщиков.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 17-01-00566.

Литература

1. ГОСТ 2.103-68. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки.
2. ГОСТ 3.1102-81. Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документации.
3. Гличев А. В. Основы управления качеством продукции. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2001. – 424 с.
4. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. Пер. с польск. – М.: Мир, 1981.-456 с., ил.
5. Колчин А. Ф., Овсянников М. В., Стрекалов А. Ф., Сумарков С. В. Управление жизненным циклом продукции. – М.: Анархист, 2002. – 304 с.
6. Бурдо Г.В., Палюх Б.В., Семенов Н.А., Сорокин А.Ю. Модель автоматизированной системы управления качеством в многономенклатурном машиностроительном производстве//Программные продукты и системы.-2013.-№4(104).-С.248-253.

*А.С. Васильев, к.т.н., ст преп.; А.Ю. Резниченко, маг.
(ПГУ им. Шолом-Алейхема, в г.Биробиджане)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В УСИЛЕННЫХ ПУСТОТНЫХ ПЛИТАХ СРЕДСТВАМИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS

В персональных компьютерах ANSYS выполнялось численное моделирование и расчет пустотной плиты в ее естественной форме, а так же плиты, представленной в форме тавра с уменьшением ширины сечения на сумму диаметров пустотных отверстий в плите. Цель: выяснить насколько будут отличаться результаты деформаций численных расчетов пустотной плиты при разрушающей нагрузке, моделируя ее в естественной и в форме тавра.

Ключевые слова: математическое моделирование, усиление, пустотная плита, напряженно-деформированное состояние, прогиб.

Представление плиты в форме тавра для расчетов имеет отличия от представления пустотной плиты в ее естественной форме. Сопоставление расчетов показывает насколько приближение согласно нормативным документам дает погрешность относительно реальной модели пустотной плиты. Программный комплекс ANSYS позволяет выполнять численное моделирование по средствам МКЭ, так же это применяется и при проектировании современных строительных конструкций [1], [2].

Для исследования взята пустотная плита, со следующими данными: номинальные размеры плиты в плане 0,8х4 м; высота $h=200$ мм; бетон тяжелый, подвергнутый тепловой обработке, класса В25 ($R_b = 14,5 \text{ МПа}$); рабочая продольная арматура стержневая 3 штуки диаметром 18А-400 ($R_s = 365 \text{ МПа}$). Геометрические характеристики показаны на рисунке 1[4].

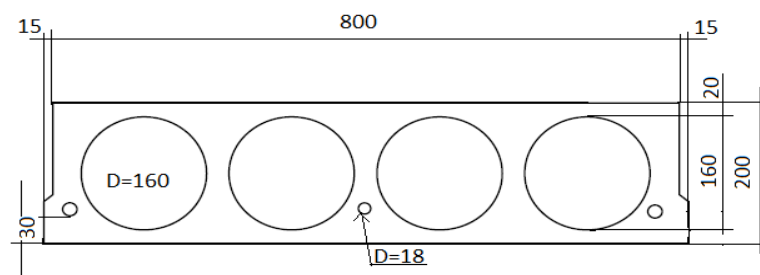


Рис.1 Сечение пустотной железобетонной плиты

Для упрощения вычислений пустотные плиты представляют в форме тавра, и ширина ребра уменьшается на сумму диаметров каждого пустотного отверстия в плите. В таблице 1 сведены результаты расчетов прогибов усиленных пустотных плит от разрушающей нагрузки.

Таблица 1-Результаты прогибов усиленных пустотных плит

Шаг нагрузки	Рассматриваемые плиты	Расчет в ANSYS натуральной плиты, прогиб f , мм	Расчет в ANSYS плиты в форме тавра, прогиб f , мм	Отклонения расчета прогибов в ANSYS натуральной плиты от расчета ANSYS плиты в форме тавра, %
Последний	Плита без усиления, при разрушающей нагрузке $q=21,7$ кН/м;	28,34	28,258	0,3
	Плита усиленная наращением в 50 мм, при разрушающей нагрузке $q=25$ кН/м;	22,9	21,987	4
	Плита усиленная комбинированным способом, при разрушающей нагрузке $q=43,8$ кН/м.	29,92	28,407	5

В таблице 1 сведены полученные результаты решения прогибов для всех видов рассматриваемых плит, для натуральной плиты рассчитанной в ANSYS, а так же для плиты в форме тавра рассчитанной в ANSYS. За эталон принята натуральная плита[3].

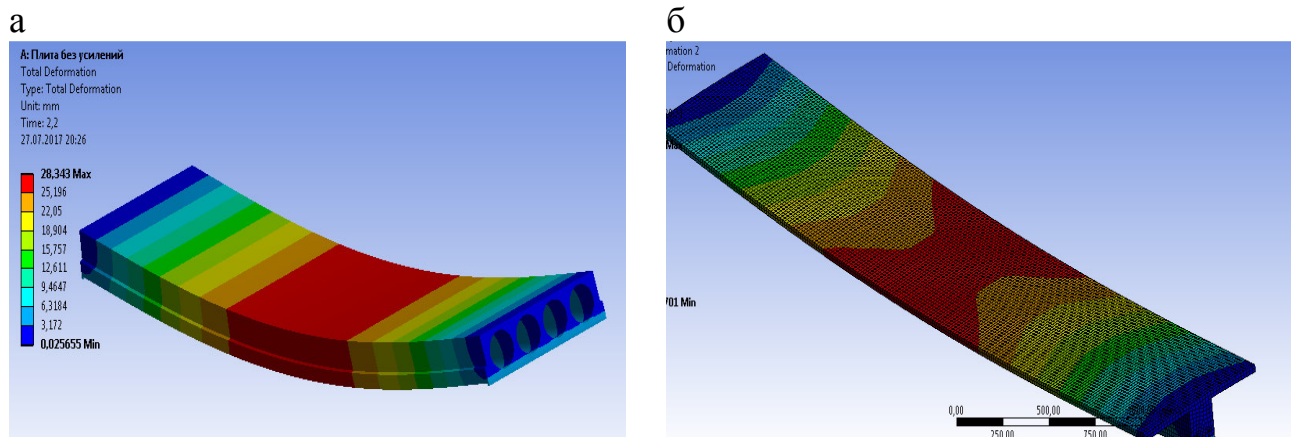
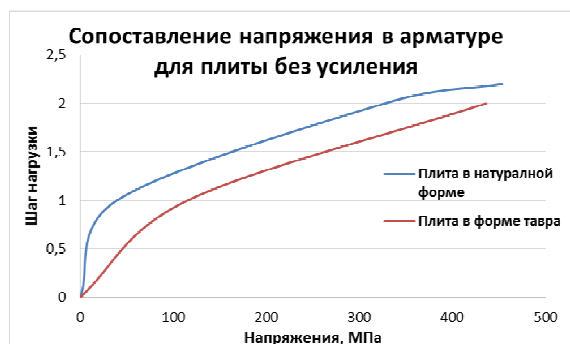


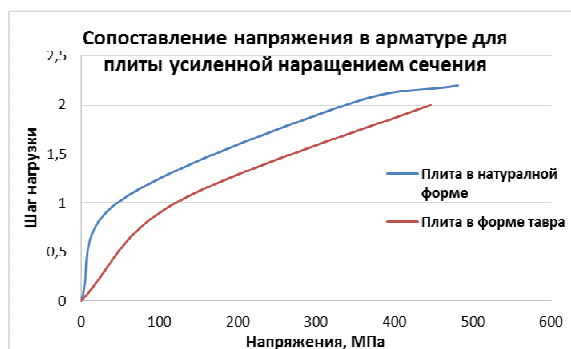
Рис.2. Прогиб пустотной натуральной плиты полученный в ANSYS (а)
Прогиб плиты в форме тавра полученный в ANSYS (б)

На рисунке 2 а, б показаны прогибы не усиленной натуральной плиты, а так же плиты в форме тавра при разрушающей нагрузке. Красным цветом показан максимальный прогиб плиты.

а



б



в

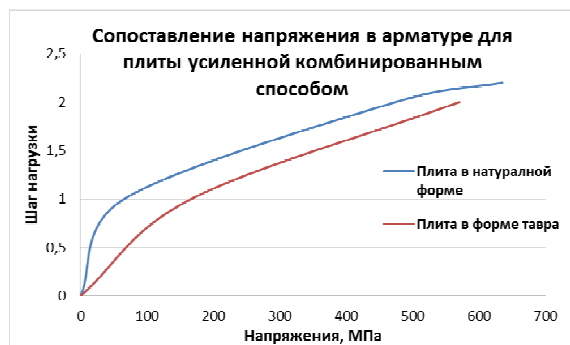
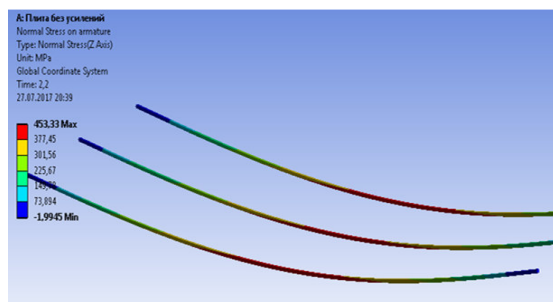


Рис.3. Сопоставление нормальных напряжений в арматуре для плиты без усиления (а), Сопоставление нормальных напряжений в арматуре для плиты, усиленной наращиванием сечения (б), Сопоставление нормальных напряжений в арматуре для плиты, усиленной комбинированным способом (в).

На рисунке 3.а показано сопоставление графиков плит без усиления пустотной плиты с плитой в форме тавра рассчитанных в ANSYS. Как можно заметить максимальные напряжения в арматуре составляют около 450 МПа и около 430 МПа соответственно. На рисунке 3.б показано сопоставление графиков плит усиленной наращиванием пустотной плиты с плитой в форме тавра рассчитанных в ANSYS. Как можно заметить максимальные напряжения в арматуре составляют около 480 МПа и около 450 МПа соответственно. На рисунке 3.в показано сопоставление графиков плит усиленной комбинированным способом пустотной плиты с плитой в форме тавра рассчитанных в ANSYS. Как можно заметить максимальные напряжения в арматуре составляют около 630 МПа и около 570 МПа соответственно.

а



б

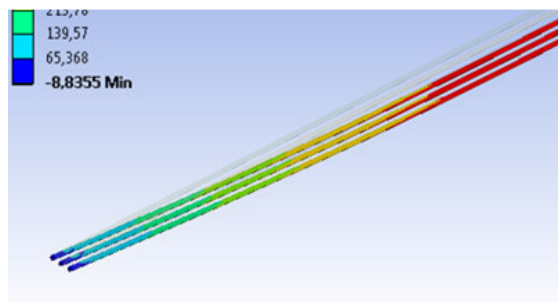


Рис. 4. Напряжения в арматуре на первом шаге нагрузки для плиты в естественной форме (а),
Напряжения в арматуре на первом шаге нагрузки для плиты в форме тавра (б).

На рисунке 4 а,б представлены напряжения в арматурных стержнях на первом шаге нагрузки.

Таблица 2-Нормальных напряжений в арматуре

Шаг нагрузки	Рассматриваемые плиты	Расчет в ANSYS натуральной плиты, напряжения, МПа	Расчет в ANSYS плиты в форме тавра напряжения, МПа	Отклонения напряжения в арматуре расчета в ANSYS натуральной пустотной плиты от расчета в ANSYS плиты в форме тавра, %
Последний	Нормальные напряжения в арматуре для плиты без усиления.	453,33	436,39	3,7
	Нормальные напряжения в арматуре для плиты, усиленной наращиванием сечения.	481,07	446,3	7
	Нормальные напряжения в арматуре для плиты, усиленной комбинированным способом.	634,66	570,25	10

В таблице 2 сведены полученные результаты нормальных напряжений в арматуре рассматриваемых плит перекрытий, для плиты в естественной форме рассчитанной в ANSYS, а так же для плиты в форме тавра рассчитанной в ANSYS. За эталон принята натуральная плита.

На рисунке 5 показано трещинообразование в плите на стадии разрушения после достижения деформации.

В результате исследования были сделаны следующие выводы:

Плита рассчитанная в ANSYS в натуральном виде более прочная и жесткая, то время как плита представленная в форме тавра, рассчитанная в ANSYS менее жесткая и прочная.

Сопоставление результатов прогибов усиленных плит и плит без усиления: близки по значениям, а так же удовлетворяют допустимой погрешности решения.

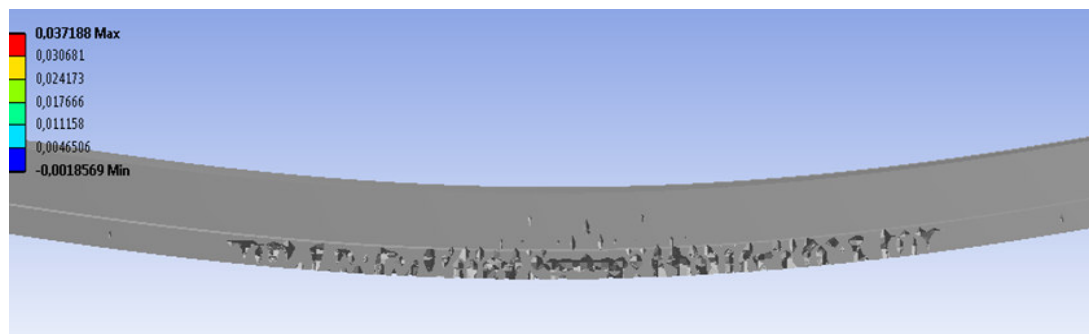


Рис.5 Появление трещин в плите

Литература:

1. Васильев А.С. Разработка алгоритмов численного моделирования балочных конструкций из композитных материалов для портовых и берегозащитных сооружений. Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2015. Т. 1. № 3 (23). С. 88-93.
2. Васильев А.С. Численное исследование предельной несущей способности конструкций из композитных материалов/ Н. А. Тарануха., А. С. Васильев // Морские интеллектуальные технологии, № 3 (29) Т. 2 2015 «Кораблестроение, информатика, вычислительная техника и управление». – Санкт-Петербург: НИЦ «МОРИНТЕХ». – 2015. - С 27-32.
3. Клованич, С.Ф. Метод конечных элементов в расчетах пространственных железобетонных конструкций. / С. Ф. Клованич, Д. И. Безушко. - Одесса: Издательство ОНМУ, 2009. - 89 с.
4. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003) [Текст]. Изд-во: Москва 2005.

*М.И. Дли, д.т.н., проф.; Е.А. Ажигина, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОИСКА В ВУЗОВСКИХ БИБЛИОТЕЧНЫХ СИСТЕМАХ

В статье рассматриваются современные методы поиска документов в ЭБС, их особенности. Приводятся основные возможности полнотекстового поиска в наиболее крупных библиотечных системах. Разработана процедура использования методов интеллектуального поиска в вузовских библиотечных системах на примере работы поисковой системы с лекционными материалами.

Ключевые слова: ЭБС, поиск, запрос, методы поиска, интеллектуальный анализ.

Всемирная информатизация привела к существенным изменениям в библиотечном деле. Одним из таких изменений является бурный рост образовательных электронных ресурсов в Глобальной сети, что способствовало реинжинирингу системы организации хранения и доступа к информации, включая научную и образовательную сферы литературы. Все большую роль в образовательной деятельности играют информационные ресурсы, которые содержат электронные коллекции научно-образовательного характера. К таким ресурсам относят электронно-библиотечные системы (ЭБС). Перечень основных ЭБС, которые представлены на информационном рынке РФ по состоянию на 2016 год,

представлен следующими системами: «Лань», «Znanium.com», «Консультант студента», «БиблиоРоссика», «Университетская библиотека онлайн», IQLib, «Юрайт», Grebennikon, ibooks.ru, IPRbooks, «БиблиоТех», «КнигаФонд», book.ru, «Руконт». Современные библиотеки имеют в большей своей части среднюю востребованность к использованию ЭБС, среди них наибольшее распространение они получают в научных библиотеках (80%), на втором месте стоят вузовские библиотеки (63,2%). При этом при распределении библиотек по типам: 82% составляют вузовские библиотеки, 5,5% - научные, 4,4% - публичные, 3,9% - библиотеки техникумов и колледжей [1]. В этих системах существенную роль играет организация поиска, которая позволяет пользователю быстро и легко найти нужный ему документ. В связи с этим актуальным становится рассмотрение перспектив использования современных методов поиска в ЭБС, которое позволит значительно увеличить количество пользователей системы и их удовлетворенность полученными результатами.

Одним из недостатков ЭБС, по мнению респондентов, выступает проблема интеграции с собственными ресурсами (34,2%). В общем случае есть четыре основных варианта интеграции с ЭБС: подключение к внешней ЭБС, создание собственной ЭБС, интеграция нескольких ЭБС и создание консорциума, в котором ЭБС будет использоваться в качестве служебной базы. Различные пути интеграции предполагают различные пути размещения файлов, что вызывает дополнительные затраты на решение задач по интеграции электронных ресурсов: временные, трудовые и материальные затраты. Для интеграции ЭБС одним из ключевых факторов является постоянство адреса (URL) документа для ссылки на него.

Каждая ЭБС имеет механизм поиска, устройство которого может быть различным, а именно: может различаться количество поисковых полей (от двух полей в ЭБС «Лань» до девяти в IQLib), количество логических операторов (от одного «И» в «БиблиоТех» до трех «И», «ИЛИ», «НЕТ» в ЭБС book.ru). Кроме того, от используемой системы полнотекстового поиска качество морфологического анализа текстов тоже может отличаться. В этом случае большое значение имеет возможность усечения справа при задании поискового запроса. Эта возможность есть не во всех системах, но некоторые, в дополнение к ней используют также усечение слева. Все вышеперечисленное приводит к вопросу о необходимости продвинутого поиска в ЭБС. Аргументом подтверждающим эту необходимость выступает: удобство для продвинутых пользователей, опровергающим – большинство пользователей Интернет привыкли вводить поисковой запрос в одну строку и не хотят тратить дополнительное время на заполнение полей, которые предоставляет расширенный поиск. 95% читателей электронных библиотек используют простой поиск для нахождения необходимых документов. Сейчас полнотекстовый поиск есть почти во всех ЭБС и алгоритм его работы приблизительно одинаков (с точностью до морфологии), но есть ЭБС (например, «IPRbooks.ru»), в которых поиск осуществляется только по одной книге, которая в данный момент просматривается пользователем. В последнем случае поиске реализуется средствами самого просмотрщика [2].

Одним из важных критериев оценки поиска является визуализация его результатов. Ключевыми в данном случае выступают следующие аспекты: наличие цитат, которые содержат поисковой термин (сниппет) и возможность искать уже в найденном ранее. Есть три основных способа вывода сниппетов: их отсутствие, вывод только первого, последовательное отображение всех сниппетов. Их использование в поисковых запросах определяется тем, что они служат для оценивания корректной работы системы и формирования запроса. Для уточнения поисковых запросов используют кластеризацию, которая на отечественном рынке пока не нашла своего отражения. Кластеризация позволит разбить найденные документы на классы по различным признакам с указанием найденных в каждом из классов результатов.

Общая структура, отображающая используемые в настоящее время в ЭБС методы поиска, представлена на рисунке 1. Наиболее распространены простой поиск, состоящий из одной строки, и расширенный, который может объединять поиск по данным из библиографического описания и полнотекстовый поиск. Также существует поиск по самой структуре ЭБС.

Особый интерес представляет метод поиска, в основе которого лежит интеллектуальный анализ данных. На рынке интеллектуальная система поиска для библиотек представлена решением корпорации ЭЛАР, а именно ПО «Индекс». Эта система организует поиск по библиографическим данным из автоматизированных библиотечных информационных систем, полнотекстовых электронных коллекций, оцифрованных фондов и других материалов и предоставляет возможность определять закономерности и выявлять результаты, осуществлять анализ и адаптацию поисковых запросов, выводить похожие материалы и т.д., для нахождения данных в большом количестве электронных ресурсов [3].

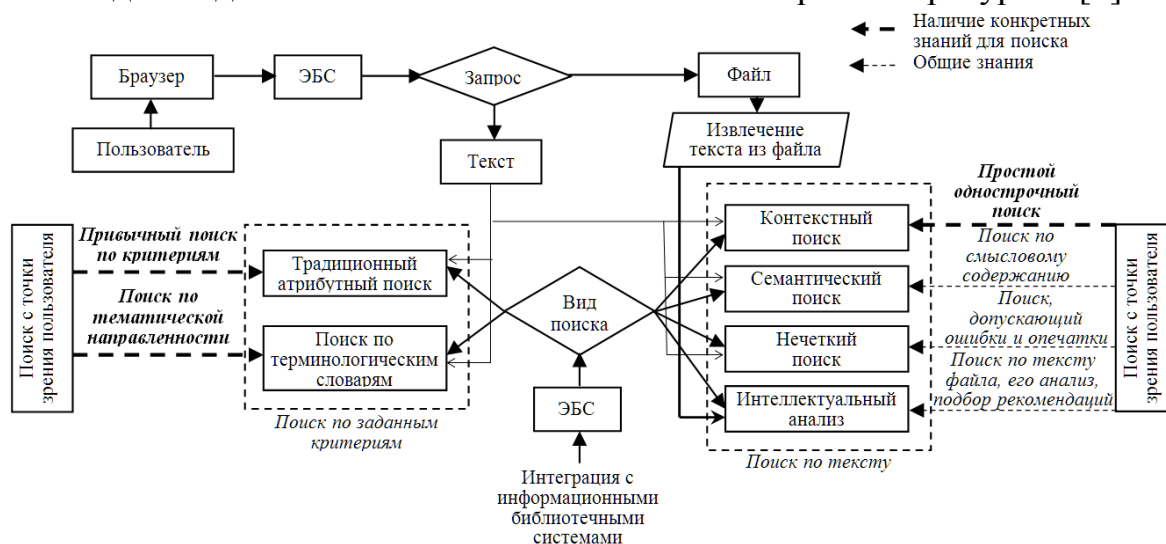


Рисунок 1 – Методы поиска в ЭБС

Особую значимость имеет интеллектуальный анализ данных (Data mining). С его помощью можно обеспечить высокоуровневое обслуживание читателей в новом формате, качественно увеличить возможности поиска и инструментов

аналитики, группировать результаты поиска и проводить анализ и адаптацию запросов с последующим предоставлением найденных похожих материалов.

Как было отмечено ранее, вузовские библиотеки в России составляют 82% от их общего количества, кроме того, образовательные ресурсы в таких библиотеках являются более востребованными, т.к. возникает необходимость предоставления актуальной и больших объемов информации для полного обеспечения образовательного процесса необходимой литературой. Одной из форм занятий в высших учебных заведениях являются лекционные, на которых студенты конспектируют материал в рукописном или электронном виде. При этом поиск литературы в ЭБС по пройденной теме возможен только по рекомендованной литературе, либо по общим результатам поискового запроса. Кроме того, даже в литературе, которую посоветовал к прочтению преподаватель, бывает достаточно сложно вычлнить необходимый для подготовки материал. Одной из причин этого является неправильный или некорректный выбор слов для реализации поискового запроса в ЭБС, если речь идет об электронной книге. Это порождает проблему качества и сложности реализации поисковых запросов.

В настоящее время основными идентификаторами в книгах служат параметры, указанные в библиографическом описании книги: автор, название, год издания, ISBN, издательство, вид издания, а также различные фильтры (новинки, интервал издания и т.д.). Полнотекстовый поиск в существующих ЭБС позволяет быстро находить документы по поисковому слову или словосочетанию с учетом морфологических особенностей языка. Основные возможности полнотекстового поиска с использованием интеллектуального анализа представлены на рисунке 2.

Интеллектуальный поиск реализован почти во всех крупных ЭБС. Перспективным направлением развития этого поиска является его адаптация под образовательный процесс. Проблема качества поискового запроса может быть решена путем формирования новой формы поисковых запросов. Как было отмечено, поиск дополнительных материалов бывает затруднителен по ряду причин. В качестве решения данного вопроса можно внедрить в ЭБС новый формат поиска по данным, а именно: перевод рукописных и электронных лекций в запрос, с целью нахождения похожих материалов с большей точностью. В настоящее время в библиотеках такая возможность не реализована, а необходимость ее внедрения продиктована следующими причинами. Во-первых, внедрение нового механизма поиска позволит привлечь к библиотеке новых читателей. Во-вторых, увеличится качество результата поисковых запросов. В-третьих, читатели смогут более точно и широко раскрыть интересующую их тему и сделать это с минимальным количеством усилий, что обеспечит их повторное использование поисковой системы.

Разработанная процедура, включающая последовательность действий для организации поискового запроса нового формата на основе интеллектуального анализа текстов (Text mining), представлена на рисунке 3 [4].

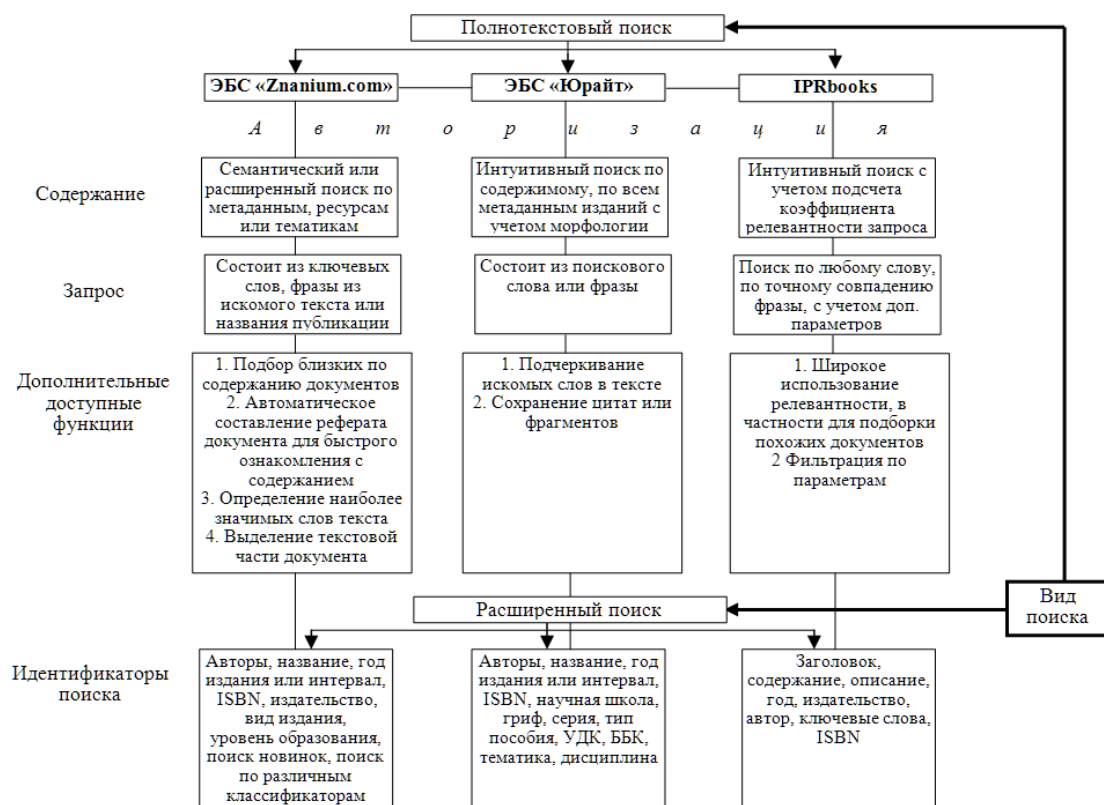


Рисунок 2 – Поиск в ЭБС

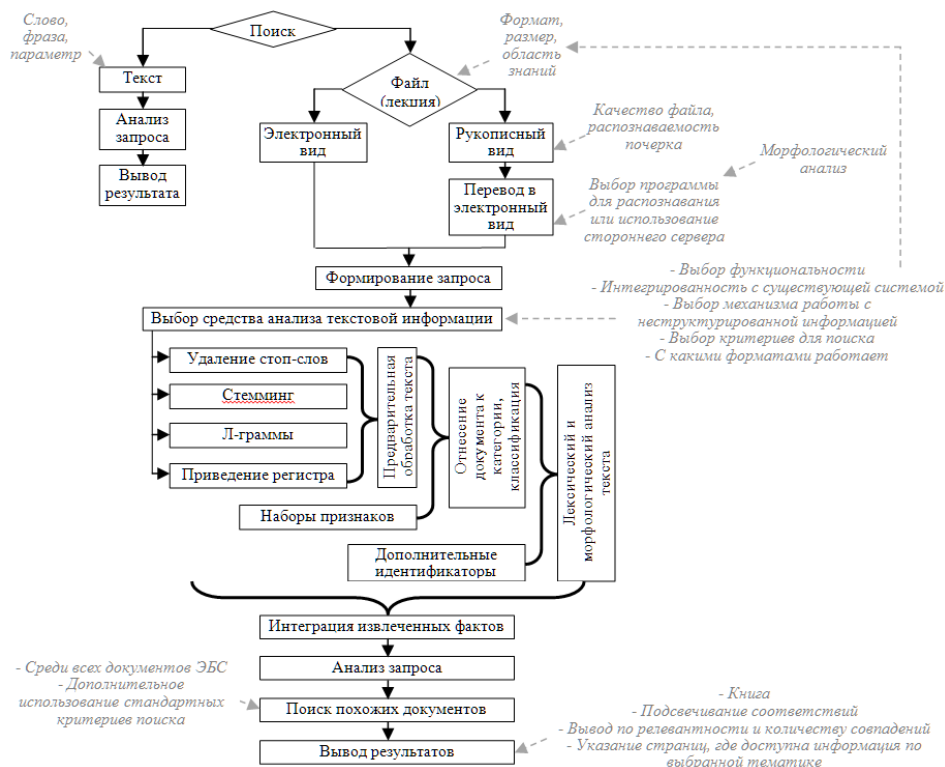


Рисунок 3 – Процедура интеллектуального анализа в ЭБС для поиска материалов по лекциям

При этом возникают следующие проблемы: вопрос предварительной подготовки текстов для быстрого поиска (фрагментация), а также выделение дополнительных идентификаторов, которыми могут выступать ключевые слова в

документе, в которых отражена тезисно основная терминология и расположенная на ряду с аннотацией; сложность визуализации найденной информации с точки зрения предоставления похожих книг или выдачи результата запроса с указанием страниц в конкретном издании, где можно прочесть найденную информацию; выбор средств для перевода текста в запрос, принцип выделения ключевых слов для реализации эффективного поиска; вопрос ограничений на объем поступающих данных.

Подводя итог, следует отметить, что, чем более развитыми и доступными являются современные технологии, тем большим спросом они пользуются. В связи с этим, рассмотрение перспективы развития интеллектуального поиска в вузовских библиотечных системах в направлении поиска похожей литературы, в основе которого лежит лекционный материал, позволит не только предоставить читателям новые возможности поиска, но и более эффективно и качественно обеспечить удовлетворение их информационных потребностей. Дальнейшие исследования могут быть продолжены в направлении уточнения и дополнения процедуры интеллектуального анализа в ЭБС для поиска материалов по лекциям, а также конкретизации отдельных ее элементов.

Литература

1 Перечень основных электронно-библиотечных систем, которые представлены на информационном рынке РФ [Электронный ресурс] // LiveJournal : URL: <http://epub3.livejournal.com/36741.html> (дата обращения 29.09.17)

2 Выбор ЭБС: вопросы интеграции и сервисов [Электронный ресурс] // Российская ассоциация электронных библиотек : URL: http://www.aselibrary.ru/press_center/journal/ubook/ubook3226/ubook32264233/ubook322642334290/ubook3226423342904291/ (дата обращения 29.09.17)

3 Интеллектуальные системы поиска по электронным библиотечным ресурсам [Электронный ресурс] // ЭЛАР : URL: http://www.elar.ru/resheniya/biblioteki/avtomatizatsiya_raboty_bib/intellektualnye_sistemy_poiska_po_elektronnym_bibliotecnym_resursam/ (дата обращения 29.09.17)

4 Методы предварительной обработки текста [Электронный ресурс] // МегаПредмет : URL: <http://megapredmet.ru/1-53369.html> (дата обращения 29.09.17)

*В.А. Драбов, к.т.н., доцент; О.А. Ходенков, магистр 1 курса;
(ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, Смоленск, Россия)*

СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЗАГРУЗКИ РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕЙ БАЗЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассмотрен процесс разработки сетевой модели на различных этапах построения графиков загрузки ремонтно-обслуживающих баз в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: сельское хозяйство, сетевая модель, ремонтно-обслуживающая база, граф, дуга модели.

Решение задач, поставленных перед сельским хозяйством страны, неразрывно связано с постоянным ростом энерговооруженности сельскохозяйственного производства, систематическим повышением технико-экономических показателей использования машин и оборудования, снижения затрат на поддержание МТП в работоспособном состоянии.

Для достижения высокой наработки машин в сельском хозяйстве и снижения себестоимости продукции необходим комплекс организационных и технологических мероприятий, направленных на обеспечение постоянной технической готовности машин. С увеличением количества, ростом сложности и стоимости машин особую значимость приобретает их рациональное техническое обслуживание и диагностирование.

Задача ремонтно-обслуживающей базы - обеспечить высокую техническую готовность машинно-тракторного парка и сельскохозяйственного оборудования. В ремонтно-обслуживающих подразделениях сельскохозяйственных предприятий (ремонтная мастерская, автомобильный гараж, машинный двор, нефтесклад, пункты технического обслуживания машинно-тракторного парка и оборудования животноводческих ферм) выполняются работы по техническому обслуживанию и ремонту техники.

В настоящее время сетевые модели находят широкое применение на различных этапах построения графиков загрузки ремонтно-обслуживающих баз в сельском хозяйстве.

В отличие от транспортных сетей дуги сетевых моделей характеризуются не длиной, а длительностью выполнения работ.

Для разработки сетевой модели осуществления некоторого процесса, необходимо:

- выделить в данном процессе элементарные работы;
- определить времена выполнения работ;
- составить технологическую последовательность выполнения работ,

зависящую от внутренней организации сложного процесса.

Процесс разработки сетевой модели сводится к построению графа. Вершины графа называют событиями. Дуги сетевой модели являются всегда ориентированными и представляют собой реальные или фиктивные операции. Операции называются реальными, если они означают некоторую физически выполняемую работу. Фиктивные операции вводятся для того, чтобы указать, что одна операция (или событие) предшествует другой операции (событию).

Подобно источнику и стоку в транспортной сети в сетевых моделях выделяют одно начальное и одно конечное событие. Сетевая модель не может содержать контуров. Если допустить, что цепь событий, начинающаяся событием i , завершается этим же событием, то приходим к выводу, что конечное событие окажется недостижимым. На практике бесконечных процессов не бывает, поэтому наличие в сетевой модели контура свидетельствует о том, что при его разработке была допущена ошибка. Отсутствие в сетевой модели контуров позволяет перенумеровать события таким образом, чтобы для каждой дуги (v_i, v_j) соблюдалось условие $i < j$.

Работу ремонтно-обслуживающей базы сельскохозяйственного предприятия можно изображать на моделях сплошными линиями, а фиктивные - пунктирными.

Символ t_i означает продолжительность i -й работы ($i = \overline{1, 18}$). Как видим, сетевой график включает 14 реальных работ 4 фиктивных.

Для расчёта наиболее ранних сроков наступления событий необходимо двигаться вдоль дуг графа от начального события к конечному и присваивать каждому событию время T_j . Для начального события, имеющего номер один, полагается $T_1 = 0$. Для последующих событий расчет T_j производится по формуле:

$$T_j = \max_{j:(v_i, v_j) \in G} \{T_i + t_{ij}\},$$

где t_{ij} - продолжительность выполнения работы, соединяющей соседние события v_i и v_j ($i < j$).

Приведенная формула определяет алгоритм расчета наиболее ранних сроков наступления событий.

Рассмотрим сетевую модель, приведенную на рисунке 1.

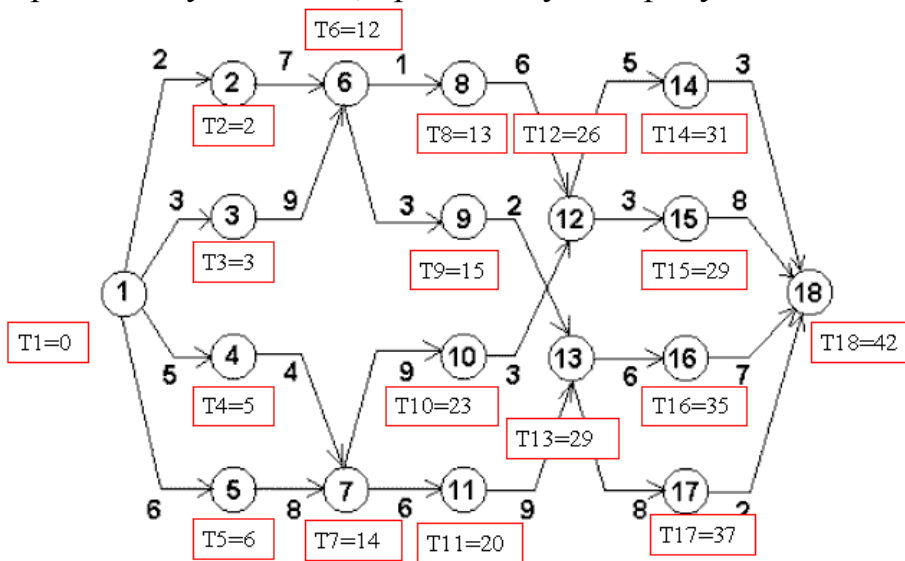


Рисунок 1 - Модель ранних сроков наступления событий

Она содержит 18 событий и 24 работы. Времена выполнения работ t_{ij} указаны цифрами возле дуг и в таблице 1. Расчёт величин T_2, T_3, T_4 и T_5 не представляет труда. Поскольку $T_1 = 0$, то ранние сроки наступления событий оказываются равными продолжительности выполнения единственной работы, соединяющей начальное событие и соответственно события с номерами 2, 3, 4 и 5.

Несколько сложнее вычисляются значения времён T_6 и T_7 . В соответствии с приведённой выше формулой имеем:

$$T_6 = \max \{T_2 + t_{2,6}; T_3 + t_{3,6}\} = \max \{2 + 7; 3 + 9\} = \max \{9; 12\} = 12;$$

$$T_7 = \max \{T_4 + t_{4,7}; T_5 + t_{5,7}\} = \max \{5 + 4; 6 + 8\} = \max \{9; 14\} = 14$$

Продолжая процесс дальше, получим оптимистическую оценку времени выполнения всего комплекса работ, т.е. в нашем случае времени наступления события с номером 18: $T_{18} = 42$.

Таблица 1 - Времена выполнения работ

Номер работы	Номера событий		t_{ij}	Номер работы	Номера событий		t_{ij}
	i	j			i	j	
1	1	2	2	13	8	12	6
2	1	3	3	14	9	13	2
3	1	4	5	15	10	12	3
4	1	5	6	16	11	13	9
5	2	6	7	17	12	14	5
6	3	6	9	18	12	15	3
7	4	7	4	19	13	16	6
8	5	7	8	20	13	17	8
9	6	8	1	21	14	18	3
10	6	9	3	22	15	18	8
11	7	10	9	23	16	18	7
12	7	11	6	24	17	18	2

При определении наиболее поздних сроков наступления событий анализ модели производится в обратной последовательности – от конечного события к начальному.

Конечному событию v_n присваивают значения заданного срока завершения работ L_n или полагают $L_n = T_n$. Затем для значений $i = n-1, n-2, \dots, 1$ вычисляются наиболее поздние допустимые сроки наступления событий:

$$L_i = \min_{j: (v_i, v_j) \in G} \{L_j - t_{ij}\},$$

где t_{ij} - продолжительность выполнения работы при переходе от события v_i к событию $v_j (i < j)$.

Найдём наиболее поздние сроки наступления событий для сетевой модели, представленного на рисунке 1 для этого изобразим модель ещё раз.

Рисунок 2, событию v_{18} , являющемуся конечным, присвоим значения заданного срока $L_{18} = T_{18} = 42$.

Анализируя события, предшествующие событию v_{18} , видим, что для того, чтобы оно произошло в момент времени $L_{18}=42$, необходимо, чтобы остальные события произошли не позже чем:

$$\text{событие } v_{14}: L_{14} = L_{18} - t_{14,18} = 42 - 3 = 39;$$

$$\text{событие } v_{15}: L_{15} = L_{18} - t_{15,18} = 42 - 8 = 34;$$

$$\text{событие } v_{16}: L_{16} = L_{18} - t_{16,18} = 42 - 7 = 35;$$

$$\text{событие } v_{17}: L_{17} = L_{18} - t_{17,18} = 42 - 2 = 40;$$

Для событий v_{12} и v_{13} соответственно получим:

$$L_{12} = \min \{ L_{14} - t_{12,14}; L_{15} - t_{12,15} \} = \min \{ 39 - 5; 34 - 3 \} = \min \{ 34, 31 \} = 31;$$

$$L_{13} = \min \{ L_{16} - t_{13,16}; L_{17} - t_{13,17} \} = \min \{ 35 - 6; 40 - 8 \} = \min \{ 29, 32 \} = 29.$$

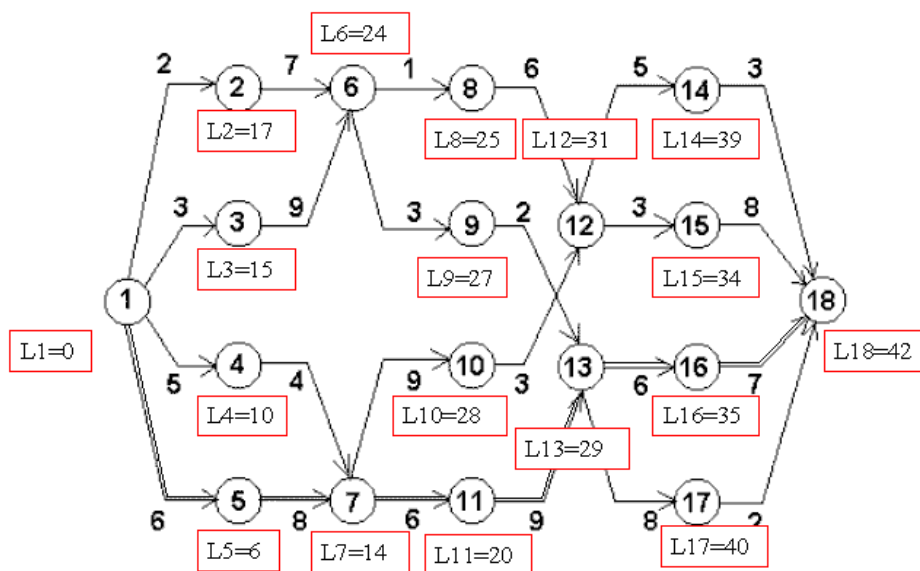


Рисунок 2 - Модель наиболее поздних сроков наступления событий

Наиболее ранний срок T_j можно интерпретировать как длину пути наибольшей длины от начального события до события с номером j . Разность $L_n - L_j$ - это длина пути наибольшей длины от события u_j до конечного события.

Полным резервом времени, выполнения работы $r(v_i, v_j)$ называется величина:

$$r_{ij} = L_j - T_i - t_{ij}.$$

Полный резерв означает, что продолжительность выполнения работы $e(v_i, v_j)$ может быть увеличена, причем если это увеличение не превысит значения r_{ij} , то срок выполнения всего комплекса работ не изменится.

Критическим путём сетевой модели называется путь, соединяющий начальное и конечное события (то есть *полный путь*), имеющий наибольшую длину. Все работы, лежащие на критическом пути, являются критическими. Полный резерв времени любой работы критического пути равен нулю. На рисунке 1 и рисунке 2 критический путь обозначен двойной линией.

Выводы:

1. Отыскание критического пути и резервов времени ремонтно-обслуживающей базы при выполнении работ является основной задачей исследования сетевой модели. Критический путь указывает на то, какие работы могут в первую очередь повлиять на сроки завершения всего комплекса работ.

2. Резервы позволяют решить задачу оптимального управления существующими ресурсами. В частности, исполнители тех работ, для которых имеются наибольшие резервы времени, находящихся на критическом пути.

3. Во многих случаях при организации комплексов работ необходимо учитывать то обстоятельство, что комплексы должны выполняться многократно, по замкнутому циклу.

Литература

1. Большов Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М., Наука, 1989.
2. Сорокина В.П. Моделирование систем вооружений и боевых действий войск ПВО СВ. Киев, ВА ПВО СВ, 1992.
3. Волосенков В.О., Драбов В.А., Модель оценки надежности вычислительной системы реального времени. Статья. Оборонная техника, 2006, № 3-4.
4. Скачков С.А., Драбов В.А. (и др.) Основы компьютерного проектирования и моделирования РЭС. Смоленск: ВА ВПВО ВС РФ, 2010.-423с.
5. Новиков А.В. (и др.) Диагностика и техническое обслуживание машин. Минск БГАТУ, 2011.-344 с.

**А.А. Емельянов, д.э.н., проф.; О.В. Булыгина, к.э.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)**

КОМПЛЕКСНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-07-02935 А)

В статье рассматриваются возможности реализации генетических алгоритмов в имитационных моделях при исследовании эволюционных процессов в жизненных циклах сложных систем, в том числе информационно-управляющих комплексов, которые в процессе развития имеют четко выраженные поколения. В качестве инструментального средства для создания комплексных моделей используется система Actor Pilgrim.

Ключевые слова: имитационное моделирование, генетический алгоритм, интеллектуальные вычисления, акторно-сетевая теория, функция приспособленности.

Введение. Имитационное моделирование, начиная с 1961 г., использовалось в основном в технических науках, для выработки технических решений. Но в последние 30 лет компьютерная имитация стала применяться и в социально-экономических исследованиях. Тогда же, независимо от имитационного моделирования, возникла акторно-сетевая теория, применяемая в разных областях исследований науки и технологий (*ANT – actor-network theory*), а затем некоторые исследователи стали использовать ее в социально-экономических моделях [1]. Рассмотрим теоретический аппарат, который поможет «перекинуть мостик» между методологиями двух разных, на первый взгляд, типов: имитационное моделирование и генетических алгоритмы.

Актор – это виртуальное модельное представление элементарной динамической единицы модели, например, представление сигнала, транспортной единицы, телеграммы, агентной программы и даже человека в каких-то отношениях, например, в очереди, в потоке пассажиров. При этом актор имеет продолжительность жизни (т.е. у него есть возраст), моменты рождения и смерти; он способен порождать или уничтожать другие акторы. В смысле таких свойств актор немного похож на транзакт в пакете *GPSS World* и некоторые объекты в *Any Logic*.

Но, в то же время, актор – это трансформер (*transformer*), который «способен» к эволюции [2] и перевоплощению, как в отношении «саморазвития», так и отношении трансформации процессов, в среде которых он существует, и моделей этих процессов. В таком виртуальном процессе эволюции можно наблюдать как точки бифуркации, так и возникновение аттракторных ограничений на область возможных действий актора и развития процессов, в рамках которых он функционирует. Актор может быть наделен различными атрибутами, в том

числе и атрибутами искусственного интеллекта, поскольку он способен порождать семейства акторов-детей, представители которых затем могут порождать акторов-внуков, и т.д. Соответственно, можно применять генетические алгоритмы наследования свойств, причем возможны скрещивания или мутации акторов. С применением *ANT* создан моделирующий пакет *Actor Pilgrim*¹, где модельные акторы обладают всеми вышеперечисленными свойствами.

Основные понятия. Генетический алгоритм (англ. *genetic algorithm*) – это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе [4]. Является разновидностью эволюционных вычислений, с помощью которых решаются оптимизационные задачи с использованием методов и эффектов естественной эволюции, таких как: а) наследование, б) мутации, в) отбор, г) скрещивание.

Особь: а) в общебытовом смысле – особа, лицо; б) конкретный живой организм (животный или растительный, в т.ч. одноклеточный). **Популяция** – конечное множество особей. Все особи, входящие в популяцию, в генетических алгоритмах представляются хромосомами с закодированным в них множествами параметров задачи, т.е. решений, которые иначе называются точками в пространстве поиска. **Хромосомы** (другие названия – цепочки или кодовые последовательности) – это упорядоченные последовательности генов. **Ген** (также называемый свойством, знаком или детектором) – «атомарный элемент» гено-типа, в частности, хромосомы. Пример хромосомы и гена для двоичного способа кодирования параметров задачи показан на рис. 1.

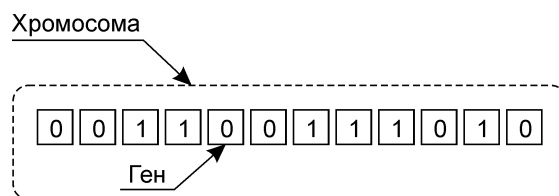


Рис. 1. Хромосома и ген

Генотип – это набор генов организма. В то же время генотип – это структура, набор хромосом данной особи. Следовательно, особями популяции могут быть генотипы либо единичные хромосомы (в довольно распространенном случае, когда генотип состоит из одной хромосомы). **Фенотип** – это внешние проявления генов организма, набор признаков организма, это все то, что про особь, представляющую генотип, можно увидеть, посчитать, измерить, описать и т.д. В то же время фенотип – это набор значений, соответствующих данному генотипу, т.е. декодированная структура или множество параметров задачи генетического алгоритма (решение, точка пространства поиска).

Пример генотипа и фенотипа показан на рис. 2. Каждая хромосома может

¹ Юсупов Р.М. (член-корреспондент РАН): «Для совместного исследования временной, пространственной и финансовой динамики часто предпочтение отдается специализированному пакету *Actor Pilgrim*» [3].

кодировать только один параметр задачи генетического алгоритма. Но так как в одном генотипе может быть несколько хромосом, то один генотип может закодировать несколько параметров. Например, генотип включает в себя 2 хромосомы, каждая хромосома состоит из 3 генов, значит, первые 3 гена этого генотипа кодируют один параметр, а вторые 3 гена – второй параметр.



Рис. 2. Генотип и фенотип

Функция приспособленности (англ. *fitness function*), иначе называемая функцией оценки – это очень важное понятие в генетических алгоритмах. Она представляет меру приспособленности данной особи в популяции. Эта функция играет важнейшую роль, поскольку позволяет оценить степень приспособленности конкретных особей в популяции и выбрать из них наиболее приспособленные (т.е. имеющие наибольшие значения функции приспособленности) в соответствии с эволюционным принципом выживания «сильнейших» – лучше всего приспособившихся). Функция приспособленности также получила свое название непосредственно из генетики. Она оказывает сильное влияние на функционирование генетических алгоритмов и должна иметь точное и корректное определение, поскольку в теории управления функция приспособленности может принимать вид функции погрешности, а в теории игр – стоимостной функцией.

На каждой итерации генетического алгоритма приспособленность каждой особи данной популяции оценивается при помощи функции приспособленности, и на этой основе создается следующая популяция особей, составляющих множество потенциальных решений проблемы, например, задачи оптимизации. Очередная популяция, полученная в *GA*, а к вновь создаваемой популяции особей применяется термин *поколение* или название «поколение потомков». Так может появиться очередная версия информационно-управляющей системы.

Основная задача генетического алгоритма. Задача, решаемая генетическим алгоритмом, формализуется таким образом, чтобы её решение могло быть закодировано в виде вектора–генотипа генов, где каждый ген может быть битом, числом или неким другим объектом. Обычно в реализациях генетического алгоритма (*GA*) предполагается, что генотип имеет фиксированную длину. Однако существуют вариации *GA*, свободные от этого ограничения.

Схема простейшего *GA* показана на рис. 3. Некоторым, обычно случайным образом создаётся множество генотипов начальной популяции. Они оцениваются с использованием функции приспособленности, в результате чего с каждым генотипом ассоциируется определённое значение (приспособленность), которое определяет насколько хорошо фенотип, описываемый им, решает поставленную задачу *GA*. При выборе функции приспособленности важно следить,

чтобы её рельеф был гладким.

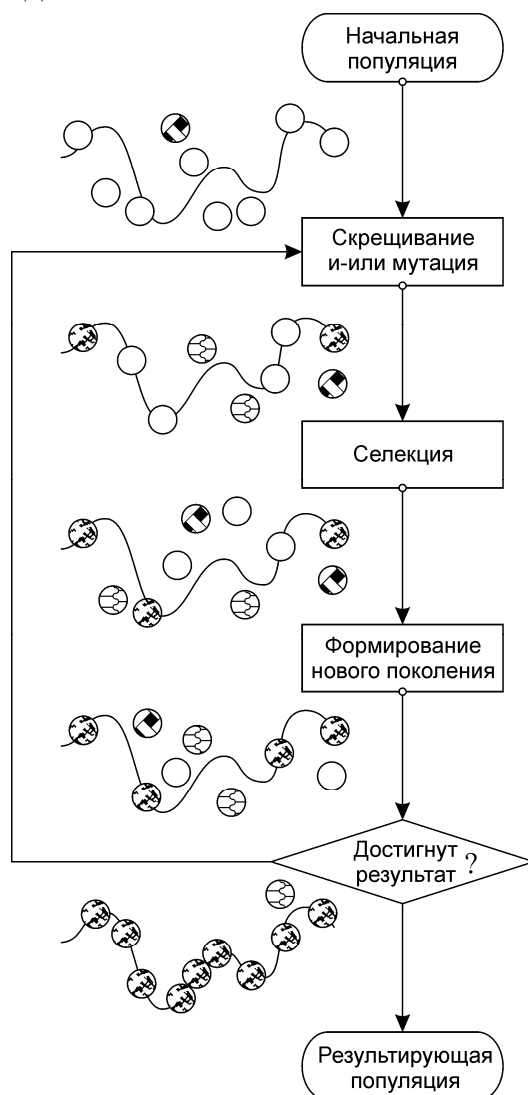


Рис. 3. Общая схема генетического алгоритма

Из полученного множества решений (поколения) с учётом значения «приспособленности» выбираются решения (обычно лучшие особи имеют большую вероятность быть выбранными), к которым применяются генетические операторы (в большинстве случаев «скрещивание» – *crossover* и «мутация» – *mutation*), результатом чего является получение новых решений. Для них также вычисляется значение приспособленности, и затем производится отбор («селекция») лучших решений в следующее поколение.

Этот набор действий повторяется итеративно. В результате имитируется «эволюционный процесс», продолжающийся несколько жизненных циклов (поколений), пока не будет выполнен критерий остановки алгоритма. Такими критериями могут быть: а) нахождение глобального или субоптимального решения; б) исчерпание числа поколений, отпущенных на эволюцию; в) исчерпание времени, отпущенного на эволюцию.

Реализация генетических алгоритмов в пакете Actor Pilgrim. Каждый актор имеет поле параметров, где для реализации генетических функций и эффектов есть следующие возможности: предоставлены восемь 32-разрядных пе-

ременных (чисел *long* или бинарных кодов *unsigned*), восемь 64-разрядных переменных (чисел *double*) и, если стандартных средств Actor Pilgrim недостаточно, то разработчикам моделей доступно основное свойство актора – он является программой (а не таблицей как в GPSS), и он не только может обращаться к внешним программным функциям и внешним переменным (т.е. за пределами адресного пространства собственно имитационной модели), но он может быть и преобразован.

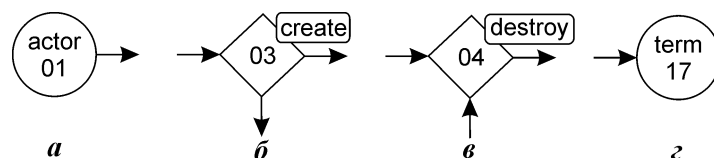


Рис. 4. Реализация генетических инструментов в узлах имитационной модели

Реализация типовых элементов в общей схеме генетического алгоритма выполняется в рамках стандартных узловых процессов *Actor Pilgrim* (рис. 4): начальная популяция посредством узла *actor* (рис. 4а), скрещивание, наследование и мутация – *create* (рис. 4б), селекция – *destroy* (рис. 4в), конечная популяция – *term* (рис. 4г).

В качестве заключения. Работы по применению методов искусственного интеллекта были начаты после исследования общесистемных свойств эволюции и жизненных циклов информационно-управляющих систем (ИУС) с учетом возникновения точек бифуркации и аттракторных ограничений не только технико-технологического типа, но возникающих по экономико-организационным причинам [2]. Далее в состав средств имитационных моделей в *Actor Pilgrim* была введена особая программная функция для принятия решений в процессе прогона модели – нечеткий логический контроллер, вызываемый в узлах имитационной модели [5]. После этих шагов введение аппарата генетических алгоритмов в имитационную модель эволюции жизненного цикла проекта ИУС позволяет более обоснованно прогнозировать развитие и смену версий ИУС, или, по сути вышеизложенного, «популяций».

Литература

1. Latour B. Reassembling the social: an introduction to actor network theory. Oxford: Oxford University Press Inc., 2005. – 302 p.
2. Булыгина О. В., Емельянов А. А. Синергия и эволюция информационных систем в управлении холдингом // Прикладная информатика. 2016. Том 11. № 2 (62). С. 85–98.
3. Национальное общество имитационного моделирования России – начало пути: Интервью Р. М. Юсупова, члена-корреспондента РАН, директора СПИИ РАН // Riga: CAD/CAM/CAE Observer, 2012, № 2 (70), pp. 10–18.
4. Practical Handbook of Genetic Algorithms: Applications. Edited by L.D. Chambers. Florida: Chapman & Hall/CRC Inc., 2001. – 536 p.
5. Emelyanov A., Bulygina O., Dli M., Emelyanova N. Simulation modeling and fuzzy logic in real-time decision-making of airport services // Journal of Applied Informatics. 2017. Vol. 12. No. 2 (68). P. 99–105.

К.В. Захарченков, к. т. н., Т.В. Мрочек, к. т. н.

(ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев)

ПЛАНИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ СКЛАДА В ООО «СМИТ-ЯРЦЕВО»

Предложен алгоритм решения задачи управления складскими запасами, характеризующимися зависимым спросом, учитывающий необходимость наличия запасов материалов за определенный срок до отгрузки продукции. Алгоритм предусматривает определение даты и объема заказа недостающих материалов на основе матрицы потребностей в материалах.

Ключевые слова: оптимизация, матрица потребностей в материалах, объем заказа, дата заказа, алгоритм планирования материальных потребностей склада.

ООО «СМИТ-Ярцево» (Россия) занимается производством всего диапазона труб (в первую очередь ПИ-трубы (предварительно изолированной трубы)), фасонных изделий и комплектующих для теплоизолированных трубопроводов.

Проблема управления складскими запасами является весьма острой, поскольку работы по укладке и ремонту труб имеют сезонный характер, и в период наивысшего пика заказов своевременность выполнения заказов зависит в первую очередь от слаженной работы склада, на котором должны храниться материалы и комплектующие для производства труб.

Задача управления складом с учетом специфики данного производства заключается в планировании поставок материалов таким образом, чтобы иметь в запасах только то, что непосредственно требуется для выполнения плана текущего производства. В то же время не должно быть простоев производства из-за отсутствия материалов (каждая позиция заказанной продукции должна быть полностью укомплектована не позднее, чем за 3 дня до отгрузки). При этом объем склада для некоторых видов материалов ограничен.

Таким образом, необходимо разработать систему управления запасами материалов, на которые имеется зависимый спрос, и при этом спрос можно прогнозировать, опираясь на планы производства, формируемые на основе поступающих от менеджеров заявок на заказанную продукцию.

Данная задача сводится к получению ответов на два основных классических вопроса теории управления запасами:

1) когда закупать (производить) – на основе определения момента времени заказа, когда появляется недостаток j -го вида материала на складе $T_{закj}$;

2) сколько закупать (производить) – на основе определения объема заказа j -го вида материала $Q_{закj}$.

Перечень типов продукции $prodType_i$ определяется в соответствии с сортаментом ООО «СМИТ-Ярцево».

Для каждого выпускаемого типа изделия $prodType_i$ (i – количество типов продукции, $i = 1..10$) имеется перечень норм расхода материалов $materialQuota_{ij}$ (j – количество типов материалов, $j = 1..20$), необходимых для производства изделия типа $prodType_i$.

Каждый тип изделий имеет собственный набор характеристик $prodChar_{ik}$ (k – количество характеристик изделия типа $prodType_i$) – диаметр трубы, диаметр оболочки и т. д.

Набор характеристик изделия определяет характеристики $materialChar_{jl}$ (l – количество характеристик материала типа j -го типа) и норму расхода используемых материалов $materialQuota_{ij}$.

$$\begin{aligned} materialChar_{jl} &= f(prodChar_{ik}); \\ materialQuota_{ij} &= g(prodType_i, prodChar_{ik}). \end{aligned}$$

Характеристики $prodChar_{ik}$ и нормы расхода материалов на производство каждого типа продукции $prodChar_{ik}$ определяются отраслевыми ГОСТами.

В поступающих заявках, на основе которых формируются планы производства труб по линиям и фасонных изделий, имеется перечень позиций продукции $\{Prod_f\}$ с указанием для каждой позиции даты отгрузки $\{SaleDate_f\}$ (f – номер позиции в списке продукции).

Для решения поставленной задачи авторами был предложен следующий алгоритм планирования материальных потребностей склада.

1) Заполняется матрица потребности в материалах $\|materialNeeds_{ff}\|$, элементы которой определяются по следующему принципу:

– если ранее в перечне позиций продукции не встречалось изделие, для которого необходим материал с теми же характеристиками, что и для текущей позиции, элементу матрицы $materialNeeds_{ff}$ присваивается значение, равное величине запаса данного материала на складе;

– если ранее встречалось изделие $Prod_b$ (b – номер предшествующей f позиции, для производства которой требуется тот же материал, что и для позиции $Prod_f$ ($b < f$)), для производства которого необходим материал с такими же характеристиками, как и для текущей позиции, то элементу матрицы $materialNeeds_{ff}$ присваивается значение, равное значению элемента данной матрицы за вычетом количества материала, необходимого для производства:

$$materialNeeds_{ff} = \begin{cases} V_j, \forall f - materialChar_{uj} \neq materialChar_{ff}, \forall u < f; \\ V_j - materialNeeds_{uj}, \forall f - materialChar_{uj} = materialChar_{ff}, \exists u < f. \end{cases}$$

2) Осуществляется группировка позиций с одинаковым номером договора.

3) Для каждого вида материала, которого недостаточно на складе для производства продукции $Prod_f$, для которой $materialNeeds_{ff} < 0$, рассчитывается дата заказа как дата отгрузки $SaleDate_f$ по заявке менеджера, минус 3–5 дней в зависимости от вида материала (определяется для каждого материала как рациональное значение параметра алгоритма).

Разработанный алгоритм планирования материальных потребностей склада реализован средствами Microsoft Excel и редактора VBA и внедрен в ООО «СМИТ-Ярцево».

Структура программного обеспечения для реализации разработанного алгоритма представлена на рисунке 1. На рисунке 2 представлен вид пользовательской формы для выбора параметров алгоритма и вариантов возможных действий программы на основе выполненных расчетов.

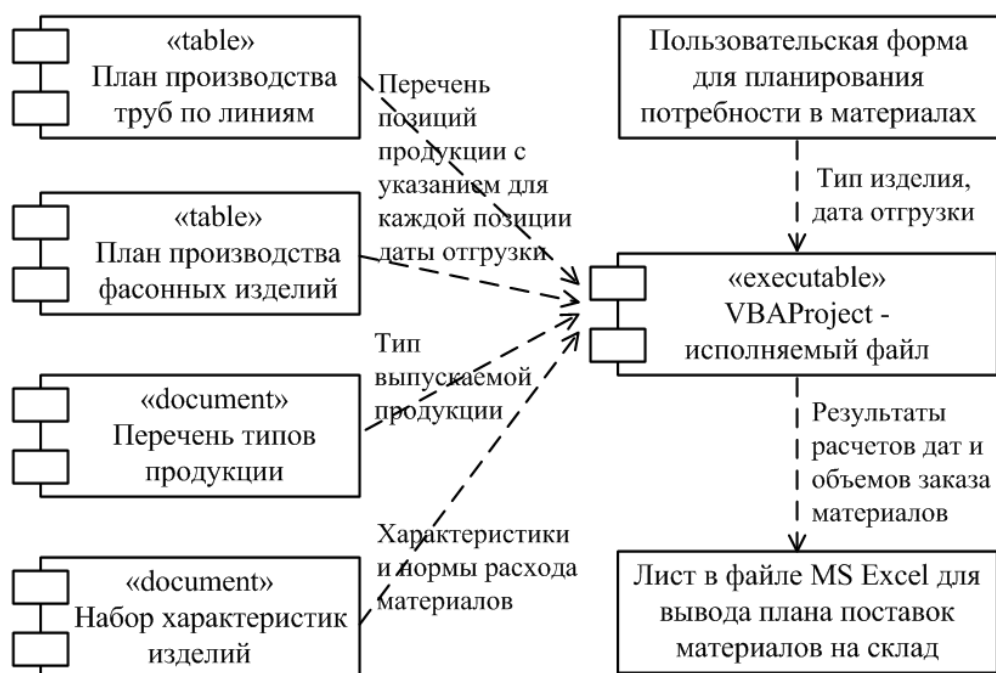


Рисунок 1 – Структура программного обеспечения для реализации алгоритма планирования материальных потребностей склада

Планирование поставки труб

Источник

☒ ПИ-труба ☐ Фасонные изделия

☐ ПИ-труба и ФИ

Поставка должна быть выполнена не позднее, чем за дней до отгрузки продукции

Рассчитать потребность Найти остатки на складе

Заявка на комплектацию трубы Состояние комплектации трубы

Рисунок 2 – Форма для планирования потребности в материалах

Разработанный алгоритм позволил существенно снизить издержки от хранения и обеспечить наличие «точно вовремя» необходимых материалов.

ПРОЕКТ ОРГАНИЗАЦИИ ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОТБОРА ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

В статье рассматриваются особенности реализации технологии организации хранилища данных на основе эволюционной модели отбора целевой информации. Сформулированы цели и задачи выполняемых проектных работ, определены их актуальность и область применения. Приведены сведения об используемых подходах к решению задач, а также сведения о других проектах и исследованиях по данной тематике.

Ключевые слова: хранилище данных, интеллектуальный агент, тематический поиск, эволюционная модель, генетический алгоритм, база данных, инновация

Введение. Обоснование рациональных подходов к организации тематического поиска информации на основе автоматизированной семантической обработки больших массивов научно-технических данных является фундаментальной научной проблемой. Очевидно, что нужны эффективные методы не только для создания и наполнения таких массивов, но и для перманентной и оперативной актуализации накопленной информации отфильтрованными, классифицированными и ассоциированными данными.

Цели и задачи проекта. В ТвГТУ в настоящее время выполняется ряд проектных работ по созданию технологий организации хранилища данных на основе эволюционной модели отбора целевой информации. В этих работах делается попытка предложить нестандартные подходы, основанные на ряде эвристик.

Цель – разработать теоретическую основу и пилотную реализацию технологии организации и автоматизированного пополнения хранилища данных заданного тематического сегмента

В задачи выполняемых работ входят: моделирование эволюционного процесса генерации запросов и фильтрации результатов поиска в условиях применения синтаксических, семантических и прагматических улучшений поискового паттерна; исследование эффективности используемого генетического алгоритма; исследование и обоснование модели поведения поискового интеллектуального агента; создание пилотного хранилища инновационных разработок с соответствующими пользовательскими и программными интерфейсами.

Актуальность работ. При выполнении тематического поиска информации пользователи неизбежно сталкиваются со следующими объективными проблемами:

- Трудность подбора согласованных ключевых понятий для формулировки поисковых запросов.
- Ограниченность структурной сложности поисковых запросов.
- Разрозненность и неоднородность искомых сведений, наличие альтернатив с сопоставимой релевантностью.

Возникают следующие вопросы: Как совместно оценить релевантность документов, найденных разными запросами? Является ли ранжирование ре-

зультатов поисковой системы корректным с позиций ожиданий пользователя? Все ли результаты, соответствующие ожиданиям пользователя, попали в число доступных для непосредственной оценки? Все ли искомые данные (например, инновационные решения) найдены вообще? Обнаружены ли эффективные решения, которые относятся к другим областям применения, но могут быть успешно использованы как инновации в данной области?

Невозможно однозначно ответить на эти вопросы в рамках тривиальных решений.

Новизна решения поставленных задач заключается в следующем:

- Применение эволюционной модели процесса генерации тематических поисковых запросов и фильтрации результатов поиска, основанной на вычислении и оценке групповой полезности релевантных документов.
- Адаптивное выполнение поисковым агентом синтаксических, семантических и прагматических улучшений поискового паттерна.
- Формирование динамического хранилища тематических данных для перманентной и оперативной актуализации накопленной информации.

Область применения. Стимулирование деловой активности и привлечение инвестиций являются важными и приоритетными задачами для любых регионов и прикладных областей. Предлагаемые в проекте модели и методы работы с хранилищами данных могут быть использованы для информационной поддержки предприятий малого бизнеса, бизнес-инкубаторов, стартапов, региональных промышленных предприятий, образовательных учреждений, органов управления. При этом могут решаться следующие прикладные задачи:

- Определение характеристик новых направлений при бизнес-планировании.
- Прогнозирование технологического развития в отрасли, оценка возможностей производства высокотехнологичной продукции.
- Предоставление актуальных данных о технических, экономических, социальных и других характеристиках инноваций, необходимых экспертным советам и группам.

Основные используемые подходы. Ниже кратко описаны подходы и методы, которые используются при выполнении проектных работ.

Моделирование эволюционного процесса генерации запросов и фильтрации результатов поиска предусматривает использование подхода, основанного на оригинальном генетическом алгоритме (ГА), формирующего устойчивую и эффективную популяцию поисковых запросов – адекватный поисковый образ документа. Начальная популяция состоит из хромосом – поисковых запросов, случайно образованных из ключевых слов и понятий исходного поискового образа. Кроссинговер реализуется дискретной рекомбинацией, которая соответствует обмену ключевыми словами (или их синонимами) между запросами. Наиболее адекватная операция мутации есть вероятностная замена ключевого слова в запросе его синонимом. В ходе исследовательских работ решается вопрос кодирования хромосом (запросов). Должны быть введены условия применения синтаксических, семантических и прагматических улучшений поискового

паттерна (bias-модификации). К первым относятся стоп-листы. Ко вторым – маркеры запроса (ключевые понятия, обязательно присутствующие в запросе). К третьим – формальный компонент фитнес-функции, определяющий полезность результата (инновационный потенциал искомого объекта или анализируемого процесса). Базовая фитнес-функция учитывает авторитетность результата, семантическое соответствие документа поисковому паттерну, ранжирование поисковой системы.

Исследование эффективности ГА генерации запросов и фильтрации результатов поиска будет выполнено на тестовых коллекциях. Для экспериментов будут отобраны известные тестовые коллекции, такие как: LISA, NPL, CACM, CISI, Cranfield, Time, Medline, ADI, Wiki Small, Wiki Large, Reuters-21578 Text Categorization Collection. Предполагается, что будет доказана сходимость применяемого ГА. В этой связи особое внимание будет уделено экспериментальной проверке правила репродукции Холланда и, следовательно, генерации эффективного набора схем (запросов). Предполагается оценка соответствия разработанного ГА каноническому алгоритму.

При исследовании и обосновании модели поведения поискового интеллектуального агента (ИА) предполагается в качестве базовой использовать модель, основанную на полезности. При этом эволюционирующие запросы (хромосомы в терминах ГА) интерпретируются как ИА в многоагентной системе. Фитнес-функция определяет оценку вероятности достижения цели – результатов поиска с заданной минимальной релевантностью. Алгоритм функционирования производительного компонента ИА включает максимизацию фитнес-функции. Алгоритм функционирования обучающего компонента ИА включает оценку деятельности производительного компонента ИА, генерацию изменений в его поведении и механизмы реализации этих изменений. В данной постановке особое значение придается свойствам коллаборативности и адаптивности ИА.

Одним из исходных элементов архитектуры ИА является разработанный участниками проекта эвристический алгоритм, основанный на последовательных фильтрациях результатов поиска и анализе семантической близости контента найденных объектов с адаптивно формируемыми эталонными текстами (k-паттернами). Алгоритм предполагает лемматизацию поискового образа или эталонного документа, автоматизированное извлечение ключевых слов/понятий из текста, морфологический анализ и отбор термов (дистилляцию), локальное и глобальное ранжирование термов, мануальную коррекцию ранжированного списка (по методу Rocchio).

В части разработок пользовательских и программных интерфейсов для индексации отдельных документов, массовой индексации документов, адаптивной поисковой системы, а также создания пилотного хранилища инновационных разработок предлагается использовать базовую платформу Lucene/Solr. Выбор платформы определялся следующим:

- Объект хранения – слабоструктурированный мультимедийный объект.
- Количество объектов хранения – значительное.
- Вид поиска – нечеткий, учитывающий семантику объектов.

- Потенциально большое количество операций модификаций объектов в хранилище, связанное с непрерывной фильтрацией данных.

Кроссплатформенная технология Lucene/Solr обладает важными преимуществами, такими, как фасетный поиск, индикация хитов, кластеризация результатов. Для ранжирования результатов поиска Lucene использует настраиваемую модель векторного пространства документов (стандартно применяется модифицированная весовая функция Okapi BM25).

Другие проекты и исследования по тематике проекта. В настоящее время обеспечению эффективности R&D менеджмента придается большое значение. Примеры – известные решения illumin8, NetBase, Orbit, Kalypso, а также крупные хранилища данных, такие как CORDIS или CiteSeerX. Отметим, что функционирование этих и подобных систем обеспечивается современными технологиями информационного поиска: web-сервисами, поиском с использованием семантических паттернов, применением дополнительных источников оценки релевантности, интеллектуальными поисковыми агентами и др.

Ниже представлен краткий обзор направлений исследований, относящихся к тематике заявляемого проекта, а именно комплексному решению задачи поиска и фильтрации данных на основе эволюционных моделей с непосредственным использованием найденного ранее контента.

Выполнение тематического поиска в документальных хранилищах, является известной процедурой [1]. В целом эволюционные алгоритмы достаточно интенсивно применяются при решении задач информационного поиска, включая поиск и анализ данных в Интернет (см., например, обзор [2]). Отметим, что существуют, по крайней мере, два направления в разработке моделей, основанных на таких алгоритмах [3].

В первом из них популяции различных поколений интерпретируются как наборы особей (web-страниц), найденных поисковой системой. Результатом заданного эволюционного процесса является ранжированный список web-страниц, более релевантный, чем предложенный поисковой системой. Известен метод, позволяющий извлекать релевантные фрагменты текстов из найденных web-страниц и с помощью генетического алгоритма компоновать релевантные результаты в течение ограниченного периода времени. Для вычисления релевантности найденных ресурсов предлагается использовать эволюционную модель. При этом используется комбинация трех источников для оценки релевантности: текст документа, репутационные показатели документов и совокупности ключевых понятий документа. Проведенные эксперименты показывают, что предлагаемый подход является практической альтернативой существующих методов ранжирования. Также предлагаются подходы к анализу web-контента с использованием генетического алгоритма. При этом рассматриваются такие параметры, как время существования web-сайта, входящие и исходящие гиперссылки. Экспериментально показано что предложенные методы позволяют более точно оценивать качество web-страниц. Применяются важные соотношения между статистическими данными использования web-ресурсов и стандартными методами ранжирования поисковых систем.

Второе направление связано с оптимизацией запросов, которые используются поисковой системой для получения релевантного списка искомых документов. Здесь популяциями являются наборы особей – контекстно-зависимых поисковых запросов, генерируемых из заданного набора ключевых слов и понятий. При этом фитнес-функция оценивает качество результатов выполнения каждого запроса отдельно и популяции запросов в целом. Целью генетического алгоритма здесь является оптимизация общей релевантности результатов, найденных с помощью запросов с различными комбинациями ключевых слов. Обсуждаются альтернативные идеи оптимизации запросов, базирующиеся на генетических алгоритмах. Одна из них заключается в выделении наиболее значимых термов запросов на основании новых дополнительных материалов. Авторы предлагают использовать динамический пул термов (*mutation pool*) для генерации новых запросов и показывают его эффективность. Также представляет интерес фитнес функции, которые позволяют учитывать влияние как исходных, так и новых термов в поисковых запросах. Существуют технологии генерации «на лету» web-страниц, содержащих ключевые термы запроса. Эти страницы генерируются путем выделения и эвристического объединения наиболее релевантных частей тех страниц, которые найдены поисковой системой. Также можно отметить использование генетического алгоритма для мониторинга результатов поиска в базах данных Интернет, который может служить основой для оптимизатора запросов.

Исследования и разработки коллектива настоящего проекта [3] относятся к этому второму направлению. Основные особенности нашего подхода касаются определения фитнес-функции и ее аргументов, собственные интерпретации генетических операций, использование оригинальных эвристик. Разрабатываемая эволюционная модель учитывает синтаксические, семантические и прагматические ограничения поискового паттерна и будет положена в основу проектируемого поискового интеллектуального агента [4].

Литература

1. Chu, H. Information representation and retrieval in the digital age. Medford, NJ: Published for the American Society for Information Science and Technology by Information Today Inc., (ASIST monograph series), 2010, 320 pp.
2. Sathya, S. S., Simon, Ph. Review on Applicability of Genetic Algorithm to Web Search // International Journal of Computer Theory and Engineering, Vol. 1, No. 4, October 2009. - P. 450-455. DOI: 10.7763/IJCTE.2009.V1.73.
3. Ivanov V.K., Palyukh B.V., Sotnikov A.N. Efficiency of genetic algorithm for subject search queries // Lobachevskii Journal of Mathematics, 2016, Vol. 37, No. 3, pp. 244–254 - DOI: <http://dx.doi.org/10.1134/S1995080216030124>
4. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд.: Пер. с англ. / Рассел, С., Норвиг, П. - М.: Вильямс, 2006. - 1408 с.

ОСОБЕННОСТИ КОДИРОВАНИЯ ЗАПРОСОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В ЭВОЛЮЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА

В статье рассматривается постановка задачи и дается обоснование способа кодирования генотипа для генетического алгоритма, разработанного как компонент технологии выполнения документного тематического поиска инноваций. Отмечены условия корректной проверки выполнения теоремы Холланда для алгоритма, использующего предложенный подход. Приведены результаты некоторых сравнительных оценок.

Ключевые слова: генетический алгоритм, генотип, кроссинговер, определяющая длина, тематический поиск, теорема Холланда, фитнес-функция.

Введение. В понимании работы генетических алгоритмов (ГА) важную роль играет фундаментальная теорема схем Холланда. Она была сформулирована применительно к каноническому ГА и доказывает его способность генерировать достаточное количество эффективных схем особей для достижения окрестностей оптимума фитнес-функции за конечное число шагов.

Отсюда следует, что любые модификации ГА, созданные для решения конкретной практической задачи и отличные от канонического алгоритма, могут потребовать проверки выполнения теоремы Холланда для оценки сходимости этой модификации ГА.

В настоящей статье дается обоснование способа кодирования генотипа для ГА, который был разработан как компонент технологии выполнения документного тематического поиска инноваций. Отмечены условия корректной проверки выполнения теоремы Холланда, в частности требования к кодированию генотипа. Предложен метод кодирования генотипа, который использует расстояние между векторами. Приведены некоторые сравнительные оценки. Тематика данной статьи продолжает ранее выполненные исследования автора и его коллег [1].

Теорема схем. В теории ГА теорема схем Дж. Холланда [2] показывает, что схемы особей, имеющие короткую определяющую длину, низкий порядок и значение фитнес-функции выше среднего значения по популяции, экспоненциально увеличивают количество своих представителей в последовательности поколений. Это выражается следующим неравенством:

$$N(h, t + 1) \geq N(h, t) \frac{f(h, t)}{f(t)} \left[1 - \frac{\delta(h)}{l-1} p_c - o(h) p_m \right] \quad (1)$$

где $N(h, t)$ – количество представителей схемы h на шаге t , $N(h, t + 1)$ – то же на следующем шаге; $f(h, t)$ – фитнес-функция для схемы на шаге h ; $f(t)$ – среднее значение фитнес-функции по всей популяции на том же шаге; $\delta(h)$ – определяющая длина схемы; l – длина особи (хромосомы); $o(h)$ – порядок; p_c – вероятность кроссинговера; p_m – вероятность мутации.

Несмотря на ряд сомнений и ограничений, теория схем является одним из самых распространенных инструментов анализа ГА. Отметим, что требования

небольших значений $\delta(h)$ и $\sigma(h)$, вытекают из особенностей выполнения генетических операций (ГО) кроссинговера и мутации. В частности, для канонического ГА используется двоичное кодирование генотипа особей.

В целом теорема схем позволяет выявить и использовать улучшающие модификации ГА, повышающие его адаптивность. Очевидная полезность проверок прикладных алгоритмов на соблюдение теоремы схем обосновывается возможностью предсказания с помощью теоремы схем а) структуры эффективных схем, воспроизводимых алгоритмом; б) средних оценок локальных улучшений значений фитнес-функции; в) влияния ГО на значения заданной фитнес-функции.

Исходные данные и постановка задачи. Основные понятия подхода, использованного при разработке ГА, изложены в [1]. Так, исходные интерпретации следующие: *запрос* – это *особь (хромосома)*, *кодированный набор термовзапроса* представляет собой *генотип*, замена термина запроса на другой терм определяется как *кроссинговер*, замена термина запроса на его синоним – как *мутация*. Процедура вычисления фитнес-функции предусматривает выполнение запроса поисковой системой и использование параметров найденного множества релевантных документов – *фенотипа*.

В обсуждаемом ГА поисковый образ K для документов есть набор ключевых слов, относящихся к некоторой предметной области. Каждый поисковый запрос представлен вектором $\bar{q} = (c_1, c_2, \dots, c_n, \dots, c_m)$, где $c_n = \{k_n, w_n, S_n\}$, $k_n \in K$ – терм, w_n – вес термина, S_n – множество синонимов термина k_n , m – количество термов в запросе. Результат выполнения запроса – это набор документов R , $|R| = D$. Исходная популяция из N поисковых запросов представлена множеством Q_0 , где $|Q_0| = N$, $N < \frac{|K|}{2}$, $q \in Q_0$.

Значение фитнес-функции для популяции запросов вычисляется так:

$$\bar{W}(Q) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{w}(q_j), \quad (2)$$

где $Q = (q_1, q_2, \dots, q_N)$ – популяция из N запросов; $\bar{w}(q_j)$ – значение фитнес-функции j -го запроса.

$$\bar{w}(q_j) = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R w_i(g, p, s), \quad (3)$$

где w_i – значение фитнес-функции для i -го результата j -го запроса. Здесь w_i зависит от позиции g в списке результатов поисковой системы, частоты p появления данного результата поиска в списках результатов всех N запросов, степени сходства s краткого текста результата и поискового образа K .

Для корректной проверки выполнения теоремы Холланда двоичное кодирование генотипа должно обеспечить схемы особей, имеющие небольшие значения $\delta(h)$ и $\sigma(h)$. Это означает необходимость минимальной длины кода.

Таким образом, сформулируем задачу: необходимо предложить и обосновать пригодность метода кодирования вектора $\bar{q}$, уникальной двоичной после-

довательностью минимальной длины и, тем самым, обеспечивать выполнение условий для $\delta(h)$ и $o(h)$.

Отметим, что при работе обсуждаемого ГА и выполнении ГО битовые операции не используются (см. интерпретации ГО выше), а элементы c_n вектора $\bar{q}$ локализуются десятичным индексом $n \in [1, |K|]$. Числовые идентификаторы n являются целочисленными номинальными переменными и определяют неупорядоченное множество объектов.

Двоичное кодирование мы будем использовать для представления $\bar{q}$ в ходе проверки выполнения теоремы Холланда в соответствии с выражением (1). Такое представление вектора $\bar{q}$ делается возможным, исходя из следующих замечаний, высказанных в [3]:

1. Схожие особи (схожие генотипы) имеют схожее поведение (схожие фенотипы), то есть имеют близкие значения фитнес-функции. В общем случае генотип $\bar{q}_A$ похож на генотип $\bar{q}_B$, если существует высокая вероятность преобразования $\bar{q}_A \rightarrow \bar{q}_B$ (и наоборот) после выполнения ГО. Другими словами, *особи схожи не потому, что их генотипы выглядят похоже, а потому, что они в пространстве решений расположены близко друг к другу после выполнения выбранной ГО.*

2. Фитнес-функция $\bar{w}(q_j)$ не должна обладать таким свойством генотипа, когда для небольшого изменения фенотипа, необходимо сделать очень большое изменение генотипа (Hammingcliff). Необходимо, чтобы *малые изменения генотипа (такие как инверсия одного бита) приводили к малым изменениям функции $\bar{w}(q_j)$.* Сказанное определяет критерий гладкости фитнес-функции.

Варианты двоичного кодирования.

Позиционное кодирование (ПК). Двоичный код хромосомы $\bar{q}_{01}$ – битовая строка с локусом ненулевого значения $n \in [1, |K|]$. Здесь длина кода хромосомы $L_q = |K|$, длина кода гена $L_n = 1$, интервал кодирования значений генотипов $GInt = (0; |K| - 1)$. Пример ПК: $|K| = 12$, $\bar{q} = (4, 7, 10)$, $m = 3$, двоичный код $\bar{q}_{01} = 000100100100$, $L_q = 12$.

Числовое кодирование (ЧК). Двоичный код хромосомы $\bar{q}_{01} = n_1^{01} \cdot n_2^{01} \cdot \dots \cdot n_i^{01} \cdot n_m^{01}$, где n_i^{01} – двоичный код десятичного значения n с длиной L_n . Здесь $L_q = m * L_n$, $L_n \geq \log_2(|K| - 1)$, $GInt = (0; 2^{L_n} - 1)$. Пример ЧК: $|K| = 12$, $\bar{q} = (4, 7, 10)$, $m = 3$, $\bar{q}_{01} = 010001111010$, $L_q = 12$. В общем случае при $|K| = 12$ и $m = 3$ длина хромосомы будет равна $L_q = m * \log_2(|K| - 1) = 3 * \log_2(12 - 1) = 3 * 3,70044 = 11,10132 \approx 12$ битов.

Логарифмическое кодирование (ЛК). Двоичный код хромосомы $\bar{q}_{01} = n_1^{01} \cdot n_2^{01} \cdot \dots \cdot n_i^{01} \cdot n_m^{01}$, где $n_i^{01} = \alpha\beta bin$ – двоичный код десятичного значения n (гена) с длиной L_n , причем выполняется соотношение [4]:

$$[\alpha\beta bin]_{10} = (-1)^\beta e^{(-1)^\alpha [bin]_{10}} \quad ($$

4)

где $[\alpha\beta bin]_{10}$ - десятичное значение двоичного кода $\alpha\beta bin$, α - первый бит кода, β - второй бит кода, bin - остальные биты кода, $[bin]_{10}$ - десятичное значение двоичного числа bin . Также, $L_q = m * L_n$, $L_n = \lceil \log_2(|K| - 1) \rceil$, $GInt = (-e^{L_n}; e^{L_n})$. Пример ЛК: $|K| = 12$, $\bar{q} = (4, 7, 10)$, $m = 3$, $\bar{q}_{01} = 001101101001$, $L_q = 12$.

Геометрическое кодирование (ГК). Для кодирования хромосом мы предлагаем использовать расстояние $Dist(\bar{q}_i, \bar{q}_0)$ между вектором $\bar{q}_i$ и начальным вектором $\bar{q}_0$ (первой хромосомой исходной популяции). Расстояние $Dist(\bar{q}_i, \bar{q}_0)$ может быть вычислено в общем случае помощью любой метрики. В случае косинусной меры, для которой не требуется нормирование значений на интервал (0;1), имеем:

$$Dist(\bar{q}_i, \bar{q}_0) = \frac{\bar{q}_i * \bar{q}_0}{\|\bar{q}_i\| * \|\bar{q}_0\|}. \quad (5)$$

Код хромосомы $\bar{q}_{01}$ - двоичный код десятичного числа $Dist(\bar{q}_i, \bar{q}_0) * 10^p$, где p - точность вычислений (число знаков после запятой). Также, $L_q = \lceil \log_2 10^p - 1 \rceil$ (не зависит от m), L_n не используется, $GInt[0; |K| - 1]$. Пример ГК: $|K| = 12$, $\bar{q}_0 = (3, 8, 11)$, $\bar{q}_i = (4, 7, 10)$, $p = 3$, $\bar{q}_{01} = 1111100011$, $L_q = 10$.

Оценка вариантов.

1. ГК особей - наилучший вариант с точки зрения длины кода. На рис. 1 представлена зависимость длины кода L_q от $|K|$ при различных значениях m . Отметим, что при ГК L_q не зависит от m и $|K|$, а определяется точностью вычислений, которая, в свою очередь, обеспечивает уникальность кодов. Например, $L_q = 17$ при $p = 5$.

2. Уникальность кодов особей очевидна для ПК и ЧК.

3. ЛК применяется для больших чисел или в случае кодирования нецелочисленных значений. Недостатком этого метода является то, что при кодировании чисел из интервала значительно меньшего, чем интервал $GInt = (-e^{L_n}; e^{L_n})$, мы получим большое количество одинаковых последовательностей. Это как раз наш случай: даже при типичных реальных значениях $L_q = 50$ и $L_n = 7$ интервал $GInt = (-1096; 1096)$.

4. Уникальность кодов особей при ГК обеспечивается точностью вычислений. В таблице 1 представлены результаты анализа количества дублированных кодов в экспериментах с обсуждаемым ГА. Использовались следующие исходные данные $|K| = 50$, $p = 3$, $p = 3, 4$ и 5 . Видно, что при $p = 5$ достигается 100% уникальность сгенерированных кодов особей.

5. На рис. 2 показаны две гистограммы. Первая показывает распределение отклонений Δq величины $Dist(\bar{q}_i, \bar{q}_0)$ при ГК особей после выполнения ГО. Вторая показывает распределение отклонений Δw фитнес-функции $\bar{w}(q_j)$ после

выполнения тех же ГО. Простой визуальный анализ говорит о выполнении критерия «гладкости» $\overline{w}(q_j)$.

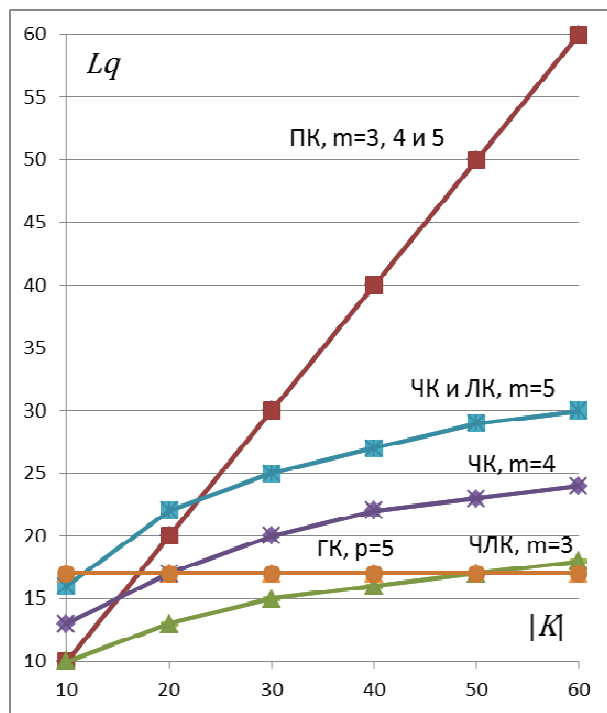


Рис. 1

Таблица 1 – Число уникальных кодов при геометрическом кодировании особей (в %)

Точность	Способ кодирования вектора $\overline{q}_{01}$		
	Евклидово расстояние	Длина вектора	Косинусная мера
3	89,4	87,6	85,8
4	96,5	98,2	98,2
5	96,5	98,2	100,0

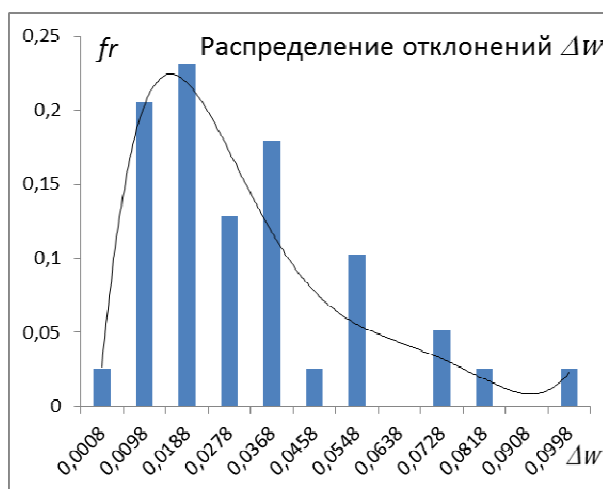


Рис. 2

Литература

1. Ivanov V.K., Palyukh B.V., Sotnikov A.N. Efficiency of genetic algorithm for subject search queries // Lobachevskii Journal of Mathematics, 2016, Vol. 37, No. 3, pp. 244–254 - DOI: <http://dx.doi.org/10.1134/S1995080216030124>
2. Holland J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence (The MIT Press, 1992).
3. Luke S. Essentials of Metaheuristics, A Set of Undergraduate Lecture Notes by Department of Computer Science George Mason University, Second Edition, Online Version 2.2 October, 2015, 261 p.
4. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. польск. И.Д. Рудинского. - М.: Горячая линия — Телеком, 2013. – 384 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ОРГАНИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Предложены виды (сотрудничество и соперничество) и типы взаимодействия систем в тетраде, обеспечиваемые разными рычагами воздействия. Разработана модель влияния на процессную систему диагональными рычагами воздействия и показаны области ее применения. Предложена модель баланса средств.

Ключевые слова: экономическая система, тетрада, объекты, проекты, процесс, среда, взаимодействие, взаимоотношения

Гибкость и устойчивость деятельности хозяйствующих субъектов при достижении инновационных целей в экономической конкуренции требует создания системы взаимодействия субъектов финансовой, научно-технической, производственной и сбытовой сфер, развития единой инновационной инфраструктуры, обеспечения эффективного использования финансового, научного и технологического потенциалов.

Новая теория экономических систем (НТЭС) развита в работах Г.Б. Клейнера [1]. В основе НТЭС лежит пространственно-временной принцип развития экономических систем, в соответствии с которым экономические системы классифицируются на 4 группы: объекты, проекты, процессы и среды.

Актуальность данной статьи обусловлена необходимостью определения направлений взаимодействия экономических систем в рамках тетрады и вне ее при управлении инновационным проектом.

В НТЭС модель передачи ресурсов между экономическими звеньями системы представлена в виде тетрады – устойчивого комплекса из четырех взаимодействующих на постоянной основе систем, представляющих весь спектр их типов. Тетрада – минимальная системная конфигурация, способная к самостоятельному функционированию и саморазвитию.

Автором предлагается классификация видов взаимодействия членов системной тетрады, включающая две группы:

I. Сотрудничество – предпосылки к нему возникают между соседствующими системами тетрады, напрямую обменивающимися ресурсами:

- 1) «объектная система – средовая система»;
- 2) «средовая система – процессная система»;
- 3) «процессная система – проектная система»;
- 4) «проектная система – объектная система».

II. Соперничество – это форма, возникающая между диагонально расположенными системами:

- 1) «объектной – процессной» системами;
- 2) «проектной – средовой» системами.

Данная классификация будет применена ниже при разработке модели.

Предлагается усовершенствовать понятие взаимодействия систем, рассматриваемое в НТЭС. Для этого введем следующие понятия:

- Взаимосвязь – это взаимодействие соседствующих систем в тетраде.
- Взаимоотношения – это взаимодействие диагонально расположенных систем в тетраде.

Отличие между этими понятиями заключается в следующем. Взаимосвязь может быть обеспечена процессами взаимодействия (прямыми связями) в один «шаг» (т.е. по одной стрелке рисунка 1). В свою очередь, взаимоотношения подразумевают использование рычагов воздействия, реализация которых несет в себе использование двух последовательных взаимосвязей.

Выделены 4 типа и 8 рычагов воздействия диагональных взаимоотношений в тетраде (таблица 1).

Таблица 1 – Типы диагональных взаимоотношений в тетраде

Взаимоотношения в тетраде	Диагональная стрелка	Пример
1. Объект оказывает влияние на Процесс	объект – проект – процесс	планирование инновационного проекта и процессы производства и реализации продукции
	объект – среда – процесс	договорные отношения организации со средой, в результате чего получение конкурентных преимуществ в поставках сырья, процессе снабжения
2. Процесс оказывает влияние на Объект	процесс – проект – объект	затраты на производство и реализацию продукции сообщаются в проект и сопоставляются с суммой первоначальных инвестиций, в результате чего определяется чистый дисконтированный доход и проводятся корректировки проекта
	процесс – среда – объект	поставка готовой продукции по определенной цене и ее оплата
3. Проект оказывает влияние на Среду	проект – процесс – среда	производство продукции в рамках проекта и ее поставка конечному потребителю
	проект – объект – среда	передача результата на вложенный в проект капитал и выплата процентов за пользование им, а также налогов и иных обязательных платежей
4. Среда оказывает влияние на Проект	среда – процесс – проект	поставка сырья и его использование в производстве согласно нормам расхода
	среда – объект – проект	получение заемных средств, выручки от продажи продукции и планирование проекта с привлечением собственного и заемного капитала

Рассмотрим подробнее ситуацию, когда объект оказывает влияние на процесс (рисунок 1). Объектная система не может напрямую воздействовать на процессную систему, для обеспечения их взаимоотношений необходимо повысить эффективность применения одного из двух возможных рычагов воздействия:

- Рычаг №1 (P_1): объект – среда – процесс (объект оказывает влияние на среду, которая, в свою очередь, влияет на процесс).
- Рычаг №2 (P_2): объект – проект – процесс (объект оказывает

влияние на проект, который, в свою очередь, влияет на процесс).

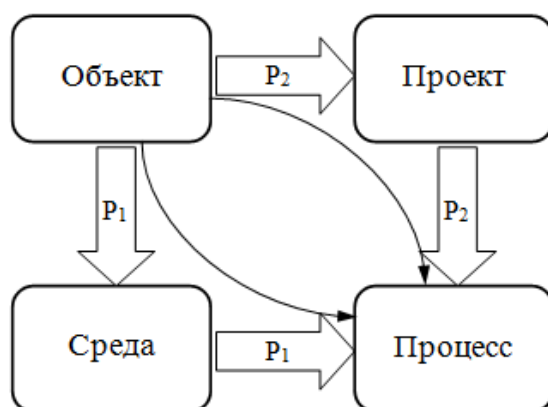


Рисунок 1 – Модель диагональных рычагов воздействия на процессную систему

Каждый рычаг характеризуется своими ресурсами, применяется в зависимости от ситуации и возможности сокращения своего ресурса. Анализ рисунка 1 включает выявление наименьших потерь пространственных и временных ресурсов в ходе воздействия, в данном примере, объекта на процесс разными рычагами воздействия R_1 и R_2 и выбор оптимального по ресурсозатратности из них:

$$R_{\text{opt}} = \min (P_1; P_2). \quad (1)$$

Например, для анализируемой организации выбран рычаг №2 – повысить эффективность планирования инновационного проекта и выявить пути снижения затрат на реализацию продукции – что принесет эффект в 0,8 млн руб., и будет целесообразнее, чем переключение на другого поставщика сырья. Другие примеры применения авторской модели рычагов воздействия показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Области применения модели рычагов воздействия

Вид деятельности	Пример области применения	Пример результата применения модели
1. Финансовый анализ	Анализ ликвидности и платежеспособности	Выполнение условий ликвидности означает покрытие ресурса времени ресурсом пространства. Минимальный путь перехода к системе – это передача ресурса времени, включающего пассивы организации
2. Управление инновациями	Выбор оптимального проекта	Выбор проекта, минимального по времени окупаемости. Выбор оптимальных условий финансирования проекта собственными и заемными источниками.
3. Управление финансами	Оптимизация дебиторской задолженности и др.	Ввести понятие расширения экономического пространства в виде передачи среде требований об оплате (будут пространственно оплачены, но и предоставляют дополнительные возможности), а также вложений в среду
4. Теория игр	Оптимизация отдачи системам и эффекта	Система-объект стремится минимизировать отдачу, например, дебиторскую задолженность, но в результате игры как взаимодействия со средой находится оптималь-

Вид деятельности	Пример области применения	Пример результата применения модели
		ное значение отдачи

Применим модель рычагов воздействия к анализу ликвидности баланса. Как известно, баланс считается абсолютно ликвидным, если выполняются следующие четыре условия сравнения групп активов и пассивов:

$$A1 \geq P1; \quad (2)$$

$$A2 \geq P2; \quad (3)$$

$$A3 \geq P3; \quad (4)$$

$$A4 \leq P4, \quad (5)$$

где $A1$ – наиболее ликвидные активы,

$P1$ – наиболее срочные обязательства,

$A2$ – быстро реализуемые активы,

$P2$ – краткосрочные пассивы,

$A3$ – медленно реализуемые активы,

$P3$ – долгосрочные пассивы,

$A4$ – труднореализуемые активы,

$P4$ – постоянные пассивы.

Автор статьи интерпретирует бухгалтерские активы предприятия как ресурс пространства, передаваемый в тетраде, а пассивы предприятия – как временной ресурс. Перепишем четыре условия ликвидности баланса в терминах пространства-времени:

$$R1_{\text{акт-прост}} \geq R1_{\text{пас-врем}}; \quad (6)$$

$$R2_{\text{акт-прост}} \geq R2_{\text{пас-врем}}; \quad (7)$$

$$R3_{\text{акт-прост}} \geq R3_{\text{пас-врем}}; \quad (8)$$

$$R4_{\text{акт-прост}} \leq R4_{\text{пас-врем}}; \quad (9)$$

где $R_{i \text{ акт-прост}}, i=1, \dots, 4$ – ресурсы пространства в виде активов баланса от наиболее ликвидных до труднореализуемых;

$R_{i \text{ пас-врем}}$ – ресурсы времени в виде пассивов баланса от наиболее срочных до постоянных.

Баланс будет абсолютно ликвидным, если будет обеспечен минимальный путь перехода в системы тетрады в виде пассивов баланса, т.е. ресурса времени:

$$\min(R1_{\text{акт-прост}}; R1_{\text{пас-врем}}) = R1_{\text{пас-врем}}, \quad (10)$$

$$\min(R2_{\text{акт-прост}}; R2_{\text{пас-врем}}) = R2_{\text{пас-врем}}, \quad (11)$$

$$\min(R3_{\text{акт-прост}}; R3_{\text{пас-врем}}) = R3_{\text{пас-врем}}, \quad (12)$$

Можно сделать вывод, что баланс будет ликвидным, если передача наиболее срочного временного ресурса будет покрыта передачей наиболее ликвидного пространственного ресурса в терминах НТЭС.

Частным случаем модели рычагов воздействия является обеспечение баланса средств (рисунок 2). В случае, если в устойчивой тетраде происходит внешнее влияние на одну из систем, то это повлечет возмущающие воздействия на соседние системы, вплоть до повторного воздействия на первоначально измененную систему. В таком случае процесс «кругового воздействия» станет цикличным и будет повторяться, пока ресурс одной из систем не будет полностью исчерпан, что подразумевает распад тетрады. Чтобы предотвратить подобный исход, необходимо нейтрализовать воздействие P_1 , прежде чем оно вернется к первоначальной системе, с помощью рычага P_2 .

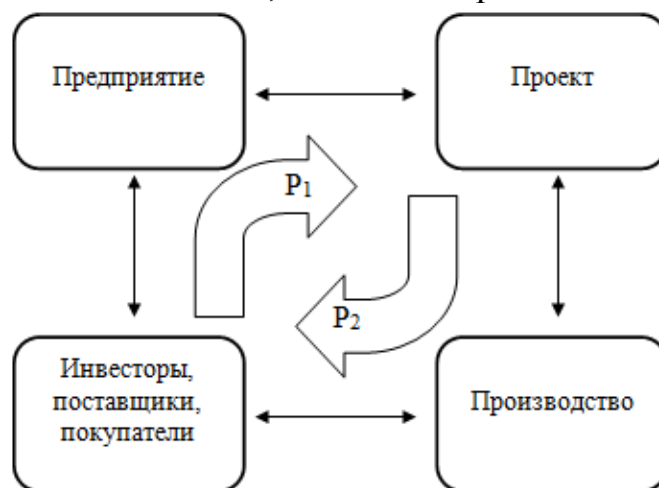


Рисунок 2 – Модель баланса средств

Для баланса средств необходимо следующее равенство рычагов:

$$P_1 = P_2. \quad (13)$$

Например, для анализируемой организации среда оказала влияние на проект через изменение условий поставки сырья, и его использование в производстве согласно нормам расхода изменилось. Соответственно, для соблюдения баланса были изменены условия реализации проекта и его планирования через корректировки проекта, а также учтено возможное уменьшение потока выручки от продаж с целью его предотвращения. В случае, если не будут проведены мероприятия по реагированию на изменения в тетраде, организация снизит чистую прибыль на 1,2 млн руб.

Таким образом, предложенная модель и классификация типов взаимодействий позволяют анализировать производственные взаимосвязи и взаимоотношения фирмы с экономическими системами при управлении проектом, минимизировать некоторые из них, а также обеспечивать баланс средств в разрезе критериев пространства и времени.

Литература

1. Клейнер, Г.Б. Системная экономика как платформа развития современной экономической теории // Вопросы экономики. – 2013. – № 6. – С. 4–28.

МОДЕЛИРОВАНИЕ DDoS-АТАКИ В СРЕДЕ NETLOGO

В статье рассматривается создание модели DDoS-атаки на основе модели популяции зайцев в среде мультиагентного моделирования NetLogo. Проведено краткое описание создания модели и проведены исследования, с помощью которых выявлено, за какое количество времени атака способна вывести сервер из строя.

Ключевые слова: сервер, DDoS-атака, NetLogo, модель, мультиагентное моделирование.

Во времена информационных технологий более популярными становятся распределенные атаки на глобальные компьютерные сети. Большая часть таких атак направлена на нарушение доступности или «Распределенный отказ в обслуживании» (Distributed Denial of Service, DDoS) и выведение из строя сервера путем наполнения системы большим количеством сетевых пакетов. Реализация таких атак может привести не только к выходу из строя отдельных хостов, но и остановить работу корневых DNS-серверов и вызвать частичное или полное прекращение работы Интернета.

DDoS-атака выполняется одновременно с большого числа компьютеров. Коммерческие и информационные сайты чаще становятся жертвами таких атак.

Например, в Альфа-банке был совершен факт хакерской атаки. Но атака была достаточно слабая и краткосрочная и не повлияла на работу бизнес-систем банка. Последняя серия DDoS-атак произошла в октябре 2015 года, когда были атакованы восемь крупных российских банков. Всего с октября 2015 года по март 2016 года Центробанк зафиксировал 21 кибератаку на платежные системы российских финансовых организаций. Мошенники пытались похитить со счетов достаточную сумму миллиардов рублей, но ЦБ и банкам удалось предотвратить хищения на 56% [2].

В 2014 году в результате масштабной DDoS-атаки были выведены из строя сразу несколько популярных, таких как PlayStation, Network, Xbox Live. Позже после удара атаки компания Sony сообщила и успокоила пользователей тем, что все данные остались целыми и невредимыми.

Для того чтобы исследовать поведение таких атак, была создана модель DDoS-атаки. Модель реализована в среде мультиагентного моделирования NetLogo. Среда программирования NetLogo предназначена для моделирования ситуаций и феноменов, которые происходят в природе и обществе. В данной программе можно давать указания и управлять тысячами независимых «агентов» действующих параллельно. NetLogo отлично подходит для проведения исследовательских работ, а библиотека моделей программы содержит множество моделей по математике, биологии, химии и других наук. Программа открывает возможность для понимания и объяснения связей между поведением отдельных индивидуумов, природными явлениями и т.д. [4, 5].

В библиотеке примеров программы находится модель популяции волков и овец. С помощью данной модели можно исследовать популяцию животных. Волки пытаются съесть овец, а овцы могут перемещаться и отбиваться от волков [6, 7].

Полностью защититься от DDoS-атаки на сегодняшний день невозможно, но существуют меры противодействия таким атакам, такие как:

- предотвращение (профилактика причин, побуждающих тех или иных лиц организовывать и предпринять DDoS-атаки);
- ответные меры (применяя технические и правовые меры, нужно как можно активнее воздействовать на источник и организатора DDoS-атаки);
- программное обеспечение (на рынке современного программного и аппаратного обеспечения существует и такое, которое способно защитить малый и средний бизнес от слабых DDoS-атак. Эти средства обычно представляют собой небольшой сервер);
- обратный DDoS (перенаправление трафика, используемого для атаки, на атакующего);
- фильтрация и блэкхолинг (блокирование трафика, исходящего от атакующих машин).

В библиотеке моделей находится модель «Rabbits grass weeds», в которой показана популяция зайцев, которые питаются травой и сорняками. С помощью данной модели существует возможность исследовать поведение сервера и поведение атаки, которая пытается пробить данный сервер. Также можно посмотреть через какое время сервер будет выведен из строя.

В качестве сервера берется трава, а в качестве атаки – заяц. Тем самым заяц двигается по полю и ест траву до тех пор, пока вся трава не исчезнет. Так же как атака пробивает сервер до тех пор, пока сервер не будет выведен из строя.

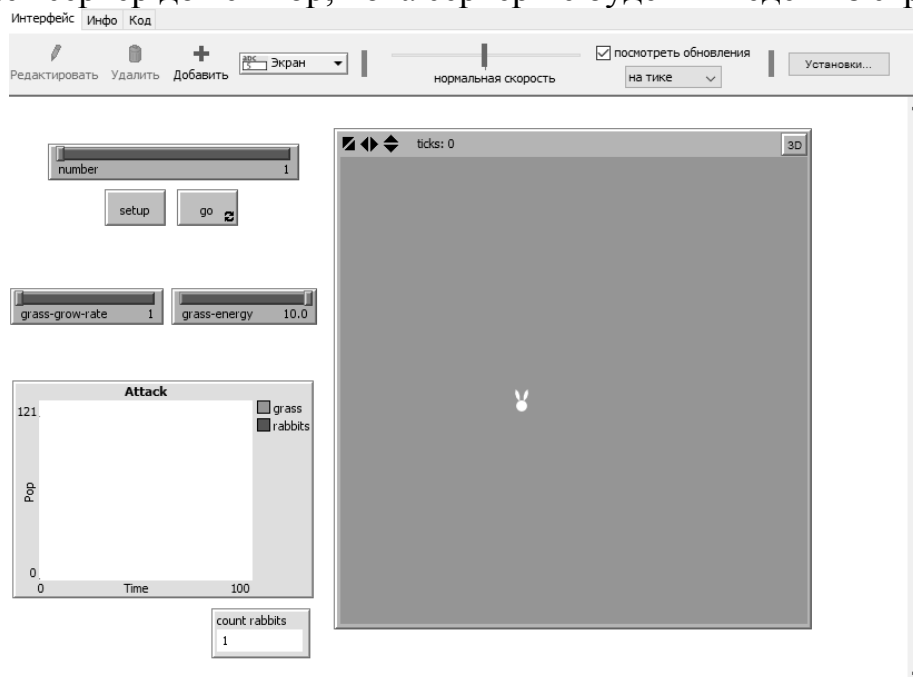


Рисунок 1. Интерфейс модели Ddos-атаки.

На рисунке 1 показан интерфейс программы, на котором изображены кнопки запуска и обновления модели, рычаги изменения параметров агентов, поле графика, изображающее изменения модели во время запуска и также на поле интерфейса находится окно, где показана сама модель. В окне модели присутствует трава, которая заполняет все пространство и один заяц, являющийся атакой.

После запуска модели заяц начинает двигаться по полю и есть траву. Клетка, на которой травы нет, становится черной и трава на ней уже не растет (рис. 2).

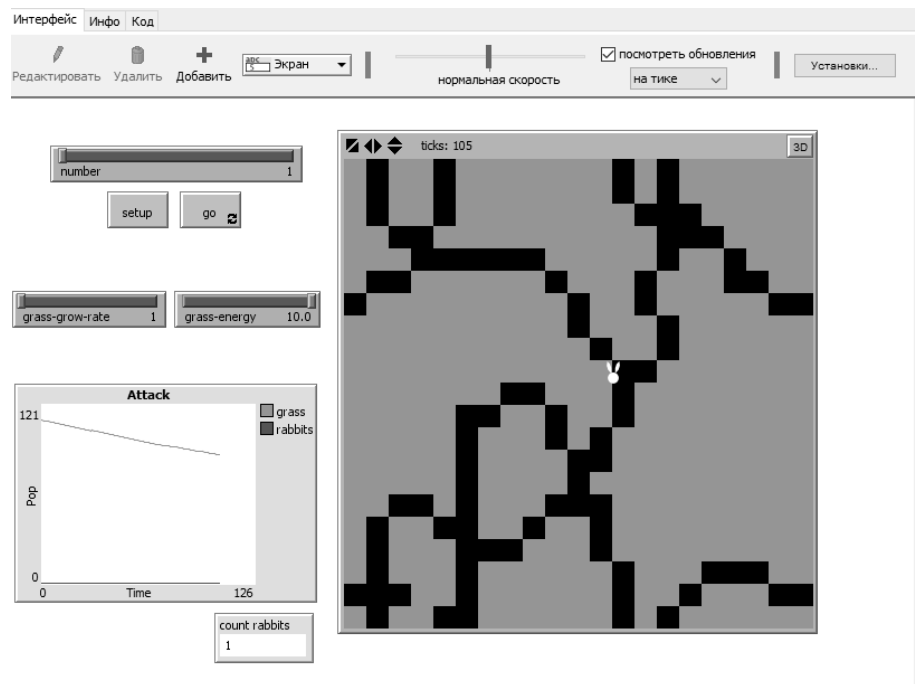


Рисунок 2. Интерфейс модели после запуска.

Было проведено исследование и в ходе было определено, за сколько тиков атака выведет сервер из строя. В NetLogo существует свой встроенный счетчик тиков. С каждым разом первоначальное количество атак становится больше. После запуска модели в графике можно увидеть то, как линия сервера падает. В коде изначально прописаны энергия сервера и энергия атаки. Сервер будет выведен из строя тогда, когда на поле не останется ни одной зеленой клетки. В таблице представлены результаты исследования при разном количестве атак (см. таблица 1).

Таблица 1 - Данные исследования

№	Первоначальное количество атак	Количество тиков
1.	1	2739
2.	5	582
3.	10	307

Таким образом, можно сделать вывод, чем выше количество первоначальных атак, тем меньше времени занимает выведение сервера из строя.

Дополнительно в коде можно прописать небольшую защиту для сервера. Тем самым увеличится количество тиков и для того, чтобы вывести сервер из строя.

Таблица 2 - Данные исследования с защитой для сервера

№	Первоначальное количество атак	Количество тиков
1.	1	3456
2.	5	789
3.	10	346

Исходя из данного исследования, можно сказать, что если добавить серверу дополнительную защиту, то количество тиков немного увеличивается. Тем самым, сервер сможет продержаться дольше, нежели как в предыдущем исследовании, когда у сервера отсутствовала защита.

В ходе проведенного исследования была разработана простая модель DDoS-атаки, которая реализована в мультиагентной среде NetLogo. Данную систему можно использовать в курсах «Интеллектуальные системы и технологии» и «Защита информации»

Литература

1. Хакеры провели DDoS-атаку на Сбербанк и Альфа-банк URL: <http://www.rbc.ru/economics/09/11/2016/582372be9a79476357a4a62d> (дата обращения: 14.09.2017).
2. Мезенцев К.Н. Мультиагентное моделирование в среде netlogo // Автоматизация и управление в технических системах. 2015. № 1 (13). С. 10-20.
3. Векслер В.А. Агентное моделирование в среде netlogo на уроках информатики // NovaInfo.Ru.- 2016. Т. 3. № 44. С. 314-326.
4. Векслер, В.А. Моделирование экологических систем в среде netlogo на уроках информатики в средней школе // NovaInfo.Ru. 2017. Т. 3. № 62. С. 327-335

**П.Ю. Козлов, аспирант; рук. М.И. Дли, д.т.н.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА ДЛЯ РУБРИЦИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ НЕСТРУКТУРИРОВАН- НЫХ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ

В статье рассматриваются проблемы рубрицирования электронных неструктурированных текстовых документов. Приведена модель рубрицирования на основе каскадного нейро-нечеткого классификатора с использованием весовых коэффициентов для случая анализа коротких электронных текстовых документов в условиях незначительной степени близости рубрик.

Ключевые слова: рубрицирование, текстовый документ, нейро-нечеткий классификатор, жалоба, предложение, весовой коэффициент.

В настоящее время одним из основных направлений государственной политики в Российской Федерации является повышение степени открытости органов государственной и муниципальных власти различных уровней, в том числе на основе организации их виртуального взаимодействия с населением. В результате происходит процесс постоянного совершенствования интер-

нет-порталов органов исполнительной и законодательной власти, где каждый гражданин может в электронном виде подать жалобу, обращение или предложение. Число подобных электронных контактов непрерывно растет. Например, по Смоленской области за 2016 год поступило 9936 электронных обращений, что составляет 30% от всего числа жалоб [1]. За 2015 год в администрацию Санкт-Петербурга поступило 134387 документов, (из них 38000 в электронном виде), за 2016 год – 117274 документа (из них 54473 в электронном виде) [2]. С учетом жестко регламентированных сроков направления ответа, возникает необходимость обеспечения автоматизированной обработки указанных запросов с целью их рубрицирования (классификации) для повышения оперативности взаимодействия с профильными структурными подразделениями администраций. Решение данной задачи непосредственно связано с использованием процедур извлечения данных из текстовой информации на основе применения методов анализа электронных неструктурированных текстовых документов (ЭНТД).

Электронные сообщения граждан (жалобы, обращения, предложения и т.д.) с точки зрения возможности их автоматизированной обработки обладают рядом специфических особенностей:

- в значительной части случаев небольшой размер документа, что затрудняет его статистический анализ;
- отсутствие структуризации, что усложняет процедуры извлечения информации;
- наличие большого количества грамматических и синтаксических ошибок приводит к необходимости реализации нескольких дополнительных этапов обработки;
- нестационарность тезауруса (состава и важности слов), который зависит от выхода новых нормативных документов, выступлений должностных лиц и политических деятелей и т.д., что приводит к необходимости использования процедур динамической кластеризации рубрик.

На рисунке 1 представлена классификация ЭНТД для перечисленных выше критериев.

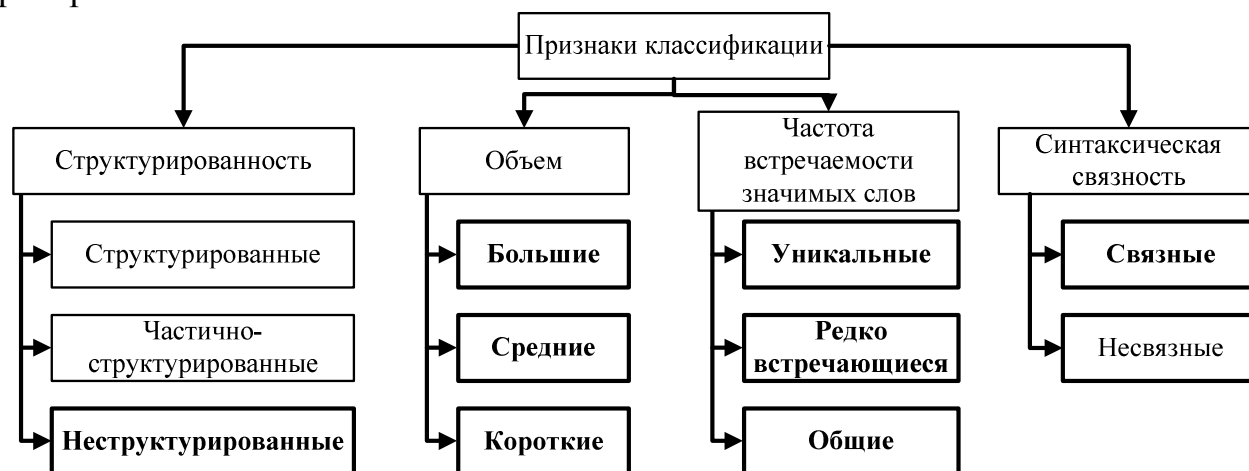


Рисунок 1 – Классификация ЭНТД

На рисунке 2 представлены дополнительные признаки классификации, которые влияют на возможность применения различных моделей рубрицирования и относятся к условиям рубрицирования ЭНТД.

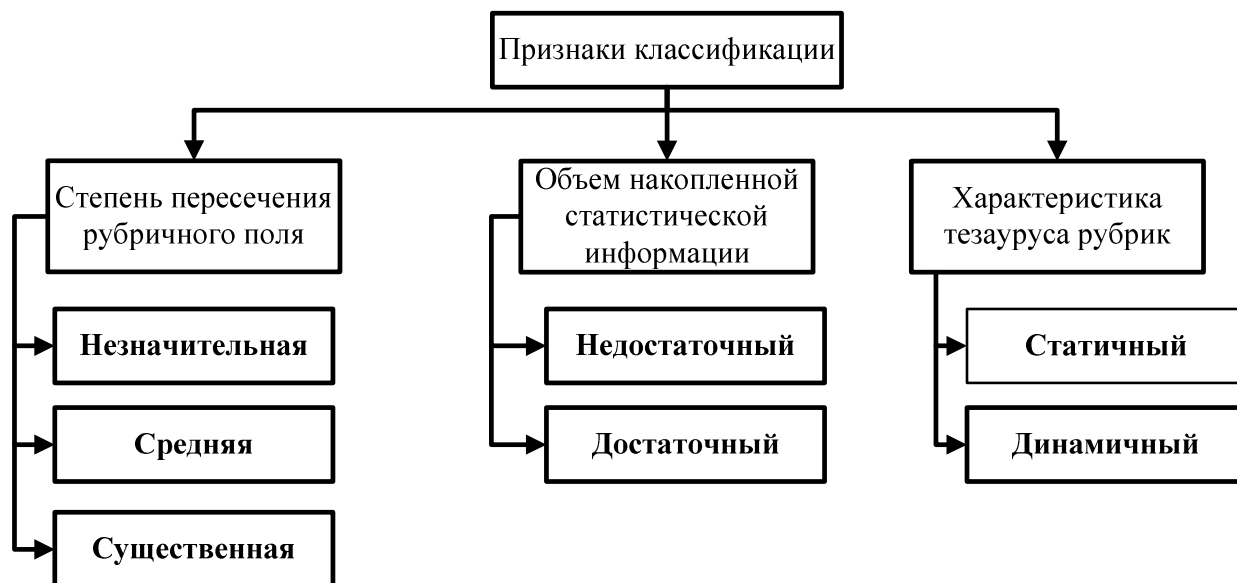


Рисунок 2 – Дополнительные признаки для рубрицирования ЭНТД

Если ситуация рубрицирования ЭТД осуществляется в условиях:

- короткие ЭНТД
- незначительная степень пересечения рубрик
- достаточный объем и качества статистических данных о документах данного типа (для обучения гибридных нечетких моделей [3]).

Для этой ситуации целесообразно использовать нейро-нечеткий классификатор на основе известного подхода [4, 5], но с использованием экспертной информации для определения значимости ключевых слов при формализации и последующего рубрицирования ЭНТД.

Процедура построения рубричного поля с использованием весовых коэффициентов включает следующие шаги:

Шаг 1. Задается первоначальный набор (множество) рубрик вида:

$$R = \{R_1, \dots, R_j, \dots, R_J\},$$

где J – общее количество рубрик.

Шаг 2. Выделяется набор ЭНТД с заранее определенными рубриками:

$$V^{(об)} = \{(V_1^{(об)}, RR_1), \dots, (V_b^{(об)}, RR_b), \dots, (V_B^{(об)}, RR_B)\},$$

где $V^{(об)}$ – обучающая выборка, $V_b^{(об)}$ – b -й ЭНТД из обучающей выборки, $RR_b \in R, b = 1, \dots, B$ – рубрика, соответствующая b -му ЭНТД из обучающей вы-

борки. В этих ЭНТД производится поиск значимых слов $v_{l_b}^{(b)}$, длина которых превышает три символа.

В этом случае b -й ЭНТД $V_b^{(об)}$ можно представить в виде:

$$V_b^{(об)} = (v_1^{(b)}, ..., v_{l_b}^{(b)}, ..., v_{L_b}^{(b)}), b = 1, ..., B,$$

где L_b – количество значимых слов b -го ЭНТД.

Шаг 3. Каждому l_b -му слову $v_{l_b}^{(b)}$ b -го ЭНТД назначается начальный весовой коэффициент (вес) $u_{l_b}^{(b)} = 0,5$, показывающий его степень соответствия j -й рубрике, к которой относится b -й ЭНТД. Таким образом, получаем множество пар следующего вида:

$$V_b^{(об)} = \{(v_1^{(b)}, u_1^{(b)}), ..., (v_{l_b}^{(b)}, u_{l_b}^{(b)}), ..., (v_{L_b}^{(b)}, u_{L_b}^{(b)})\}, b = 1, ..., B.$$

Шаг 4. Проводится подстройка весовых коэффициентов модели с использованием элементов обучающей выборки $V^{(об)}$, в ходе которой веса $u_{l_b}^{(b)}$ значимых слов изменяются, исходя из их степени соответствия конкретной j -й рубрике с использованием алгоритма, блок-схема которого приведена на рисунке 3.13.

На выходе данного алгоритма формируются словари рубрик R_j вида:

$$R_j = \{(w_1^{(j)}, r_1^{(j)}), ..., (w_{m_j}^{(j)}, r_{m_j}^{(j)}), ..., (w_{M_j}^{(j)}, r_{M_j}^{(j)})\}, j = 1, ..., J,$$

где $w_{m_j}^{(j)}$ – m_j -е слово в рубрике R_j , $m_j = 1, ..., M_j$, M_j – общее количество значимых слов в j -й рубрике, $r_{m_j}^{(j)} \in [0, 1]$ – весовой коэффициент m_j -го слова для j -й рубрики.

Шаг 5. С учетом того, что описанная модель рубрицирования ЭНТД предполагает учет весовых коэффициентов для нейро-нечеткого классификатора в ситуации отсутствия большого объема обучающей выборки (вызванной, в том числе, динамикой рубричного поля), корректировка весовых коэффициентов $r_{m_j}^{(j)}$ на всех этапах работы с рассматриваемой моделью проводится с привлечением экспертов.

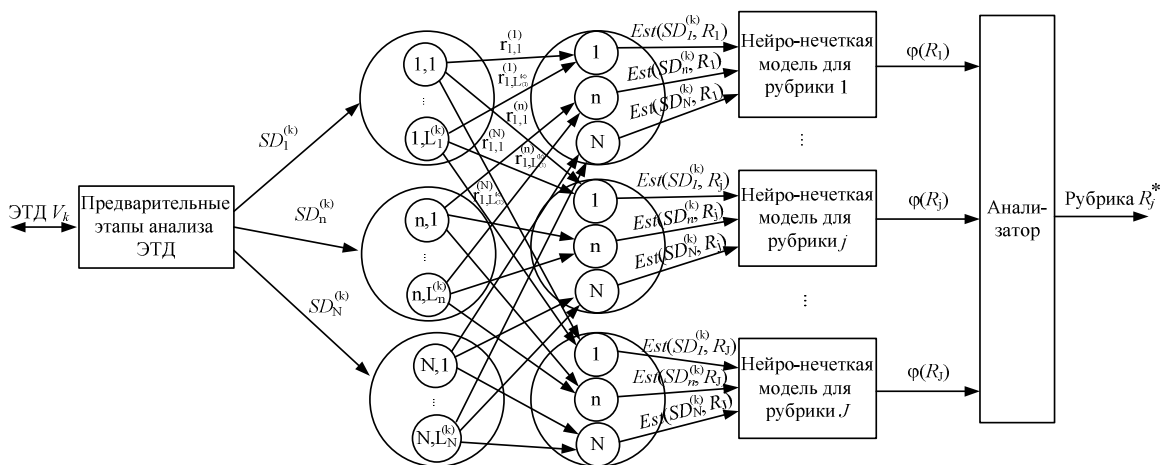


Рисунок 3 – Структура каскадного нейро-нечеткого классификатора для рубрицирования ЭНТД

Для рубрицирования ЭНТД, в условиях описанных выше, предлагается каскадная нейро-нечеткая модель, структура которой представлена на рисунке 3.

Предлагаемая каскадная нейро-нечеткая модель включает в себя:

- модель для предварительного анализа ЭНТД с использованием синтаксического парсера, предназначена для формирования множеств ЗС ЭНТД, характеризующихся одинаковой синтаксической ролью в предложениях. На вход поступает ЭНТД V_k , а на выходе формируется множество $SD_k = \{SD_1^{(k)}, \dots, SD_n^{(k)}, \dots, SD_N^{(k)}\}$, $k = 1, \dots, K$;

- модель формализации ЭНТД с использованием весовых коэффициентов, реализующая две процедуры: во-первых, сопоставление ЗС $v_p^{(k)}$ каждой синтаксической группы $SD_n^{(k)}$ с БД весовых коэффициентов и на выходе слоя формируются степени влияния ЗС относительно каждой рубрики R_j ; во-вторых, аккумулярование и нормирование весовых коэффициентов. На выходе модели определяются оценки степеней принадлежности синтаксических групп $SD_n^{(k)}$ ко всем рубрикам R_j ;

- совокупность нейро-нечетких моделей оценки принадлежности (или отнесения) к отдельным рубрикам, каждая из которых предназначена для формирования степени принадлежности ЭНТД отдельной рубрике R_j ;

- модель выбора рубрики, в наибольшей степени соответствующей анализируемому ЭНТД, предназначена для окончательного выбора рубрики, к которой относится ЭНТД.

Модель формализации электронных неструктурированных текстовых документов для нейро-нечеткого классификатора

При применении модели с использованием весовых коэффициентов для построения нейро-нечеткой модели рубрицирования предлагается следующая процедура.

Шаг 1. Проводится унификация набора параметров ЭНТД в виде:

$$S = \{s_1, \dots, s_n, \dots, s_N\}.$$

Как ранее отмечалось в подразделе 2.1, предлагается использовать следующие синтаксические характеристики слов анализируемых ЭНТД (например, выделяемые системой синтаксического анализатора текстов LinkGrammar [6]): s_1 – корневое слово или сказуемое; s_2 – подлежащее; s_3 – обстоятельство; s_4 – предмет, над которым совершается действие; s_5 – характеристика сказуемого [7].

С использованием указанных синтаксических параметров ЭНТД представляются в виде:

$$D = \{D_1, \dots, D_k, \dots, D_K\},$$

где $D_k = \{(v_1^{(k)}, h_1^{(k)}), \dots, (v_{l_k}^{(k)}, h_{l_k}^{(k)}), \dots, (v_{L_k}^{(k)}, h_{L_k}^{(k)})\}$, $v_{l_k}^{(k)}$ – l_k -е слово k -го ЭНТД, $h_{l_k}^{(k)}$ – синтаксический параметр, характеризующий l_k -е слово k -го ЭНТД такое, что $h_{l_k}^{(k)} = s_n \mid s_n \neq 0, n = 1, \dots, N, l_k = 1, \dots, L_k$.

Каждому ЭНТД D_k ставится в соответствие множество его слов SD_k :

$$SD = \{SD_1, \dots, SD_k, \dots, SD_K\},$$

где $SD_k = \{SD_1^{(k)}, \dots, SD_n^{(k)}, \dots, SD_N^{(k)}\}$, $k = 1, \dots, K$, $SD_n^{(k)}$ – множество слов k -го ЭНТД соответствующих n -му синтаксическому параметру, $SD_n^{(k)} = \{v_p^{(k)} \mid h_p^{(k)} = s_n, \forall p\}$, $n = 1, \dots, N$, $p = 1, \dots, L_n^{(k)}$, $L_n^{(k)}$ – количество слов n -го множества k -го ЭНТД.

Шаг 2. Проводится сопоставление множества SD_k всем рубрикам R_j :

$$SD_k \leftrightarrow \{R_1, \dots, R_j, \dots, R_J\}.$$

Для этого вводится множество оценок следующего вида:

$$\forall j \in J : Est(SD_k, R_j) = \{Est(SD_n^{(k)}, R_j)\}, n = 1, \dots, N,$$

где $Est(SD_n^{(k)}, R_j) = \frac{1}{L_n^{(k)}} \cdot \sum_{p=1}^{L_n^{(k)}} u_p^{(k)}$, где для каждой пары $u_p^{(k)} = r_{m_j}^{(j)} \mid w_{m_j}^{(j)} = v_p^{(k)}$, $u_p^{(k)}$ –

весовой коэффициент p -го значимого слова k -го ЭНТД для j -й рубрики, а $r_{m_j}^{(j)}$ – весовые коэффициенты значимых слов рубрик, сконфигурированные для модели с использованием весовых коэффициентов.

В результате на вход нейро-нечеткого классификатора для j -й рубрики поступает множество $Est(SD_k, R_j)$.

Результативность предлагаемого способа формализации ЭНТД несущественно зависит от количества содержащихся в нем значимых слов, что позволяет использовать нейро-нечеткий классификатор для рубрицирования документов различного объема без изменения его структуры.

Нейро-нечеткие модели оценки принадлежности электронных неструктурированных текстовых документов к отдельным рубрикам:

Детализированная структура нейро-нечеткой модели оценки принадлежности ЭНТД к отдельной рубрике приведена на рисунке 4.

На входы элементов 1-го слоя каждой такой нейро-нечеткой модели поступают значения параметров рубрицируемого ЭНТД в виде $Est(SD_n^{(k)}, R_j)$ – оценки степени соответствия слов n -й синтаксической характеристики k -го ЭНТД j -й рубрике. Элементы 2-го слоя модели реализуют нечеткие функции активации для правил вывода, которые оценивают влияние анализируемого слова на определение рубрики и представляют собой терм-множества, соответствующие значениям: «слабое», «среднее» и «высокое» влияние. Для снижения сложности использования указанных моделей представляется целесообразным выбор функций треугольного типа (рисунок 5).

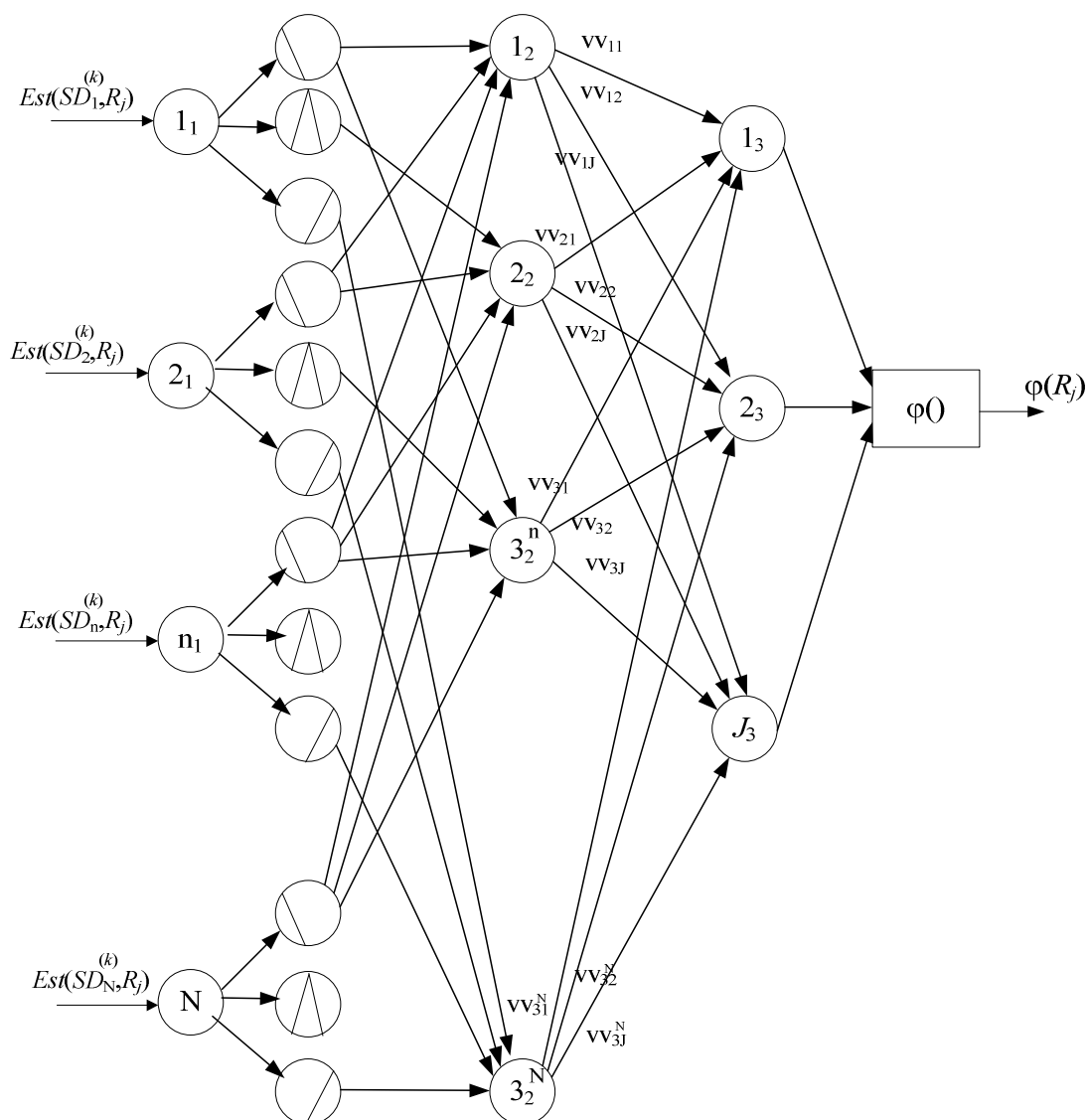


Рисунок 4 – Структура нейро-нечеткой модели оценки принадлежности ЭНТД к j -й рубрики

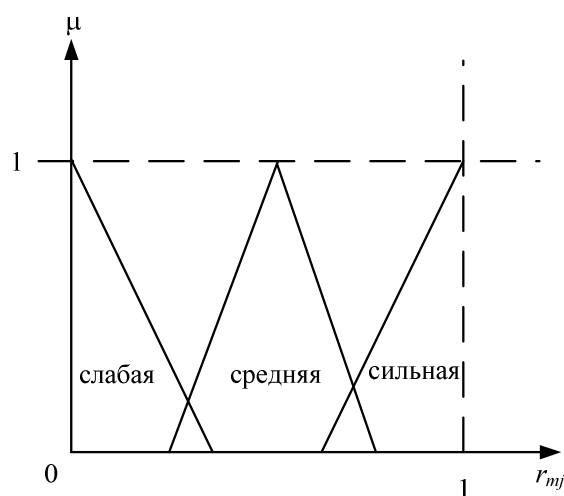


Рисунок 5 – Вид функций принадлежности к терм-множествам нечеткого множества «степень влияния параметра ЭНТД на определение рубрики»

Элементы 3-го слоя модели реализуют вычисление функции минимума по всем входным значениям, при этом количество нейронов данного слоя равно 3^N ; коэффициенты vv нейронов настраиваются при обучении. Четвертый слой состоит из J элементов, каждый из которых реализует функцию максимума.

В результате на выходе частной модели формируется степень принадлежности ЭНТД к j -й рубрике.

Модель для выбора рубрик, в наибольшей степени соответствующих электронному неструктурированному текстовому документу:

На вход каскадной нейро-нечеткой модели анализа поступает множество ЭНТД $D = \{D_1, \dots, D_k, \dots, D_K\}$, которое модифицируется предварительными этапами анализа и синтаксическим парсером в множество из синтаксических подмножеств ЗС ЭНТД $SD = \{SD_1, \dots, SD_k, \dots, SD_K\}$. Относительно каждого синтаксического подмножества вычисляется оценка его степени близости к каждой рубрике $\forall j \in J: Est(SD_k, R_j) = \{Est(SD_n^{(k)}, R_j)\}, n = 1, \dots, N$. Оценки $Est(SD_n^{(k)}, R_j)$ подаются на входы нейро-нечеткой модели для j -й рубрики. Выходы со всех нейро-нечетких моделей поступают на анализатор, который позволяет определить рубрику R_j^* , к которой относится ЭНТД по формуле:

$$R_j^* : \max_{j=1, \dots, J} \varphi(R_j).$$

Литература

1. Аналитическая справка о работе Аппарата Администрации Смоленской области с обращениями граждан [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.admin-smolensk.ru/obrascheniya_grazhdan/obzori_obrascheniy/news_16096.html. – Заглавие с экрана. – (Информационно-аналитический отчет о работе Администрации Смоленской области и Аппарата Администрации Смоленской области с обращениями граждан и оказанию гражданам бесплатной юридической помощи – Администрация Смоленской области – О).
2. Обзор обращений граждан Администрации города Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gov.spb.ru/gov/obrascheniya-grazhdan/otchet-obrascheniya/?page=1>. – Заглавие с экрана. – (Обзоры обращений – Администрация Санкт-Петербурга).
3. Мешкова Е. В. Разработка и исследование гибридных нейросетевых моделей для автоматической классификации текстовых документов: дис. ... канд. технических наук: 05.13.01 / Екатерина Владимировна Мешкова ; науч. руководитель Лебедев Б. К. – Таганрог, 2009.
4. Андреев А.М. Автоматическая классификация текстовых документов с использованием нейросетевых алгоритмов и семантического анализа [Электронный ресурс] / А.М. Андреев, Д.В. Березкин, В.В. Морозов, К.В. Симаков. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа: http://www.inteltec.ru/publish/articles/textan/57_simakov.shtml, свободный.
5. Шеменков П. С. Разработка и исследование модели нейросетевого метода анализа текстовых документов: дис. ... канд. технических наук: 05.13.18 / Павел Сергеевич Шеменков ; науч. руководитель Макаров Л. М. – Санкт-Петербург, 2009.
6. Шаграев А. Г., Фальк В. Н. Линейные классификаторы в задаче классификации текстов // Вестн. МЭИ, 2013. – № 4. – 204-209 с.
7. Попов Э. В., Фоминых И. Б., Харин Н. П., Виньков М. М. Управление знаниями. Аналитический обзор [Электронный ресурс] // Вестник РФФИ, 2004. – № 4. Режим доступа. – <http://www.rfbr.ru/pics/20742ref/uprznan.pdf>.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СФЕРЕ

В статье рассматриваются методы анализа данных при проектировании структуры и эксплуатации информационных систем в производственной сфере. Описаны функциональные возможности использования соответствия Галуа как метода анализа системных данных при принятии решений и моделировании ситуаций на производстве.

Ключевые слова: информационные системы, информационно-коммуникационные технологии, функциональный анализ, соответствие Галуа, инвариантные методы, графовая модель.

Ни одно современное производственное предприятие не может обойтись в век информационно-коммуникационных технологий без использования передовых достижений в области науки и техники. В ином случае оно обречено на неравное соперничество с другими предприятиями. Ввиду этого производственные процессы должны иметь своей основой методологии и технологии, которые отвечают запросам настоящего времени и продвигают производство на новые рубежи. Только процессы непрерывного развития предприятия могут обеспечить востребованность его продукции на рынке товаров и услуг.

Одним из движущих факторов развития предприятий в последние два десятилетия выступает всестороннее внедрение в их жизненные циклы различного рода информационных систем. Это могут быть информационные системы от управления документооборотом предприятия до управления технологическими процессами изготовления выпускаемой продукции. При этом в независимости от их главного назначения они должны соответствовать уровню современного состояния технологий и возможностям модернизации технологических процессов посредством их функционального аппарата.

Функциональный аппарат информационных систем современного производства априори должен предоставлять всестороннюю информацию о текущем состоянии предприятия от разнообразных системных показателей до анализа на нем ситуации в целом. Большинство информационных систем, используемых в производственных процессах, обладают на сегодняшний день разнообразными инструментами, которые позволяют получить количественные данные о показателях производства. Однако, далеко не во все из них заложены возможности качественного анализа полученных данных и реализации на их основе прогнозирования развития производственных ситуаций.

Таковыми возможностями способны оперировать информационные системы, которые в качестве своих базовых структурных компонентов имеют инвариантные инструменты функционального анализа данных [1]. Эти инвариантные инструменты достаточно вариативны в своем качестве и количестве. Одни из них основаны на возможных способах математического моделирования ситуаций [2]. Другие – на методах функционального анализа структурных и содержательных взаимосвязей между элементами системы или их группами [3]. Ин-

струменты второго направления менее изучены, но, как правило, позволяют получать достоверные результаты оперативно в более сжатые сроки времени. Это достигается за счет особенностей используемого математического аппарата. Как итог анализ приобретает характеристики искусственного интеллекта, в силу чего возрастает эффективность принятия решений.

Одним из методов функционального анализа информационных систем выступает соответствие Галуа. Оно основано на представлении предметной области в виде графовых структур и последующем анализе ее структурных элементов и их содержательного наполнения. Следует подчеркнуть, что моделирование информационных систем производственной деятельности не обязательно должно строиться на подходах теории графов. Функциональный анализ, основанный на методологии соответствия Галуа инвариантен относительно любого способа представления структуры информационной системы. В тоже время моделирование с использованием инструментов теории графов расширяет возможности методологии соответствия Галуа посредством двухстороннего применения их инвариантов [4]. Инвариантные инструменты соответствия Галуа и теории графов при анализе элементов структуры системных данных взаимно дополняют друг друга, являясь фундаментальной основой принятия решений.

Информационный оборот данных в любой сфере жизнедеятельности человека, в том числе и в области производства, может быть описан посредством единых характеристик. Следовательно, представление разнообразных структур производства и протекающих производственных процессов допускает возможность применения инвариантных метода анализа. Это унифицирует систему принятия решений на начальных исходных этапах анализа данных о структурных элементах. Так методология соответствия Галуа позволяет выявить степень влияния одних структурных элементов на другие уже на этапе проектирования информационной системы. При этом, если изначально информационная система была спроектирована и разработана на иных принципах моделирования и функционального анализа, то на этапах ее разработки, внедрения или эксплуатации также возможно встраивание модулей программного обеспечения, как элементов эволюционного развития компонентов ее функциональной среды.

Возможность применения соответствия Галуа как метода анализа системных данных открывает широкие горизонты его использования в производственных процессах. Информационные системы производственной деятельности можно условно разделить на две группы. Первая группа информационных систем или их компонентов отвечает за сопровождение процессов производства. А вторая – непосредственно вовлечена в технологическое обеспечение непрерывных производственных процессов. Эти группы имеют характерное отличительное свойство – подвижность структурных элементов. Если для первой группы производственных процессов свойственна высокая степень мобильности, то для второй важна стабильность функционирования системы. Эти в данном смысле противоположные характеристики являются фундаментальными свойствами функционирования производства в целом.

Методология соответствия Галуа как инвариантный метод исследования является с этих позиций инструментом содержательного анализа производственных информационных систем. Для компонентов первой группы информационных систем она позволяет выявить для каждого конкретного временного промежутка элементы производственной среды, которые влияют на ее развитие и подвижность в реальных изменяющихся условиях. Важно подчеркнуть, что условия и вектор развития зависят от множества факторов. Соответствие Галуа как метод исследования выступает здесь как инструмент выявления существенных и несущественных факторов влияния. При этом в определенный момент эти факторы могут и вовсе изменять свои характеристические свойства на противоположные по степени воздействия. Вообще говоря, одни и те же элементы по своему содержательному наполнению могут одновременно быть значимыми для одних групп элементов и не важными для других.

Для компонентов второй группы необходимо выявить в информационной системе управления технологическими производственными процессами те элементы, которые являются образующими ее структурной иерархии. При этом следует понимать, что большая часть из них подвержена постоянному влиянию других элементов. Влияние на их поведение может в отдельных ситуациях приводить к неустойчивости системы в целом. Поэтому особенно важно следить в режиме реального времени за их состоянием. Заметим, что под воздействием контента информационной среды одни образующие элементы системы могут утрачивать свое назначение. Следовательно, важно своевременно выявить иные структурные элементы, которые приобрели качество фундаментальных элементов информационной системы управления производством.

Все эти особенности в режиме реального времени позволяет отслеживать методология изучения поведения информационной системы и принятия решений, основанная на соответствии Галуа как методе функционального анализа ее контента. Она инвариантна и относительно способа представления данных и относительно времени своего применения от процессов проектирования информационной среды до ее непосредственного использования. В связи с этим информационные системы, которые программно реализуют подобные методологии функционального анализа данных и технологических процессов в производственной сфере становятся незаменимым инструментом в ежедневной работе.

В завершении обратим внимание на еще одну особенность – программного типа, которая относится к сфере разработки среды информационной системы. Методологии и технологии разработки программного обеспечения в целом и информационных систем в частности в последние годы значительно продвинулись вперед. Ввиду этого разработчики информационных сред управления производством не ограничены в применении общих или частных средств и методов их разработки [5]. Тем не менее, какой бы инструментарий не применялся для реализации методологических подходов функционального анализа данные компоненты программной среды остаются ее универсальным средством. В том числе реализация методологии соответствия Галуа является инвариантной и

относительно парадигмы программной реализации информационной системы как продукта применения информационно-коммуникационных технологий. Таким образом, можно утверждать, что использование возможностей информационных систем, таких как принятие решений, на основе анализа данных с помощью соответствия Галуа является востребованным инструментом их функционирования в производственной сфере.

Литература

1. Козлов С. В. Особенности организации и анализа данных в информационных системах // NovaInfo.Ru. – 2017. – Т. 1. – № 62. – С. 9-14.
2. Киселева О. М. Пример применения методов математического моделирования // NovaInfo.Ru. – 2016. – Т. 1. – № 42. – С. 67-70.
3. Козлов С. В. Использование соответствия Галуа как инварианта отбора контента при проектировании информационных систем // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2015. – Т. 2. № 11. – С. 220-225.
4. Козлов С. В. Интерпретация инвариантов теории графов в контексте применения соответствия Галуа при создании и сопровождении информационных систем // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – № 7. С. 38-44.
5. Размахнина А. Н., Баженов Р. И. О применении экспертных систем в различных областях // Постулат. – 2017. – № 1 (15). – С. 38.

*П.Ю. Козлов, аспирант; рук. М.И. Дли, д.т.н.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОГО ДЕРЕВА РЕШЕНИЙ ДЛЯ РУБРИЦИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ

В статье рассматриваются проблемы рубрицирования электронных неструктурированных текстовых документов. Приведена модель рубрицирования на основе нечеткого дерева решений с использованием весовых коэффициентов для случая анализа электронных текстовых документов в условиях значительной степени близости рубрик.

Ключевые слова: рубрицирование, текстовый документ, нечеткое дерево решений, жалоба, предложение, весовой коэффициент.

В настоящее время активно развиваются интернет-порталы органов государственной, муниципальной и законодательной власти, где каждый гражданин может оставить жалобу, предложение или обращение. Департаменты, ответственные за решение поступившей проблемы в строго регламентируемые сроки должны дать ответ на заявку гражданина. Следовательно возникает потребность в разработке методов и моделей анализа подобных текстовых обращений, которые позволят в кратчайшие сроки определить их рубрики, которые в свою очередь связаны с департаментами.

Обращения граждан являются электронными неструктурированными текстовыми документами (ЭНТД) и характеризуются следующими признаками: объем, частота встречаемости значимых слов, синтаксическая связность. Также условия их рубрицирования характеризуются в зависимости от значения таких признаков, как степень пересечения рубричных полей и объем накопленных статистических данных.

Исходя из выше перечисленных критериев выделяются типичные ситуации рубрицирования ЭНТД, если анализ осуществляется в условиях:

- средний размер ЭНТД;
- средняя или значительная степень пересечения рубрик;
- недостаточность статистических данных для эффективного использования традиционных математических моделей для рубрицирования ЭНТД.

Следовательно эта ситуация определяет целесообразность использования модели выбора рубрики на основе нечеткого дерева решений [3], что на основе использования экспертной информации позволит повысить точность и оперативность рубрицирования. Данная модель в отличие от существующих моделей данного типа [3, 4] должна использовать синтаксические связи и роли слов, а также нечеткую оценку различий между документами в n -мерном пространстве признаков текстов при построении и использовании нечеткого дерева решений для отнесения документа к конкретным рубрикам в условиях взаимозависимости их тезаурусов.

Процедура построения рубричного поля с использованием весовых коэффициентов включает следующие шаги:

Шаг 1. Задается первоначальный набор (множество) рубрик вида:

$$R = \{R_1, ..., R_j, ..., R_J\},$$

где J – общее количество рубрик.

Шаг 2. Выделяется набор ЭНТД с заранее определенными рубриками:

$$V^{(об)} = \{(V_1^{(об)}, RR_1), ..., (V_b^{(об)}, RR_b), ..., (V_B^{(об)}, RR_B)\},$$

где $V^{(об)}$ – обучающая выборка, $V_b^{(об)}$ – b -й ЭНТД из обучающей выборки, $RR_b \in R, b = 1, ..., B$ – рубрика, соответствующая b -му ЭНТД из обучающей выборки. В этих ЭНТД производится поиск значимых слов $v_{l_b}^{(b)}$, длина которых превышает три символа.

В этом случае b -й ЭНТД $V_b^{(об)}$ можно представить в виде:

$$V_b^{(об)} = (v_1^{(b)}, ..., v_{l_b}^{(b)}, ..., v_{L_b}^{(b)}), b = 1, ..., B,$$

где L_b – количество значимых слов b -го ЭНТД.

Шаг 3. Каждому l_b -му слову $v_{l_b}^{(b)}$ b -го ЭНТД назначается начальный весовой коэффициент (вес) $u_{l_b}^{(b)} = 0,5$, показывающий его степень соответствия j -й рубрике, к которой относится b -й ЭНТД. Таким образом, получаем множество пар следующего вида:

$$V_b^{(об)} = \{(v_1^{(b)}, u_1^{(b)}), ..., (v_{l_b}^{(b)}, u_{l_b}^{(b)}), ..., (v_{L_b}^{(b)}, u_{L_b}^{(b)})\}, b = 1, ..., B.$$

Шаг 4. Проводится подстройка весовых коэффициентов модели с исполь-

зованием элементов обучающей выборки $V^{(об)}$, в ходе которой веса $u_{l_b}^{(b)}$ значимых слов изменяются, исходя из их степени соответствия конкретной j -й рубрике с использованием алгоритма, блок-схема которого приведена на рисунке 3.13.

На выходе данного алгоритма формируются словари рубрик R_j вида:

$$R_j = \{(w_1^{(j)}, r_1^{(j)}), \dots, (w_{m_j}^{(j)}, r_{m_j}^{(j)}), \dots, (w_{M_j}^{(j)}, r_{M_j}^{(j)})\}, j = 1, \dots, J,$$

где $w_{m_j}^{(j)}$ – m_j -е слово в рубрике R_j , $m_j = 1, \dots, M_j$, M_j – общее количество значимых слов в j -й рубрике, $r_{m_j}^{(j)} \in [0, 1]$ – весовой коэффициент m_j -го слова для j -й рубрики.

Шаг 5. С учетом того, что модель рубрицирования ЭНТД предполагает учет весовых коэффициентов для нейро-нечеткого классификатора в ситуации отсутствия большого объема обучающей выборки (вызванной, в том числе, динамикой рубричного поля), корректировка весовых коэффициентов $r_{m_j}^{(j)}$ на всех этапах работы с рассматриваемой моделью проводится с привлечением экспертов.

Предлагаемая процедура построения нечеткого дерева решений для анализа ЭНТД включает в себя следующие шаги.

Шаг 1. Для всех тезаурусов рубрик R формируются корневая вершина. Количество дочерних узлов d по умолчанию равно 2.

Шаг 2. Если выбранный узел является окончательной рубрикой (листом), то переход на шаг 6, иначе находятся d пересечений тезаурусов рубрик, которые поглощают все остальные словари с коэффициентом покрытия 0,9 (ищутся d множеств тезаурусов рубрик, максимально непохожих друг на друга, т.е. их словари не должны совпадать на 90%).

Шаг 3. В случае если словари совпадают на 90% и более, то необходимо оценить близость словарей данных рубрик (сравнить соответствующие весовые коэффициенты) в n -мерном пространстве, чтобы определить необходимость построения дополнительных уровней в дереве.

Так, если расстояние ρ между словарями меньше порогового значения $\rho_{пор}$, то создание дополнительных уровней в дереве не требуется, и выбранные рубрики становятся листьями, иначе для рубрик расстояние между которыми больше $\rho_{пор}$ создается один узел дерева, а для которых расстояние больше $\rho_{пор}$ создается второй узел дерева.

Для каждой рубрики R_j вычисляются J координат по каждому w_{m_j} слову следующего вида:

$$KD^{(R_j)} = \{(w_{m_j}^{(j)}, u_{m_j}^{(j,1)}, u_{m_j}^{(j,2)}, \dots, u_{m_j}^{(j,j)}, \dots, u_{m_j}^{(j,J)})\}, j = 1, \dots, J, m_j = 1, \dots, M_j,$$

где $u_{m_j}^{(j,J)} = r_p^{(J)} \mid w_{m_j}^{(j)} = w_p^{(J)}$ – весовой коэффициент m_j -го значимого слова j -й рубрики в контексте J -й рубрики.

Для вычисления расстояния ρ между рубриками необходимо найти центры их кластерных полей:

$$C^{(R_j)} = \{U_1^{(j)}, \dots, U_j^{(j)}, \dots, U_J^{(j)}\},$$

где $U_1^{(j)} = \frac{\sum_{m_j=1}^{M_j} u_{m_j}^{(j,1)}}{M_j}, \dots, U_J^{(j)} = \frac{\sum_{m_j=1}^{M_j} u_{m_j}^{(j,J)}}{M_j}$ – координаты центра кластерного поля рубрики R_j .

Далее вычисляется ρ по следующей формуле:

$$\rho(R_j, R_i) = \rho(C^{R_j}, C^{R_i}) = 1 - \frac{1}{\sqrt{J}} \cdot \sqrt{\sum_{p=1}^J (U_p^{(j)} - U_p^{(i)})^2}$$

Шаг 4. Если не удаётся найти d пересечений на шаге 3, количество пересечений для поиска увеличивается на 1 ($d=d+1$) и повторяется шаг 3, иначе – переход на шаг 5.

Шаг 5. Переходим к первому дочернему узлу и переходим на шаг 2.

Шаг 6. Если есть следующий дочерний узел, то выбираем его и переходим на шаг 2, иначе дерево построено.

Создаваемое НДР является бинарным, хотя допускается и большая арность дерева.

Целесообразность построения и использования НДР для рубрицирования ЭНТД обусловлена одновременным выполнением следующих условий:

- рубрики взаимосвязаны по тематике, т.е. они характеризуются большой степенью пересечения тезаурусов;
- число слоев НДР больше, чем количество рубрик;
- недостаточно данных для обучения вероятностной модели, нейро-нечеткого классификатора или модели на основе весовых коэффициентов.

Процедура рубрицирования ЭНТД при помощи модели на основе НДР включает следующие шаги.

Шаг 1. Входной документ представляется в виде:

$$SD' = \{SD'_1, \dots, SD'_k, \dots, SD'_K\},$$

где $SD'_k = \{v_{l_k}^{(k)}\}$, $l_k = 1, \dots, L_k$, L_k – количество слов k -го ЭНТД.

Шаг 2. Для того чтобы определить принадлежность ЭНТД V_k к рубрикам требуется пройти нечеткое дерево решений от корневого узла до листа, сопоставляя множество SD'_k со всеми узлами нечеткого дерева решений.

$$SD'_k \leftrightarrow \{R_{\sum_1}^{(h)}, \dots, R_{\sum_g}^{(h)}, \dots, R_{\sum_G}^{(h)}\},$$

где $R_{\sum g}^{(h)}$ – сумма рубрик относящихся к g -му узлу нечеткого дерева решений на h -м уровне, G – количество узлов на h -м уровне.

Для этого введем множество оценок следующего вида:

$$\forall j \in J : Est(SD'_k, R_{\sum g}^{(h)}) = \{Est(SD_n^{(k)'}, R_{\sum g}^{(h)})\}, n = 1, \dots, N,$$

где $Est(SD_n^{(k)'}, R_{\sum g}^{(h)}) = \{(v_p^{(k)}, u_p^{(k)})\}$, а для каждой пары $(v_p^{(k)}, u_p^{(k)}) : u_p^{(k)} = r_{m_{R_{\sum g}^{(h)}}}^{(R_{\sum g}^{(h)})} \mid w_{m_{R_{\sum g}^{(h)}}}^{(R_{\sum g}^{(h)})} = v_p^{(k)}$, $u_p^{(k)}$ – степень соответствия p -го слова k -го ЭНТД сумме рубрик $R_{\sum g}^{(h)}$, соответствующих g -му узлу на h -м слое нечеткого дерева решений; $r_{m_{R_{\sum g}^{(h)}}}^{(R_{\sum g}^{(h)})}$ – среднее значение степени соответствия $v_p^{(k)}$ слова k -го ЭНТД рубрикам $R_{\sum g}^{(h)}$.

Сопоставление же ЭНТД V_k рубрикам $R_{\sum g}^{(h)}$ выполняется с использованием следующих нечетких множеств:

$$\forall j \in J, FS(SD'_k, R_{\sum g}^{(h)}) = \left\{ \left(\mu_{FS(SD'_k, R_{\sum g}^{(h)})}(SD_n^{(k)'}) / s_n \right) \right\}, n = 1, \dots, N,$$

где $\mu_{FS(SD'_k, R_{\sum g}^{(h)})}(SD_n^{(k)'})$ – степень принадлежности k -го ЭНТД $R_{\sum g}^{(h)}$ рубрик по синтаксическому параметру s_n :

$$\mu_{FS(SD'_k, R_{\sum g}^{(h)})}(SD_n^{(k)'}) = \frac{1}{L_n^{(k)}} \sum_{p=1}^{L_n^{(k)}} u_p^{(k)}, n = 1, \dots, N.$$

Введем показатель $\rho(SD'_k, R_{\sum g}^{(h)})$, характеризующий *степень соответствия* ЭНТД V_k к рубрикам $R_{\sum g}^{(h)}$. Для определения этой степени соответствия могут быть применены различные способы [5]. Наиболее целесообразным для решения данной задачи представляется использование дополнения относительного евклидова расстояния между нечеткими множествами:

$$\forall j \in J, \rho(SD'_k, R_{\sum g}^{(h)}) = 1 - \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\sum_{n=1}^N \left(1 - \mu_{FS(SD'_k, R_{\sum g}^{(h)})}(SD_n^{(k)'}) \right)^2},$$

Считается, что ЭНТД V_k в наибольшей степени относится к той рубрике $R_{\sum l}^*$, степень принадлежности к которой является максимальной:

$$R_{\sum l}^* : \max_{j=1, \dots, J} \rho(SD'_k, R_{\sum g}^{(h)}).$$

Таким образом, на каждом h -м слое для g -го узла для текстового документа вычисляются столько характеристик $\rho(SD'_k, R_{\sum g}^{(h)})$, сколько у данного узла есть дочерних узлов, среди них выбирается узел с максимальным значением характеристики принадлежности, и переходим на него для проверки следующих ус-

ловий (должно быть пороговое значение или функция активации).

Шаг 3. Шаг 2 повторяется до тех пор, пока не достигнем самого нижнего слоя, который и определяет рубрику входного текстового документа.

Пример структуры НДР представлена на рисунке 3.

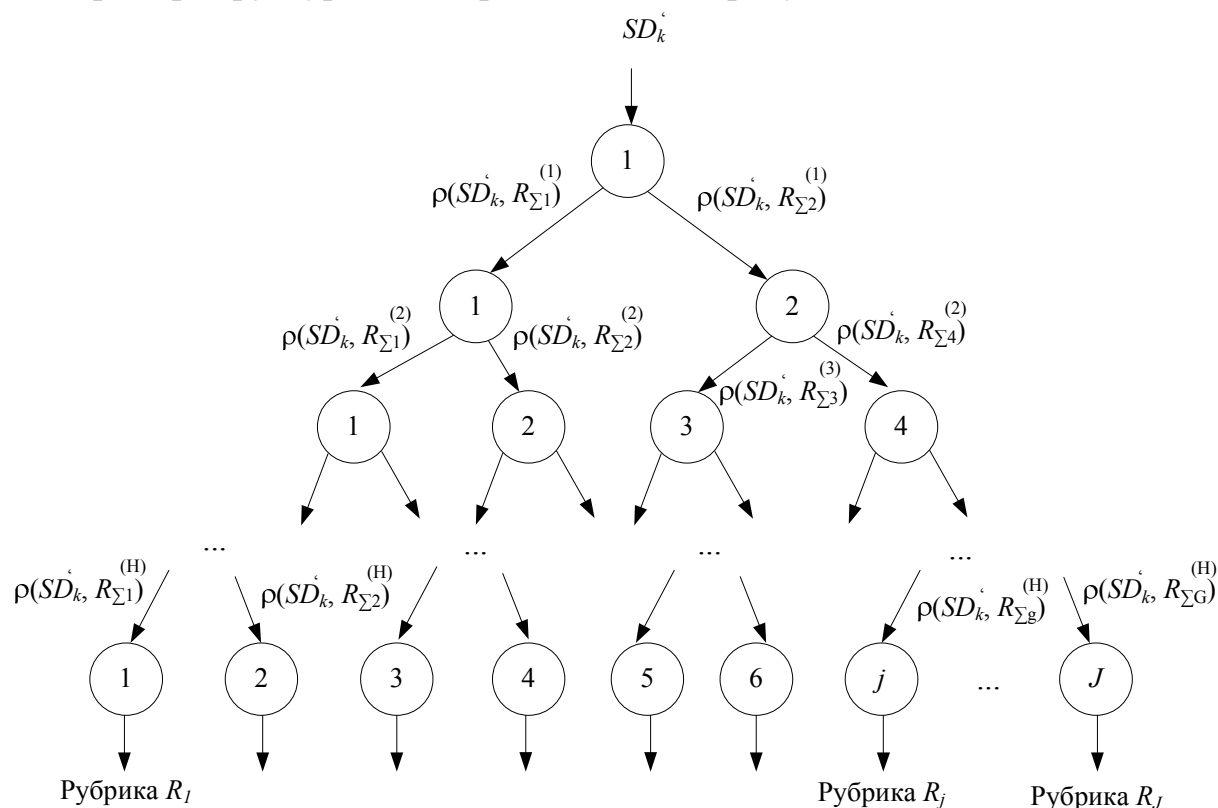


Рисунок 3 – Нечеткое дерево решений для k -го ЭНТД

Достоинства моделей анализа ЭНТД на основе НДР:

- более высокая точность рубрицирования ЭНТД при указанных выше условиях применения по сравнению с моделями, вследствие меньшей вероятности случайных ошибок рубрицирования на верхних ярусах НДР;
- меньшая трудоемкость процедуры рубрицирования ЭНТД вследствие направленного (а не переборного) анализа по отдельной ветви НДР.

Литература

1. Аналитическая справка о работе Аппарата Администрации Смоленской области с обращениями граждан [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.admin-smolensk.ru/obrascheniya_grazhdan/obzori_obrascheniy/news_16096.html. – Заглавие с экрана. – (Информационно-аналитический отчет о работе Администрации Смоленской области и Аппарата Администрации Смоленской области с обращениями граждан и оказанию гражданам бесплатной юридической помощи – Администрация Смоленской области – О).
2. Обзор обращений граждан Администрации города Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gov.spb.ru/gov/obrascheniya-grazhdan/otchet-obrascheniya/?page=1>. – Заглавие с экрана. – (Обзоры обращений – Администрация Санкт-Петербурга).
3. Lewis D.D. Representation and Learning in Information Retrieval [Text]. // PhD thesis, Computer Science Dept.; Univ. of Mass.; Amherst, M. A., 1992. – P. 91-93.

4. Sebastiani F. Machine Learning in Automated Text Categorization [Text]. // ACM Computing Surveys, 2002. – V. 34, – N. 1. – P. 1-47.
5. Сидорова Е. А. Методы и программные средства для анализа документов на основе модели предметной области: дис. ... канд. физико-математических наук: 05.13.11 / Елена Анатольевна Сидорова ; науч. руководитель Загорюлько Ю. А. – Новосибирск, 2006.

*Н.В. Котенева, к. т. н., доцент.
(ФГБОУ ВО АлтГТУ, г. Барнаул)*

ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В работе рассматривается расчет параметров контактной жесткости и особенности оценки численных значений исходных данных применительно к контакту твердых тел при внедрении сферического штампа в упругопластическое полупространство.

Ключевые слова: контактная жесткость, сферическая модель шероховатой поверхности, упругопластическое полупространство, контактное сближение.

Механика контактных взаимодействий технических систем постоянно находится в центре внимания исследователей. Это объясняется тем, что все механизмы и конструкции состоят из взаимодействующих деталей, а распределение контактных усилий между этими деталями заранее неизвестно и может быть найдено лишь в результате решения специфических задач, которые называются контактными задачами.

Контактное нагружение возникает в процессе совместной работы сопряженных деталей машин и механизмов, при столкновении движущегося тела с преградой, если их поверхности несогласованны, при осуществлении различных технологических процессов и в ряде других случаев.

Пренебрежение при конструировании технических систем контактной жесткостью во многих случаях приводит: в расчетах резьбового соединения к ошибке в необходимой силе затяжки винта 50% и в оценке прочности винта 30 %; в цилиндрическом соединении с натягом к ошибке определения давления в сопряжении 10 – 20 % при большом и 40 % при малом натягах, что влечет за собой такую же ошибку в определении изменения размеров охватываемой и охватывающей деталей. В точных машинах (станках, роботах) отсутствие учета контактной жесткости дает погрешность в оценке точности позиционирования рабочего органа машины (суппорта, схвата) до 70% [1, 2, 3].

Учитывая дискретность контакта, решение контактной задачи для единичного выступа позволяет установить зависимость между нагрузкой и сближением с последующим применением полученного решения ко всему контакту с использованием условия равновесия. При оценке взаимодействия контактирующих поверхностей твердых тел и деталей машин микронеровности реальной поверхности моделируют в виде одинакового размера тел правильной геометрической формы, расположенных на некотором основании и распределенных по определенной зависимости по высоте. В настоящее время наиболее часто используют сферическую модель шероховатой поверхности. Сила P_{const} направлена перпендикулярно к плоскости контакта, за пределами контакта напряжения от-

сутствуют. Материал штампа значительно прочнее материала полупространства и рассматривается как жесткое тело.

Для исследований были приняты следующие условия и допущения:

- 1) Материал полупространства (контртела) однородный и изотропный;
- 2) Поверхность контртела вне контакта не деформируется;
- 3) Влияние валика выдавленного материала незначительно и в расчетах не учитывается;
- 4) Скольжение в зоне контакта отсутствует.

При сопряжении жесткого сферического штампа с упругопластическим полупространством в последнем вначале возникают упругие, а затем упруго-пластические сближения. Пятно контакта диаметром d содержит центральное упругое ядро диаметром d_y (рисунок 1). С ростом нагрузки $d_y \rightarrow d$. Область упругопластического контактирования состоит двух зон: зоны упругого и зоны пластического контакта.

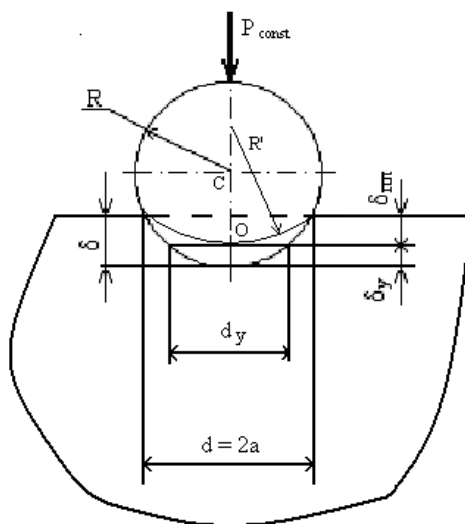


Рисунок 1 – Схема сопряжения твердого сферического штампа с упругопластической средой

Таким образом, полное сближение контактирующих тел можно представить в виде суммы упругой δ_y и пластической $\delta_{пл}$ составляющих

$$\delta = \delta_y + \delta_{пл} . \quad (1)$$

Величину остаточного сближения можно рассчитать по формуле

$$\delta_{пл} = \frac{P_{const}}{2\pi RH} , \quad (2)$$

где H – твердость поверхностного слоя, определяется по соотношению; R – радиус сферического штампа.

Согласно решению контактной задачи теории упругости упругое сближение δ_o центров масс взаимодействующих тел, описывается зависимостью Герца:

$$\delta_o = KP_{const}^{\frac{2}{3}} , \quad (3)$$

где $K = \sqrt[3]{\frac{J^2}{R}}$ – коэффициент пропорциональности между сближением и силой; $J = (1 - \mu_1^2)/E_1 + (1 - \mu_2^2)/E_2$ – упругая постоянная материалов сопряженных поверхностей; E_1, E_2, μ_1, μ_2 – модули упругости 1-го рода и коэффициенты Пуассона соответственно; P_{const} – нормальная статическая нагрузка на контакт.

В решении Герца предполагается, что кривизна взаимодействующих тел в процессе силового контакта остается неизменной. Однако с появлением местного пластического сближения условия контакта меняются и обычные «упругие» формулы должны быть скорректированы в соответствии с новыми условиями.

Принципиальное отличие этих условий от условий чисто упругого контакта тел состоит в том, что при наличии остаточного сближения сферический штамп с радиусом кривизны R находится в контакте с поверхностью остаточной вмятины радиуса кривизны R' (рисунок 1).

Величину R' можно вычислить, используя геометрическую проекцию площадки контакта на плоскость, нормальную к направлению силы поджатия. Полуось сферического отпечатка a определяется выражениями

$$a = \sqrt{2R' \delta_{nl} - \delta_{nl}^2}, \quad (4)$$

$$a = \sqrt{\left[2R - \left(\delta_{nl} + \frac{\delta_y}{2} \right) \right] \left(\delta_{nl} + \frac{\delta_y}{2} \right)}, \quad (5)$$

где R' – радиус кривизны поверхности остаточной вмятины; δ_{nl} – расстояние от центра вмятины (точка О) до наиболее удаленных от него (без учета наплыва) точек контура сферической (в плане) площадки контакта.

Из совместного решения уравнений (4) и (5) следует

$$R' = R \left(1 + \frac{\delta_y}{2\delta_{nl}} \right) - \frac{\delta_y}{2} \left(1 - \frac{\delta_y}{4\delta_{nl}} \right) \approx R \left(1 + \frac{\delta_y}{2\delta_{nl}} \right). \quad (6)$$

В соответствии с вышесказанным выражение для вычисления упругого сближения δ_y принимает вид

$$\delta_y = \frac{J^{\frac{2}{3}}}{(R')^{\frac{1}{3}}} P_{const}^{\frac{2}{3}} = \frac{\delta_o}{\Psi}, \quad (7)$$

где $\Psi = (1 + 2\delta_{nl}/\delta_y)^{1/3}$ – уточнение формулы Герца, учитывающее влияние пластического сжатия в зоне контакта на величину упругого сближения.

Совместное решение уравнений (2, 3, 7) привело к неполному кубическому уравнению, решая которое, получаем выражение для вычисления упругого сближения

$$\delta_y = K^{\frac{3}{2}} (\pi P_{const} R H)^{\frac{1}{2}}. \quad (8)$$

Полученная зависимость свидетельствует о том, что при контактном взаимодействии за пределом упругости упругие сближения определяются не только упругими свойствами материала контртела K , но и величиной остаточ-

ного смещения δ_{nl} , т.е. твердостью поверхностного слоя материала контртела H . Чем выше твердость поверхностного слоя, тем при данной нагрузке отношение δ_y/δ_0 ближе к единице. С ростом контактной нагрузки относительная разница между сближениями δ_y и δ_0 тоже возрастает.

Совмещая уравнения (1), (2), (8) получаем выражение для полного сближения в сопряжении жесткого сферического штампа с однородной упрочняемой упругопластической средой

$$\delta = \delta_y + \delta_{nl} = K^{\frac{3}{2}} (P_{const} \pi R H)^{\frac{1}{2}} + \frac{P_{const}}{2\pi R H} = \alpha P_{const} + \beta (\gamma P_{const})^{\frac{1}{2}}, \quad (9)$$

где $\alpha = 1/2\pi R H$; $\beta = K^{\frac{3}{2}}$; $\gamma = \pi R H$.

Данное уравнение представляет собой решение для общего случая контакта гладкого жесткого сферического штампа с упругопластическим полупространством. В частном случае упругого контакта $\delta_{nl} = 0$, и формула (9) переходит в формулу Герца (3). По мере увеличения нагрузки вклад упруго сближения уменьшается и в условиях насыщенного пластического контакта полное сближение описывается соотношением (2).

Выполненная в работе опытная проверка подтвердила вполне удовлетворительную точность расчетного определения δ по формуле (9) (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение рассчитанных по формуле (9) и определенных опытным путем значений контактного сближения δ

Геометрические параметры контактирующих тел		Материал, Н, МПа	Контактная нагрузка, кН	δ ,мм	
индентор	контртело			По формуле (9)	Эксперимент
R, мм	R, мм				
2,5	∞	Сталь30 960	1,0	0,017	0,016
			2,5	0,026	0,025
			5,0	0.037	0,036
5	∞	Сталь30 960	10,0	0,053	0,052
			20,0	0,074	0,073
			30,0	0,091	0,089
5	∞	Сталь 30ХГСА 2490	10,0	0,084	0,084
			20,0	0,120	0,119
			30,0	0,147	0,148

Литература

1. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин / И. А. Биргер, Г. Б. Иосилевич, Б. Ф. Шорр – М.: Машиностроение, 1993. – 640 с.
2. Колесников, Ю. В. Механика контактного разрушения / Ю. В. Колесников, Е. М. Морозов. – М.: Наука, 2010. – 224 с.
3. Решетов, Д. Н. Детали машин / Д. Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.

МАРКЕТИНГОВЫЕ ОНЛАЙН-ИССЛЕДОВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ, ФОРМИРУЮЩИЙ МАРКЕТИНГОВУЮ СТРАТЕГИЮ

В статье рассматривается использование современных информационных технологий для решения проблемы реализации инструментов, формирующих маркетинговую политику организации. Приводится сравнение различных технологий маркетинговых исследований и способы их реализации в интернет-среде. Рассмотрен подход проведения маркетинговых исследований в глобальной сети Интернет путем внедрения технологии Big Data.

Ключевые слова: маркетинговые исследования, маркетинговые онлайн-исследования, Big Data.

Проведение маркетинговых исследований помогает организациям фокусировать свое внимание на понимании поведения, желаний и предпочтений потребителей, поэтому результаты этих исследований очень важны при принятии решений о дальнейшей стратегии ее развития. Широко распространённым способом сбора данных для проведения маркетинговых исследований является личное интервью (РАPI - Paper and Pencil Interviewing). Обработка полученных этой технологией данных все чаще происходит с помощью компьютера. Развитие техники и программных средств обработки данных позволяет без особых усилий не только занести полученные в ходе интервью данные в компьютер или гаджет, но и автоматически провести их анализ. В современном мире использование технологии РАPI приводит к дублированию выполняемых работ: вначале интервьюер получает данные от респондента и записывает их на бумажном носителе, далее заносит полученные данные в компьютер. В последние годы были сделаны существенные шаги в области применения программных средств для маркетинговых исследований, которые не только решают проблему РАPI, но и позволяют проводить опрос респондентов с большей оперативностью и меньшими затратами. Такими технологиями являются: САPI (Computer-Assisted Personal Interviewing), САТI (Computer-Assisted Telephone Interviewing), CSAQ (Computer Self-Administered Questionnaire) и АСАСI (Audio Computer Assisted Self-Administration). Несмотря на преимущества использования перечисленных технологий перед РАPI, перспективным, но пока еще не имеющим больших практик использования направлением в рассматриваемой области являются маркетинговые онлайн-исследования (рисунок 1) [1]. Ежегодный рост пользователей Глобальной сети (по состоянию на 2017 год их число превысило 3,5 миллиарда человек, что составляет 46,75% от всего населения Земли), подтверждает актуальность развития этого направления [2].

	Онлайн-исследования	Маркетинговые исследования
Текущее состояние направления	Слабо развито	Развитое
Скорость обработки результатов	Высокая	Высокая/средняя
Затраты на реализацию	Низкие	Средние
Территориальные ограничения	Отсутствуют	Существенные
Оперативность внесения изменений	Высокая	Низкая
Количество ошибок	Минимальное	Среднее
Оценка реакции респондентов	Сложная	Легкая
Репрезентативность выборки	Низкая	Высокая
Контроль	Низкий	Средний

Рисунок 1 – Сравнение технологий проведения маркетинговых исследований

Маркетинговые онлайн-исследования – относительно новый формат проведения опросов, исходя из этого, данный подход является не особо изученным и имеющим небольшое количество практических реализаций. Кроме того, ограничениями при проведении маркетинговых исследований в режиме онлайн выступает возраст респондентов, поскольку люди старше 50 лет менее активны не только в использовании сети Интернет, но и в участии в опросах. Данный вид исследований должен строиться таким образом, чтобы направлять потребителя. Если необходимо распродать какой-либо товар, либо привлечь внимание общественности к какому-то вопросу, вопросы анкеты при проведении исследований должны содержать скрытый подтекст, подталкивающий респондента к такому решению. Кроме того, доступная статистика по результатам опроса, позволит укрепить заложенную идею в сознании потребителя.

Как и любой опрос, маркетинговое исследование, проводимое в сети Интернет, должно заинтересовать респондента (таблица 1).

Таблица 1 – Способы повышения популярности маркетинговых онлайн-исследований

Способ	Реализация
Пропаганда	Поощрения за прохождение опроса (пополнение счета на мобильном устройстве, начисление бонусов «Спасибо» от Сбербанка, предоставление одноразовой скидки)
Привязка опросов к социальной сети	Внедрение опросов в качестве приложения или в места, предоставляемые для размещения рекламы в социальных сетях («Facebook», «ВКонтакте», «Одноклассники» и др.)
Размещение на сайте	Размещение опросов на сайте организации, которая занимается проведение маркетинговых исследований, или размещение опросов на сайтах, близких к их тематике
Использование стимулов	Проведение акций «Пригласи друга..», «Расскажи друзьям..»
Сила убеждения	Убеждение целевой аудитории в ее уникальности

Социальные доказа- тельства	Предоставление респондентам в открытом доступе документа, подтверждающего надежность организации и ее доброе имя

Доступность маркетинговых онлайн-исследований для пользователей должна обеспечиваться их размещением на популярных сайтах, сайтах с большой посещаемостью, сайтах близких по тематике опроса. На Интернет-ресурсе должна быть реализована возможность сохранения ссылки на опрос, например, поделиться ссылкой в социальной сети или получение уведомления по электронному адресу. В это же время, ориентация маркетинговых исследований в оффлайн среде не только затруднительна в настоящее время с точки зрения результатов ее обработки, особенно если речь идет о большом объеме данных, но также не позволяет в полной мере быть нацеленной на конкретного потребителя.

С развитием сквозных информационных технологий маркетинговые онлайн-исследования могут выйти на новый этап, они могут стать ориентированными на конечного потребителя. Это может быть реализовано с помощью использования технологий Big Data. По прогнозам к 2020 году в мире будет накоплено до 40-44 зеттабайт данных, следовательно, большие данные будут использоваться повсеместно: в бизнесе, маркетинге, e-commerce и других сферах [3].

Big Data служат для обработки больших объемов данных. Любой интернет-магазин, электронно-библиотечные системы, форумы и т.д. имеют огромную клиентскую базу. Стандартными методами обработки такого количества данных либо затруднительна, может требовать больших затрат времени, либо невозможна - все зависит от применяемых на данный момент технологий. Big Data позволяет обрабатывать не только структурированную, но и не структурированную информацию. В опросах чаще всего речь идет о структурированной информации, то есть рассматриваемая технология в полной мере применима к маркетинговым онлайн-исследованиям. Кроме того, реализовать данную технологию можно с использованием обычного языка запросов, позволяющим работать с базами данных – SQL. В более сложных случаях, если маркетинговое исследование предполагает, что на вход системы также будут поступать неструктурированные данные, использование технологии NoSQL [3].

Технология Big Data позволит аккумулировать большие объемы данных не только в целом, но и по каждому конкретному потребителю. Она позволит проводить эффективные маркетинговые исследования в сети Интернет, поскольку она также является в большей части ориентированной на него. В настоящее время существуют определенные препятствия в использовании Big Data в оффлайне. Так, в оффлайн ритейле – магазине розничной торговли - сложно донести необходимую информацию до конкретного потребителя, поскольку лучшим вариантом было бы предложить покупателю именно те товары, которые ему понравятся, уже на входе в магазин, но это легко сделать только в интернет-магазине или другой используемой в магазине системе, которая хранит историю его заказов и предпочтения. Это приводит к тому, что технология Big Data может провести анализ потребителя, выявить его предпочтения, что позволит более корректно вести почтовую рассылку (только по интересующим

вопросам), предлагать пройти маркетинговое исследование в более привычной ему форме (возможен вариант подборки вопросов, исходя из того, что чаще всего рассматривает потребитель по данной тематике), также система может рассчитать оптимальное количество оповещений для того или иного контакта. Если потребитель не переходит по предлагаемым ему ссылкам, не читает сообщения, высылаемые по прохождению опроса, система должна отреагировать на действия, изменив либо способ предоставления актуальной информации по проведению маркетинговых исследований, либо частоту таких оповещений, либо систему поощрений, поскольку излишняя навязчивость может отпугнуть респондента и оставить неблагоприятные впечатления.

Таким образом, перенос ориентации в глобальную сеть Интернет и использование технологии Big Data в маркетинговых онлайн-исследованиях позволит воздействовать на каждого конкретного респондента оптимальным способом, получая наибольшую отдачу и повышая число повторных обращений, позволит собрать информацию по каждому конкретному потребителю и в целом, вести статистику и аналитику в долгосрочной перспективе и прогнозированием, то есть маркетинговые онлайн-исследования станут более востребованными и будут давать наилучшие результаты за небольшой промежуток времени. Основными недостатками в реализации рассмотренного подхода выступают большая стоимость технологии Big Data и низкий опыт внедрений, но данную технологию можно применять не только к маркетинговым онлайн-исследованиям, а также к сфере деятельности самой организации, что позволит в целом оптимизировать результаты ее работы.

Литература

- 1 Опросы с помощью компьютерных технологий [Электронный ресурс] // Step by step : URL: <http://www.step-by-step.ru/services/marketing-agency/data-capture-methods/1313/1389/> (дата обращения 12.09.17 г.)
- 2 Пользователи Интернета в мире [Электронный ресурс] // Интернет в России и в мире : URL: http://www.bizhit.ru/index/polzovateli_interneta_v_mire/0-404 (дата обращения 12.09.17 г.)
- 3 Big Data [Электронный ресурс] // DIS : URL: http://www.dis-group.ru/solutions/data_management/big_data/ (дата обращения 12.09.17 г.)

*Е.А. Назарова, студ., Б.В. Окунев, к. т. н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОЦЕНКА ЛОЯЛЬНОСТИ КЛИЕНТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕГРАЦИИ МЕТОДОВ BIG DATA И CRM-СИТЕМ

В статье рассматриваются способы оценки лояльности клиентов производственного предприятия. Рассматриваются инструменты Big Data и CRM-системы для автоматизированной обработки данных, характеризующих мнения клиентов. Авторы предлагают интеграцию вышеуказанных инструментов для повышения эффективности процесса оценки лояльности клиентов.

Ключевые слова: информационные технологии, неструктурированная информация, системы CRM, базы данных, хранилище данных, управленческие решения, Big Data.

Современная экономика требует от общественных и экономических организаций быстрого поиска управленческих решений. Концепция цифроизации экономики нуждается в создании новой эффективной модели, ключевым фактором которой является общественное мнение. Такая модель может базироваться на применении специальных подходов и инструментов, таких как Big Data и CRM.

Потребительская лояльность характеризуется как положительное отношение и постоянство обращения к услугам одной и той же организации. Среди методов оценки потребительской лояльности можно выделить:

- наблюдение за поведением клиентов;
- измерение уровня удовлетворенности;
- положительное отношение к производимому продукту или услуге.

Задача оценки потребительской лояльности включает в себя и ее формирование. Лояльность формируется исходя из ценовых методов, предложений в натуральной форме и вовлечений покупателя в действие.

Инфраструктура больших данных характеризуется массовым обменом данными для сложной обработки, поэтому Big Data является хорошим выбором для случаев, когда традиционные решения влекут за собой большие трудовые и финансовые затраты. Большие данные могут использоваться для описания огромного объема быстро изменяющихся данных, которые превышает текущую вычислительную мощность информационных систем большинства предприятий.

Основными преимуществами применения Big Data в CRM системах являются:

- способность хранить и управлять объемами данных, которые не могут уместиться в традиционную базу данных;
- организация неструктурированной информации;
- проведение анализа большого количества данных;
- построение аналитической отчетности.

Вышеуказанные преимущества могут повысить эффективность экономических решений, реагируя на изменения в поведении клиентов, и выявляя рыночные тенденции в режиме реального времени.

Big Data может изменить способ управления взаимоотношениями с клиентами. Большие данные предлагает новые мощные инструменты, которые смогут идентифицировать возможности продаж, а также дать анализ ответов клиентов на продукцию, объединяя внутренние данные с комментариями, сделанными в социальных сетях.

Для интеграции Big Data в решение CRM можно выделить следующие причины [1]:

- улучшение анализа клиентов (происходит анализ всех клиентских точек, включая социальные сети, электронную почту, интернет, коллцентр; у CRM появляется возможность сегментировать клиентов в соответствии с их действиями);

- наиболее наглядное отображение операций с клиентами (Big Data предоставит предприятию показатели от продаж, маркетинга и обслуживания клиентов; у организаций появится возможность прогнозировать и определять коэффициент возврата инвестиций, а также использовать его для поддержки дополнительных инвестиций в CRM);

- лучшее принятие решений (после того, как полученные значения или недостатки в операциях, которые ориентированы на клиента, станут понятными, в организации могут быть внесены некоторые коррективы или приняты наиболее эффективные решения);

- ускоренное моделирование (применяя большие данные, организации получают возможность прогнозировать, как клиенты будут реагировать в будущем, основываясь на истории их поведения);

- бенчмаркетинг (мощным компонентом «Big Data» является способность осуществлять комплексный бенчмаркетинг, что позволяет организациям определять такой важнейший показатель, как настроение клиентов).

Обобщенная схема проведения аналитики с помощью Big Data представлена на рисунке 1.

Business Intelligence служит для перевода информации к осмысленному виду. С помощью нее реализуется бизнес-анализ. Данная платформа может обрабатывать большие объемы неструктурированных данных.

Для качественного обслуживания пользователей необходимы данные в структурированном и неструктурированном виде. Источниками данных могут быть открытые базы данных, социальные сети, блоги.

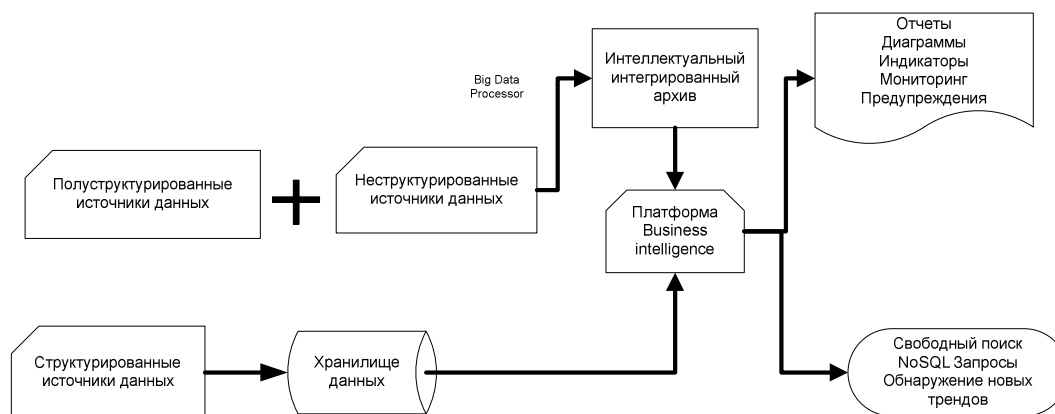


Рисунок 1 – Проведение аналитики с помощью «Больших данных»

Big Data повышает эффективность маркетинговых кампаний. Интеграция аналитики и управления маркетинговыми кампаниями представлена на рисунке 2.

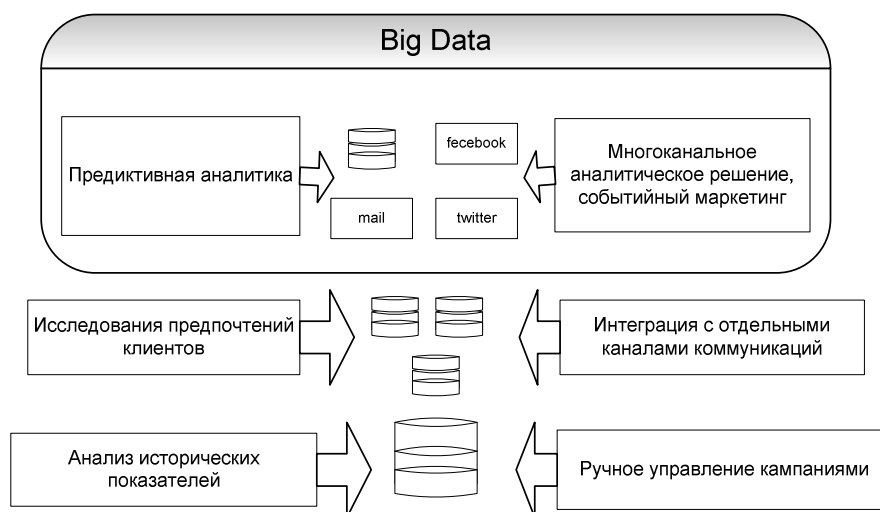


Рисунок 2 – Интеграция аналитики и управление маркетинговыми кампаниями

Для проведения анализа больших данных применяют следующие методы [2]:

- методы data mining позволяют выявить скрытый закономерности в массиве данных (ассоциативные правила, классификация, кластерный анализ, регрессионный анализ и т.п.);
- методы краудсорсинга, которые основаны на категоризации и обогащении данных силами широкого, неопределённого круга лиц, привлечённых на основании публичной оферты, без вступления в трудовые отношения;
- методы смешения и интеграции данных, представляющие собой набор техник, позволяющих интегрировать разнородные данные из различных источников для осуществления глубинного анализа (цифровая обработка сигналов и обработка естественного языка);
- методы искусственных нейронных сетей;
- методы пространственного анализа, использующие топологическую, геометрическую и географическую информацию в данных;
- методы сетевого анализа, методы оптимизации, в том числе генетические алгоритмы, методы распознавания образов, прогнозная аналитика, имитационное моделирование, статистический анализ.

В основу собора и хранения Big Data положены инновационные технологии NoSQL, MapReduce, Hadoop[3].

Таким образом, применение сбора и анализа данных с помощью интеграции Big Data и CRM-систем способствуют принятию более эффективных управленческих решений для прогнозирования и корректировки своих бизнес-решений в режиме реального времени. Решения, реализованные в CRM с применением больших данных, предоставляет руководству организаций эф-

фективный инструмент для разработки стратегии на базе достоверной информации о поведении клиентов и изменений рынка.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00491 А

Литература

1. CRM and Big Data [электронный ресурс] URL: <https://www.crmswitch.com/crm-industry/crm-and-big-data/> (Дата обращения 18.09.2017)
2. Гобарева, Я.Л., Ширнин Г.В. Большие данные в банковской сфере // Валютный контроль. Валютное регулирование. – 2014. - №8. – С. 58-63
3. Гобарева, Я.Л. Возможности технологии Big Data для повышения качества эксплуатации CRM-систем/ Я.Л. Гобарева // Транспортное дело России. – 2015. - № 5. – С. 62-63.

Б.В. Окунев, к.т.н., доц.; А.С. Рындина, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ SAP LEONARDO В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

В статье рассмотрены проблемы производственных организаций в области развития инновационной и научно-исследовательской работы в условиях дефицита финансовых ресурсов. Приведены основные возможности платформы Sap Leonardo для нахождения путей решения вышеназванных проблем.

Ключевые слова: автоматизация производственных процессов, blockchain, Sap Leonardo, Big Data, системы аналитики.

В современных условиях рыночной экономики на уровень конкурентоспособности производственных организаций огромное влияние оказывает применение современных информационных технологий, а также ведение инновационной деятельности. Большое внимание уделяется эффективности функционирования информационных технологий, используемых для автоматизации основных бизнес-процессов.

Однако, не смотря на увеличивающееся количество организаций, применяющих автоматизированные информационные системы и технологии, их процент в области инновационной активности снижается (8% в 2016 г., по сравнению с 10% в 2014 г. и 9% в 2015 г.) [1]. Следовательно, можно предположить, что только внедрение инновационных информационных технологий позволит производственным организациям повысить эффективность своей деятельности. Следует отметить, что не все организации обладают достаточным финансированием, что также является причиной снижения инновационной активности [2].

В большинстве случаев, применяемые автоматизированные информационные системы повышают эффективность отдельных бизнес-процессов, что создает проблемы для дальнейшей интеграции применяемых систем. Все это затрудняет деятельность по стратегическому планированию и управлению организацией.

Таким образом, можно выделить следующие проблемы, присущие многим производственным организациям:

- дефицит финансирования (организации не имеют возможности развиваться, внедрять инновации, осваивать высший уровень производства);
- недостаточно развитая научно-исследовательская работа в сфере деятельности организации (недостаток разработок и современных исследований приводят к постепенному упадку деятельности и снижению темпов роста);
- трудности планирования деятельности по всем горизонтам (долгосрочного, текущего, оперативного) на всех уровнях управленческой вертикали;
- высокая трудоемкость сбора и обобщения (консолидации) данных разных информационных систем.

Для решения вышеуказанных проблем представляется рациональным использование такой системы как платформа Sap Leonardo. Она основана на инновационной технологии blockchain, связанной с криптозащитой и распределенной системой, построенной на одноранговых сетях.

SAP Leonardo представляет собой платформу, которая включает в себя множество блоков-компонентов – машинное обучение, интернет вещей, Big Data, Research Data, аналитика и т.п. Клиент или разработчик могут собрать из этих блоков необходимую систему автоматизации. SAP Leonardo работает на единой технологической платформе – использует систему хранения данных в оперативной памяти SAP HANA, систему работы с распределенными хранилищами Hadoop [3] (рисунок 1).

Цифровая инновационная система SAP Leonardo интегрирует современные технологии (рисунок 2) и позволяет легко их использовать в облачной среде. Методология дизайн-мышления и опыт SAP позволят быстро внедрить новые возможности и бизнес-модели и ускорить цифровую трансформацию. Следовательно, использование SAP Leonardo позволит расширить и автоматизировать бизнес-процессы, быстро разрабатывать и внедрять проекты, повышающие возможности новых бизнес-моделей.

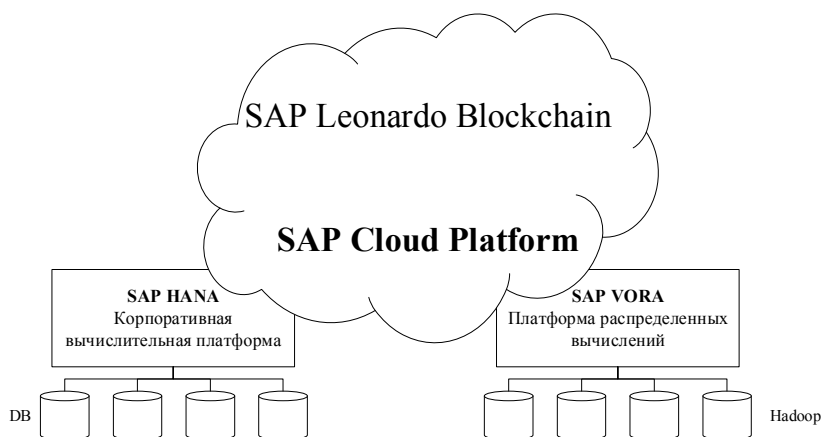


Рисунок 1–Платформа Sap Leonardo



Рисунок 2 – Составляющие SAP Cloud Platform

Таким образом, Sap Leonardo, а именно использование облачной технологии (платформы) Sap Cloud Platform, позволит организациям повысить свой уровень научно-исследовательской деятельности, что в целом повысит уровень инновационной вовлеченности производственных организаций.

На базе платформы Sap Cloud Platform, для решения проблемы высокой трудоемкости сбора и обобщения (консолидации) данных разных информационных систем можно воспользоваться такими технологиями как Big Data, аналитика и blockchain. Преимуществом выступает то, что в данной платформе можно применять и экспериментировать с данными технологиями, создавая собственный продукт, учитывающий особенности конкретной организации (и ее вида деятельности) (рисунок 3).

Blockchain представляет собой граф, в котором фиксируются транзакции, файлы, информация и т.д. Каждый участник сети может просмотреть данные и подтвердить (или отвергнуть) их с помощью алгоритма консенсуса. После утверждения, они сохраняются как совокупность зашифрованных “блоков”, расположенных в хронологической “цепочке”.

После проведенной операции над данными блоки нельзя изменить без нарушения всей цепочки транзакций. Эта цепочка синхронизируется на каждом компьютере, который использует сеть (вместо централизованного хранения) – что создает неизменяемые системные записи, а также встроенную прозрачность и доверие между участниками.

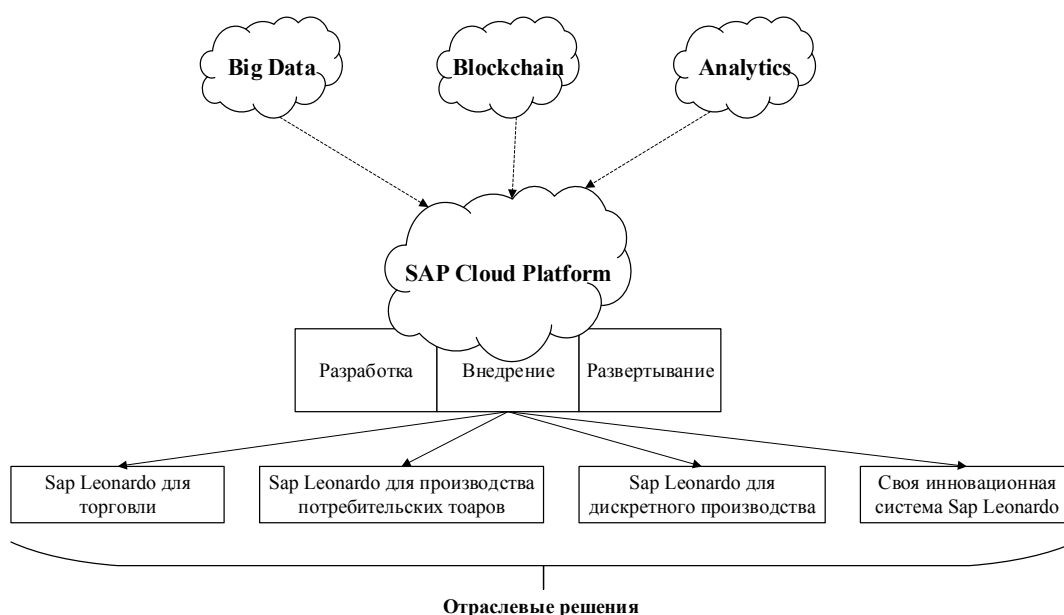


Рисунок 3 – Создание приложений при помощи SAP Cloud Platform

Путем создания дополнительного уровня доверия и безопасности в традиционных моделях, blockchain дает участникам возможность совершать сделки непосредственно друг с другом, уменьшая потребность для некоторых видов посредников (например, услуг банков). В результате организуются более прозрачные платежи и бизнес-процессы в целом.

Непосредственно для производственных организаций технология blockchain имеет потенциал для улучшения прозрачности и подотчетности в рамках всей цепочки поставок. Приложения, основанные на blockchain, могут использоваться для отслеживания и трассировки материалов, а также ускорить поток сырья и материалов. Следовательно, сокращая число посредников и ускоряя выполнение процессов, бизнес организации становится прозрачнее, что повышает лимиты доверия к данной организации и, в последствие, уровень ее конкурентоспособности. Также, данная технология обеспечивает высокий уровень информационной безопасности и снижает риск мошенничества благодаря тому, что данные в blockchain не могут быть изменены. Кроме того, blockchain в Sap Leonardo является программируемым инструментом, что позволит автоматически запускать действия после выполнения оговоренных условий.

Таким образом, применение данной технологии в рамках Sap Leonardo для производственных организаций позволит автоматизировать процессы цепочки поставок, что снизит издержки и увеличит темпы производства, делая бизнес организации более эффективным.

В Sap Leonardo компонент Big Data предоставляет возможности хранения большого объема данных при помощи платформы Hadoop, а также способы вычислений в режиме реального времени. Данные могут храниться как локально, так и в облаке, что делает разрабатываемые системы на Sap Leonardo масштабируемыми. Следовательно, данная технология позволяет решить проблему трудоемкости сбора и обобщения информации.

Технология аналитики в Sap Leonardo позволяет анализировать и обрабатывать данные по мере их поступления. Данная технология обладает гибкой подготовкой данных, превращая их в ценную, легко отображаемую информацию. Технологии бизнес-аналитики дают возможности планирования и прогнозирования: прогнозное моделирование данных; управление производительностью организации; стратегическое управление; планирование, бюджетирование и прогнозирование; управление затратами и прибылью; отчетность организации. Таким образом, вышеназванная технология позволит повысить эффективность управления организацией.

Для ознакомления и обучения, Sap Leonardo предоставляется бесплатно, однако для полноценного использования необходимо производить ежемесячные выплаты (2700 руб. чел./мес.) [4]. Следовательно, на начальных этапах использования данной платформы организации могут понести значительные издержки. Однако, с использованием платформы, повысится эффективность функционирования организации, следовательно, сократятся постоянные издержки и повысится прибыль, что в свою очередь позволит окупить Sap Leonardo.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение Sap Leonardo позволит производственным организациям разрабатывать собственные решения и программы, что в общем положительно скажется на их инновационной и научно-исследовательской деятельности. Использование на базе Sap Cloud Platform технологий blockchain, Big Data, аналитика позволит решить проблемы, связанные хранением большого объема информации, их обработки, анализа, позволит решить проблему консолидации данных из различных информационных систем, а уровень аналитики позволит эффективно управлять производством за счет качественного планирования. Следовательно, Sap Leonardo позволит автоматизировать важные производственные процессы и повысить эффективность деятельности и конкурентоспособность организации.

Однако, также для повышения инновационной деятельности производственных организаций России и возможности использования Sap Leonardo требуются значительные денежные средства. Со стороны государства требуется поддержка организаций в финансировании для реализации программы по цифровизации экономики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00491 А

Литература

1. Наука и инновации: Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/science/ (дата обращения: 21.09.2017)
2. Рындина А.С. Факторы, ограничивающие развитие инноваций // Сб. трудов XIII –ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика». Смоленск : Универсум. 2016. С.290-294.
3. SapLeonardo. Цифровая инновационная система [Электронный ресурс]: <https://www.sap.com/cis/products/leonardo.html#> (дата обращения: 21.09.2017)
4. SAP Cloud Platform: PaaS разработка приложений [Электронный ресурс]: <https://www.sap.com/cis/products/cloud-platform.html> (дата обращения: 21.09.2017)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АДАПТАЦИИ ПЕРСОНАЛА К ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЕ СЕТЕВЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

В статье рассматриваются проблемы адаптации новых сотрудников в активно расширяющуюся сетевую организацию при минимальных временных затратах. Приведено описание разработанной авторами архитектуры программного обеспечения для оптимизации рассматриваемого процесса.

Ключевые слова: оптимизация, адаптация персонала, архитектура программного обеспечения, Интранет, информационная безопасность.

В современных быстроразвивающихся организациях ценным фактором является время. Если организация активно расширяется, то увеличивается количество рабочих мест, что говорит о необходимости как можно быстрее найти подходящего сотрудника и внедрить его в организацию. Для сотрудника, приходящего в организацию, создают рабочее место, оборудованное соответствующим программным и аппаратным обеспечением. Для того чтобы сотрудник быстро адаптировался к бизнес-процессам организации и начал эффективно выполнять свои обязанности, ему необходим доступ к информационным ресурсам организации (в зависимости от занимаемой должности). Для этого необходимо получить разрешение соответствующих руководителей и задействовать сотрудников ИТ-отдела организации. В общем виде, такой бизнес-процесс можно представить следующей цепочкой событий (рисунок 1).

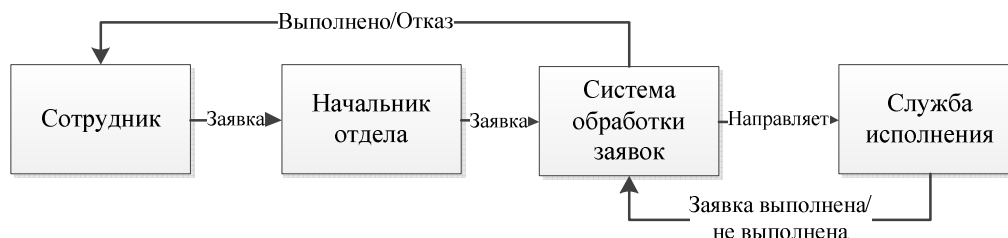


Рисунок 1 – Процесс обеспечения нового рабочего места необходимым программным и аппаратным инструментарием

Выполнение вышеуказанной цепочки требует значительных временных затрат. Кроме того, в данном процессе на разных этапах возможны различные ошибки. Как следствие, сотрудник не может сразу приступить к выполнению своих обязанностей, а сотрудники службы эксплуатации ИТ-инфраструктуры вынуждены отвлекаться от своих непосредственных обязанностей. Следовательно, вышеприведенный процесс необходимо оптимизировать с точки зрения временных затрат (минимизировать время).

Для этого в центре обработки и хранения данных организации, следует создать сервер-хранилище, защищенное в соответствии с политикой информационной безопасности (ИБ). Такой подход используется во многих сетевых организациях (например, в электросетевых [1]). В нем будут храниться образы, установочные компоненты и инструкции необходимого программного обеспе-

чения(ПО)для каждой существующей должности. При приеме на работу нового сотрудника не нужно будет отправлять заявку на получение разрешения на доступ к информационным ресурсам организации. Процесс адаптации персонала к ИТ-инфраструктуре будет заключаться в установке ПК на рабочее место сотрудника, автоматической загрузке установочных компонентов программ на компьютер и включении нового рабочего места во внутреннюю сеть организации – Интранет.

Для оптимизации рассматриваемого процесса можно предложить следующую архитектуру, состоящую из трех основных блоков:

1. Сервер. Установочные файлы и образы всего программного обеспечения должны храниться на специальном сервере (не облачном), находящемся в центре хранения и обработки данных сетевой организации.

2. Клиент. На клиентском ПК нового сотрудника в систему помещается специальная программа, которая должна предоставлять выбор ПО, необходимого данному сотруднику.

3. Связующий блок-роутер, выполняющий несколько важных функций:

- постоянная проверка на появление в сети Интранет нового устройства;
- получение и пересылка IP-адреса нового устройства;
- проверка и сравнение входящих и исходящих пакетов данных.

Другими словами, роутер выступает в роли связующего звена, которое и организует передачу установочных файлов на клиентский ПК. Таким образом, предложенную архитектуру можно представить с помощью схем, отражающих различные этапы подключения.

На рисунке 2 представлен этап, отражающий состояние, когда в сети еще не появились новые устройства:

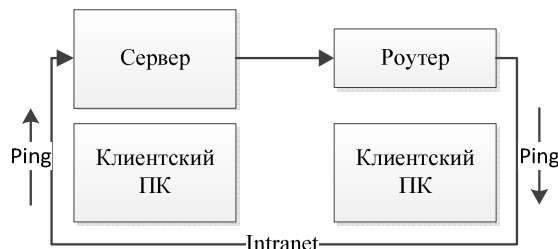


Рисунок 2 – Запрос роутера на появление в сети новых устройств

На этом этапе роутер постоянно проверяет сеть на наличие новых устройств с помощью специальной утилиты Ping. Эта утилита отправляет запросы определенного протокола указанному узлу сети и фиксирует поступающие ответы (на данном этапе, ответов не поступает). Сеть находится в постоянной работе, т.е. сервер всегда включен и находится в сети.

Следующий этап – появление нового устройства. Ping, посланный роутером, находит ответ в сети. После обнаружения нового устройства, роутер получает IP-адрес устройства. Данное состояние представлено на рисунке 3.

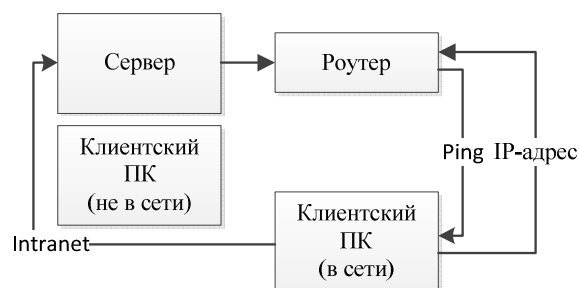


Рисунок 3 – Появление нового устройства в сети

Третьим и последним этапом является передача пакетов данных на компьютер клиента с сервера, их инсталляция и дальнейшая полноценная работа клиента. Установку необходимых инструментов осуществляет программа, установленная изначально на ПК клиента. Несмотря на то, что новое устройство было обнаружено и на него произошла передача данных, роутер в дальнейшем не прекращает свою работу, продолжая осуществлять мониторинг сети. Вышеописанный этап представлен на рисунках 4 и 5.

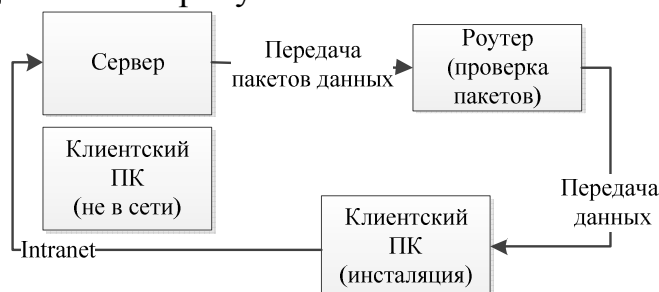


Рисунок 4 – Передача пакетов данных на новое устройство и их инсталляция

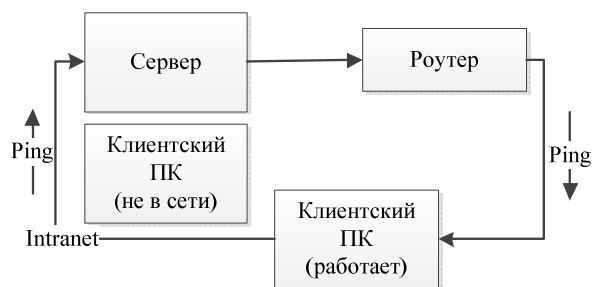


Рисунок 5 – Полноценная работа нового пользователя в сети

Для предлагаемой архитектуры необходимо обеспечить выполнение следующих требований:

1. Сеть должна поддерживать технологию загрузки пакетов данных LAN PXE (LocalAreaNetworkPrebootExecutionEnvironment). Это подход, который позволяет клиентскому компьютеру загружаться, используя только свою сетевую карту[2].

2. Сервер должен быть защищен от перебоев с питанием, т.е. подключен к источнику резервного питания.

3. Сервер и сеть должны быть защищены от утечки информации и прочих атак в соответствии с политикой информационной безопасности (ИБ) сетевой организации.

4. Вмешательство в работу системы человека должно быть сведено к минимуму.

5. Данные, находящиеся на сервере, должны быть дублированы с помощью использования такого метода, как зеркалирование. Зеркальная копия постоянно синхронизируется с базой данных основного сервера.

Вышеперечисленные требования к системе позволят обеспечить ее бесперебойную и безопасную работу.

Таким образом, предлагаемое решение для оптимизации процесса адаптации персонала в ИТ-инфраструктуру сетевой организации позволит:

- сократить время на организацию рабочего места нового сотрудника в сетевой организации;

- упростить процесс установки программно-аппаратных инструментов, тем самым уменьшив вероятность появления ошибок того или иного рода;

- создать некую информационную базу, хранящую образы ПО, которая обеспечит в дальнейшем предпосылки для повышения производительности труда сотрудников ИТ-отдела.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00491 А

Литература

1. Какатунова Т.В., Гончарова Т.С. Формирование системы информационной безопасности в электросетевой компании // Сб. трудов XIV-ой Межд. науч.-тех. конф. студентов и аспирантов. В 3 т. Т. 3. – 2017. – 247 с.
2. Что такое сетевая загрузка (PXE) и как ей можно пользоваться: [Электронный ресурс] // Библиотека сайта linux. URL: <http://rus-linux.net/MyLDP/boot/pxe01.html> (Дата обращения: 23.09.2017).

В.А. Орехов, инд. предпр.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СТРУКТУР ПРЕДПРИЯТИЙ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

В статье рассматриваются общие тенденции развития сетей управления промышленным оборудованием. Приведены условия и задачи, определяющие перспективность и своевременность появления высокоскоростных беспроводных сетевых систем управления, контроля и передачи информации. Обосновывается необходимость разработки и внедрения беспроводных сетей миллиметрового диапазона на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: информационные системы промышленных предприятий, промышленные информационные сети, беспроводной информационный обмен, радиоволны миллиметрового диапазона.

Быстрые темпы развития информационных систем промышленного назначения обусловлены, прежде всего, переходом к новым структурам в организации промышленного производства. Прежде всего, это – роботизированные линии, комплексно автоматизированные цеха, интеллектуальные промышленные системы. То, что еще совсем недавно воспринималось как фантастика, се-

годня становится нормальным явлением, информационная поддержка производства стала в один ряд с технологическими новинками, самыми современными техническими решениями. В современных условиях важно не только организовать комплексное управление оборудованием в производственном цикле, но и объединить этот процесс с подготовкой производства, контролем качества, планированием, снабжением.

Долгое время информационные структуры на производстве развивались в отдельных сегментах исходя из текущих задач. При появлении станков с числовым программным управлением (ЧПУ) появились цеховые информационные структуры. Когда возникла необходимость автоматизации технологических линий, были использованы преимущества компьютерных технологий, в производстве стали широко использоваться промышленные компьютеры. Управление производством в своем развитии на определенном этапе потребовало перехода на электронное планирование, использование баз данных, организации корпоративных сетей.

Сейчас все сегменты информационных структур предприятий должны работать в тесной координации, а, следовательно, должны меняться и подходы к организации единого информационного пространства.

Нами были проанализированы тенденции текущего развития информационных структур предприятий с точки зрения интеграции сетевых технологий, используемых в других областях науки и техники, востребованных для применения в промышленном производстве [1,2,3].

Основные звенья промышленного производства расположены на уровне цеха и связаны технологическими цепочками, которые требуют организации информационного обмена между звеньями при выполнении своих функций. Традиционно в этой сфере для информационного обеспечения используются промышленные контроллеры, ПЛК и промышленные компьютеры, объединенные в структурированные сети, получившие название исходя из их назначения – промышленные информационные сети (ПИС). Их неоднородность, а так же сложность применения ввиду несовместимости, обусловлены историческим развитием и сложившимся многообразием, начиная от полносвязанных структур на интерфейсе RS-232 до волоконно-оптических сетей. Задачи, решаемые ПИС, обычно связаны с обеспечением надежной адресной передачи информационных блоков небольшого размера с привязкой к реальному времени.

Имеющееся технологическое оборудование использует вполне конкретные виды ПИС и протоколы, информационные технологии меняются только с заменой оборудования. Поэтому прогресс в этой области проходит относительно медленно.

В связи с этим, в ближайшем будущем понадобятся технические средства, которые будут легко интегрировать различные виды сетей и давать возможность их взаимодействия при построении технологических цепочек в новых реалиях развития производства.

Сети центральных устройств управления (контроллеры и компьютеры) уровня цеха фактически к настоящему времени перешли на стандарты Ethernet,

адаптированные под реальные производственные условия. Это, так называемый, Industrial Ethernet. Произошедший переход и связанный с этим рост сегмента ПИС позволяет легко интегрировать цеховые информационные комплексы к информационным структурам управления производством, обеспечить их совместное функционирование.

Поскольку Ethernet изначально разрабатывался для компьютерных сетей, многие требования ПИС к нему малоприменимы. Например, надежная работа с сетевыми процессами в реальном времени. Протоколы канального уровня помогают адаптировать информационные модели Ethernet и традиционные стеки промышленных систем. Многие проблемы снимаются за счет высокой скорости информационного обмена и возможностью туннелирования пакетов через транзитные сети.

Еще одна тенденция в развитие цеховых информационных структур – стремление к обеспечению мобильности информационных узлов. Начало этому процессу положили робототехнические комплексы, которые в отличие от станков с ЧПУ могут перемещаться, изменять свою структуру в процессе работы. Механически жесткие подключения коммуникаций к информационным узлам, в этом случае, становятся неприемлемы. Таким образом, появился еще один сегмент развития промышленных информационных сетей – мобильные беспроводные сети промышленного назначения. Яркими представителями данного сегмента являются сети IEEE802.15, адаптированные сети стандартов Wi-Fi. Развитие мобильных сетей в сегменте ПИС сдерживается повышенными требованиями к устойчивой работе в цеховых условиях. К сожалению, при использовании радиочастот начала гигагерцового диапазона, к которым и относятся сети Wi-Fi, проблемы помехоустойчивости и стабильной работы радиоканалов принципиально не могут быть качественно решены, адаптивные протоколы при смене видов модуляции обычно работают со значительным снижением скорости обмена и ухудшением качества приема-передачи потока информации.

Новые перспективы открывает развитие средств беспроводного информационного обмена с использованием радиоволн миллиметрового диапазона [4]. Современные тенденции позволяют прогнозировать быстрое развитие элементной базы в этой области, появление относительно недорогого сетевого оборудования с рабочими частотами до 100 ГГц. С переходом в диапазон миллиметровых волн резко повышается предел пропускной способности информационных каналов. Само по себе повышение скорости кажется не слишком востребовано для ПИС, однако при этом передача данных становится практически мгновенной, а пропускание канала не ограниченным. Это позволяет говорить о сетевых процессах реального времени – управлении оборудованием в реальном времени посредством сетевых транзакций.

В последнее время становится актуальным и востребованным передача потоков данных, видеоинформации в системах технического зрения, комплексах мониторинга и контроля. Информационное обеспечение подобных систем так же немислимо без мобильных технологий с высокими скоростями обмена.

Выводы:

1. Современные тенденции развития сетевых технологий находят свое отражение в области информационного обеспечения производства, интегрируются в различные уровни структур промышленных предприятий

2. Востребованной тенденцией в области информационного обеспечения цехового уровня является развитие мобильных систем, основанных на беспроводных информационных технологиях. Актуальным направлением исследований является разработка технических систем миллиметрового диапазона, обеспечивающих увеличение помехозащищенности информационных каналов и выполнение требований управления реального времени.

Литература

1. Вишневский В., Фролов С., Шахнович И. Миллиметровый диапазон как промышленная реальность. Стандарт IEEE 802.15.3с и спецификация WirelessHD. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2010, № 3, с.70–79.
2. Вишневский В., Фролов С., Шахнович И. Персональные сети миллиметрового диапазона. Стандарт ЕСМА-387. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2010, № 5, с.46–55.
3. Вишневский В., Фролов С., Шахнович И. радиорелейные линии связи в миллиметровом диапазоне: новые горизонты скоростей-387. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2011, № 1, с.90–97.
4. Строев Н.Н., Астахов С.П. Перспективы разработки беспроводного оборудования миллиметрового диапазона для промышленных информационных сетей. Сборник трудов VI Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2016». Смоленск: Издательство «Универсум», филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске, 2016. Т.2, С. 201-205.

А.В. Офицеров, асп.

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

СТРУКТУРНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЛИНГА ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В статье предложена и описана структурно-информационная модель контроллинга инновационных процессов приборостроительных предприятий, обеспечивающая поддержку принятия решений по выбору конкретных инструментов управления проектами с учетом влияния факторов неопределенности и технико-экономических характеристик реализации его отдельных этапов. Применение данной модели позволит повысить эффективности как проект-менеджмента, так и поддерживающих бизнес-процессов на приборостроительных предприятиях

Ключевые слова: Инновационный процесс, теория принятия решений, контроллинг, структурно-информационная модель, приборостроение.

В современных условиях развития экономики одним из главных факторов успешного функционирования организации является ее активная инновационная деятельность. Одним из ярких примеров наукоемких отраслей является приборостроение. Это обусловлено высокой сложностью выпускаемой продукции, которая должна обладать определенным уровнем надежности и длительным периодом эксплуатации. Инновационные процессы в приборостроении, имеют ряд особенностей, усложняющих принятие решений по их управлению, среди которых самыми значимыми являются [1,2]:

- необходимость адаптации организационной структуры контроллинга ин-

новаций к изменяющимся факторам внутренней и внешней среды;

- полное или частичное отсутствие статистической информации, которая характеризует длительность каждого из этапов инновационного процесса и используемые для их реализации ресурсы;

- существенное влияние характеристик результатов реализации предыдущих этапов инновационного процесса на его последующие этапы.

Используемые в настоящее время математические методы и инструменты контроллинга не позволяют учесть описанные особенности, что приводит к снижению результативности реализуемых инновационных процессов. Это обусловлено тем, что все методы применяются отдельно друг от друга и никак не взаимосвязаны между собой [3-5]. В результате такие задачи, как определение результативности и времени выполнения последующих этапов от полученных на конкретной стадии выходных параметров, а также определение временных интервалов для каждого этапа с нечеткими сроками выполнения, остаются нерешенными. Кроме этого также имеются трудности с учетом воздействия внутренних и внешних событий, оказывающих непосредственное влияние на выполнение инновационного процесса. В связи с этим, построенные на данных математических методах инструменты в виде информационных систем, не позволяют проводить анализ зависимости времени выполнения стадий проекта от их характеристик, а также не обладают возможностью построения расписания работ с учетом различных типов и стоимости ресурсов в отдельные промежутки времени. Таким образом, возникает потребность в разработке некоторой модели, которая позволила бы полностью описать процесс принятия решений по управлению инновационными процессами с учетом выявленных особенностей.

В результате проведенного анализа инновационной деятельности на приборостроительных предприятиях и возможности использования экспертной системы для поддержки принятия решения по ее управлению была разработана структурно-функциональная модель контроллинга инновационных процессов (рисунок 1). Представленная на рисунке 1 модель ориентирована на поддержку принятия решения по выбору конкретных инструментов управления инновационными процессами и выработке рекомендаций по формированию его организационной структуры контроллинга, основанных на полном анализе всего инновационного процесса с учетом влияния внешних и внутренних факторов, а также технико-экономических характеристик результатов реализации каждого из его этапов.

Как видно из рисунка 1 при выполнении инновационного процесса по каждому этапу происходит фиксация его выходных характеристик, которые представлены множествами $\{x_i^j\}$ ($i=1..n, j=1..6$), и временными интервалами t_i^j ($i=1..n, j=1..6$). Они проходят предварительную обработку (группируются, анализируются экспертами) после чего передаются в систему в виде фактической, экспертной или статистической информации. Кроме этого в экспертную систему из единого хранилища данных при необходимости поступают сведения из других используемых на предприятии программных продуктов, например ERP, CRM, PLM и др. На основании заложенного математического аппарата и раз-

рабочей базы знаний вырабатываются соответствующие рекомендации и передаются в блок логического вывода. В данном случае в качестве математических методов используется комбинация методов нечеткой логики, и логико-временных отношений. Блок объяснений служит для передачи по средствам соответствующего интерфейса рекомендаций по принятию решений отвечающему за это лицу.

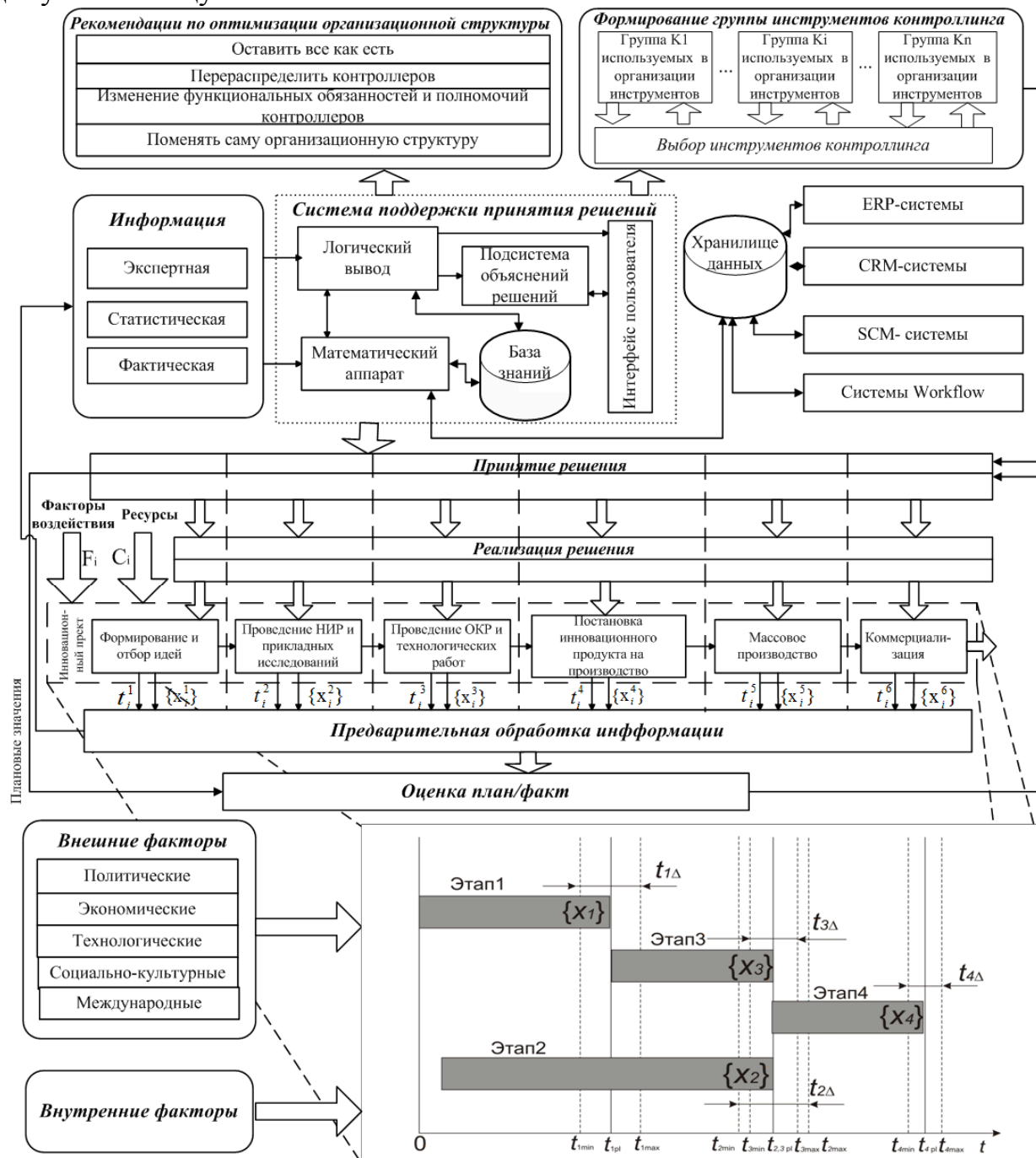


Рисунок 1 – Структурно-информационная модель контроллинга инновационных процессов приборостроительных предприятий

Далее в рассматриваемой системе происходит сравнении полученных данных с плановыми, которые были заданы перед началом выполнения анализируемого этапа. По результатам такого сравнения выявляются отклонения и

передаются лицам, принимающим решения по управлению инновационным процессом, чаще всего руководителю инновационного процесса. Кроме этого данные сведения используются системой для выработки рекомендаций по выбору конкретных инструментов управления инновационными процессами в зависимости от величины полученных отклонений.

Также на рисунке 1 отдельно представлено расписание выполнения этапов инновационных процессов с нечеткими временными интервалами каждой из них, а также назначенными ресурсами и полученными результатами, где $\{X_i\}$ представляет собой множество характеристик (результатов), которые описывают некоторый этап выполнения инновационного проекта. Данные результаты должны быть достигнуты в определенный момент времени $t_{i\Delta}$. В случае, когда запланированные значения характеристик одного из множеств меняются, это влечет за собой изменение и временного интервала, который может, как увеличиться (t_{max}), так и сократиться (t_{min}) относительно запланированного (t_{pl}). Также на данном рисунке видно, что инновационный процесс в значительной мере подвержен влиянию, как внутренних, так и внешних факторов, таких как политические, экономические, технологические, международные и социально-культурные факторы.

Кроме этого разработанная информационная система вырабатывает рекомендации по оптимизации организационной структуры контроллинга. В данном случае, исходя из анализа результатов инновационного процесса, определяются наиболее слабые места, которые требуют дополнительного контроля, в связи с чем, происходит позиционирование контроллеров в организационной структуре. Такие рекомендации могут быть следующего вида:

- ничего не меняем в действующей организационной структуре;
- изменяем позиционирование контроллеров в действующей организационной структуре;
- изменяем функциональные обязанности и полномочия контроллеров (сообщательная функция или исполнительская);
- изменяем саму организационную структуру организации. Еще одной особенностью представленной на структурно-информационной модели контроллинга инновационных процессов является выработка рекомендации по формированию организационной структуры контроллинга. В данном случае, исходя из анализа результатов инновационного процесса, определяются наиболее слабые места, которые требуют дополнительного контроля, в связи с чем, осуществляется позиционирование контроллеров в организационной структуре.

Таким образом, использование предложенной структурно-информационной модели позволяет обосновывать выбор инструментов управления сложными инновационными процессами, как с точки зрения повышения эффективности проект-менеджмента, так и поддерживающих бизнес-процессов (например, таких как логистика, финансы, персонал и т.д.), а также разработать предложения по формированию рациональной организационной структуры контроллинга инновационных процессов.

Литература

1. Мешалкин В.П., Дли М.И., Какатунова Т.В. Анализ эффективности инновационной деятельности региональных промышленных комплексов северо-западного федерального округа России // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2013. Т. 4. № 35. С. 66.
2. Дли М.И., Гавриленко Н.И., Какатунова Т.В. Открытые инновации как основа ускорения регионального инновационного процесса // Вестник Международного института экономики и права. 2011. № 2. С. 50.
3. Дли М.И., Стоянова О.В., Белозерский А.Ю. Модели представления данных сложных производственных проектов в автоматизированных информационных системах промышленных предприятий // Программные продукты и системы. 2015. № 4. С. 224.
4. Дли М.И., Стоянова О.В. Способы представления экспертных данных в системах поддержки принятия решений по управлению сложными проектами // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 7. С. 21-28.
5. Стоянова О.В., Дли М.И. Информационно-аналитическая система управления производственными проектами машиностроения в условиях неопределенности // Программные продукты и системы. 2015. № 3. С. 49-56.

*М.В. Поляков, магистр; рук. А.В. Сеньков, к.т.н., доцент,
(Филиал ФГБОУ ВПО "НИУ МЭИ" в г. Смоленске)*

ОБЗОР ТЕМПОРАЛЬНЫХ ЛОГИК ВЕТВЛЕНИЯ И АНАЛИЗ ИХ ВЗАИМОВЫРАЖАЕМОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ТЕМПОРАЛЬНЫМИ СОСТОЯНИЯМИ

Темпоральные логики ветвления являются формализмом, который предназначен для описания последовательностей переходов между состояниями системы. Рассматриваемые темпоральные логики позволяют записывать утверждения о том, что некоторое выделенное состояние будет когда-нибудь пройдено или что состояние никогда не будет достигнуто. Свойства логик специфицируются при помощи специальных темпоральных операторов, которые можно сочетать с булевыми связками или произвольно комбинировать друг с другом. В рамках настоящей статьи будут рассмотрены следующие виды логик: *OBTL*, *PBTL*, *CTL* и *CTL**. А также проведен анализ взаимовыражаемости при работе с темпоральными состояниями.

Оккаместская временная логика или *OBTL*, Оккама и Прайора, разработана Приором и основана на предположении, что, хотя прошлое не может быть изменено, будущее может расходиться в разных направлениях с настоящего момента; однако в каждый момент времени одно возможное будущее считается актуальным, и именно в отношении этого будущего оцениваются будущие заявления. Таким образом, фразы «всегда / когда-нибудь в будущем» теперь означают «всегда / когда-то в будущем считаются актуальными». Более того, это фактическое будущее считается определяемым. Формально это означает, что, во-первых, естественные потоки времени являются скорее древовидными, чем линейными, а во-вторых, что значение истинности любой формулы оцениваются не только относительно момента времени, но и истории, содержащей этот момент [2].

Дерево (кадр) представляет собой пару $(T, <)$, где T – непустое множество моментов времени, « $<$ » – бинарное отношение на T такое что:

- « $<$ » является нереклексивным и транзитивным;

- «<» линейно по отношению к прошлому, т. е. Если $y < x$ и $z < x$, то либо $y < z$, $z < y$ либо $y = z$;
- $(T, <)$, т. е. для всех $x, y \in T$ существует $z \in T$, где $z \leq x$ и $z \leq y$.

Древовидная структура представляет собой структуру времени, а наличие истории гарантируется линейность прошлого.

Ветвь $(T, <)$ является максимальным линейно упорядоченным постоянным подмножеством $(T, <)$. Ветвь определяет одну возможную эволюцию истории от начала и до конца.

Структура $M = (T, <, V)$ имеет древовидный вид $(T, <)$. Оценкой в дереве $(T, <)$ является отображение $V: AP \rightarrow P(N(M) \times M)$, которое присваивает каждому $p \in AP$ множество ветвей $V(p) \subseteq N(M) \times M$, на которых p является истинным, а $N(M)$ является множеством всех историй M .

Каждая ветвь через x представляет собой возможный ход событий (для точки x и ветви b , мы говорим, что x лежит на b или b проходит через x , если x принадлежит b). Таким образом, мы можем представить возможное будущее x как множество всех последующих точек на некоторой фиксированной ветви b . При этом M является деревом, поскольку каждая точка будет иметь уникальное прошлое.

Запишем $M, b, x \models \varphi$, когда φ верно в точке x ветви b структуры M . Это можно определить рекурсивно следующим образом. Предположим, что мы определили истину формул φ и ψ во всех точках всех ветвей M .

Тогда для всех ветвей b , для всех точек x из b :

- $M, b, x \models p$ если $x \in V(p)$, для всех $p \in AP$;
- $M, b, x \models \neg \varphi$ если $M, b, x \not\models \varphi$;
- $M, b, x \models \varphi \wedge \psi$ если оба $M, b, x \models \varphi$ и $M, b, x \models \psi$;
- $M, b, x \models G\varphi$ если для всех $y > x$ в b имеем $M, b, y \models \varphi$;
- $M, b, x \models H\varphi$ если для всех $y < x$ в b имеем $M, b, y \models \varphi$;
- $M, b, x \models \Box \varphi$ если для каждой ветви π , содержащей x , имеем $M, b, x \models \varphi$.

Можно сказать, что φ общезначима в *OBTL* если для всех ветвей b в M и для всех точек $x \in b$, имеем $M, b, x \models \varphi$ [1,4,6].

Помимо линейных преобразований времени, также вводится преобразования вида $\Diamond \varphi \equiv \neg \Box \neg \varphi$, где $\Box$ – всегда в будущем (*always in the future*), $\Diamond$ – иногда в будущем (*sometime in the future*). А так же $F\varphi \equiv \neg G \neg \varphi$ и $P\varphi \equiv \neg H \neg \varphi$, где

- P , означающий «было так, что»;
- H , означающий «всегда было так, что»;
- F , означающий «будет так, что»;
- G , означающий «всегда будет так, что».

Таким образом, для определения семантики *OBTL* достаточно рассмотреть семейства историй, называемых связками. Связанное дерево представляет собой пару (M, B) , где M является временным кадром $M = (T, <)$, т.е. деревом, а B явля-

ется непустым набором историй в M , так что каждое мгновение из M принадлежит к некоторой истории из B .

Истинность временной формулы определяется относительно конкретной фактической истории, содержащей этот момент, начиная с определенного состояния [4].

Еще одной темпоральной логикой ветвления, является логика предложенная Приором и называемая персиан или *PBTL*. В *PBTL* оценкой в дерева является отображение $V: AP \rightarrow P(M)$, которое присваивает каждому $p \in AP$ множество моментов $V(p) \subseteq M$, на котором p является истинным [2,4].

Истинность формул *PBTL* в модели M относительно момента $t \in h$, где $h \in N$, определяется следующим образом:

- $M, t \models p$ если $t \in V(p)$, для любого $p \in AP$;
- $M, t \models \perp$; $M, t \models \neg \varphi$, если $M, t \not\models \varphi$;
- $M, t \models \varphi \wedge \psi$, если $M, t \models \varphi$ и $M, t \models \psi$;
- $M, t \models F\varphi$, если для любого $h \in N(t)$ существует некоторое $t' \in h$ такое, что $t < t'$ и $M, t' \models \varphi$;
- $M, t \models G\varphi$, если для любого $h \in N(t)$ и любого $t' \in h$ такого, что $t < t'$ $M, t' \models \varphi$, т. е. если $M, t' \models \varphi$ для любого t' такого что $t < t'$;
- $M, t \models P\varphi$, если $M, t' \models \varphi$ для некоторого $t' \in h$ такого, что $t' < t$;
- $M, t \models H\varphi$, если $M, t' \models \varphi$ для любого $t' \in h$ такого, что $t' < t$. [2]

Согласно представлению *PBTL*, истинность формулы следует оценивать с учетом либо текущей истории, либо всех историй, начинающихся в данном состоянии.

PBTL имеет связи Fp и Gp эквивалентные *OBTL* $\Box Fp$ и $\Box Gp$ соответственно. При такой интерпретации в *PBTL* нет формулы, эквивалентной оккамистской Fp - она считается неопределенной. Таким образом, временную логику *PBTL* можно рассматривать как собственный фрагмент оккамистской временной логики, полученный путем рассмотрения только выражений, построенных рекурсивно из атомов с использованием пропозициональных связок и комбинированных модальностей $\Box G$, $\Box F$ и $\Box G$, $\Box F$. Логика ветвления во времени *PBTL*, существенно менее выразительна, чем *OBTL*, поскольку не имеет эквивалентов, например, для $\Box GFp$ и $\Box FGp$ [1,2,4].

Логика *CTL*, введенная Кларком и Эмерсоном. Это по существу, временная логика *PBTL*, интерпретированная на классе вычислений деревьев без прошлых операторов. В ней каждый содержащийся темпоральный оператор X , G и U должен следовать непосредственно за квантором пути. А структура формул пути ограничена следующим правилом. Если φ и ψ – формулы состояния, то $X\varphi$, $G\varphi$, и $\varphi U \psi$ – формулы пути.

В *CTL* в качестве модальных операторов $\Box$ и $\Diamond$ используются кванторы пути A и E . Под квантором A понимается выражение «на всех путях...», а под квантором E – «существует такой путь, что...». В логике *CTL* временные операторы могут применяться только совместно с кванторами A и E .

Семантику *CTL* для состояния s_0 модели M , определим на моделях Крипке $M = (S, R, V)$. Где для любого состояния $s \in S$ существует такое состояние $s' \in S$, что $(s, s') \in R$, а $V : S \rightarrow 2^{AP}$ – функция, помечающая каждое состояние множеством атомарных высказываний, истинных в этом состоянии:

- $M, s_0 \models p$, если $s_0 \in V(p)$;
- $M, s_0 \models \neg \varphi$, если $M, s_0 \not\models \varphi$;
- $M, s_0 \models AX\varphi$, если $M, s_1 \models \varphi$ для всех $s_1 \in S$ где $s_0 R s_1$;
- $M, s_0 \models EX\varphi$, если $M, s_1 \models \varphi$ для некоторых $s_1 \in S$ где $s_0 R s_1$;
- $M, s_0 \models AG\varphi$, если для любого пути $s_0, s_1, \dots$, выполняется $M, s_i \models \varphi$;
- $M, s_0 \models EG\varphi$, если для некоторого пути $s_0, s_1, \dots$, выполняется $M, s_i \models \varphi$;
- $M, s_0 \models A(\varphi U \psi)$, если для любого пути $s_0, s_1, \dots$, выполняется $M, s_i \models \psi$

и $M, s_j \models \varphi$ для всех $j < i$;

- $M, s_0 \models E(\varphi U \psi)$, если для некоторого пути $s_0, s_1, \dots$, выполняется $M, s_i \models \psi$ и $M, s_j \models \varphi$ для всех $j < i$.

CTL широко использовалась благодаря хорошим вычислительным свойствам в отношении проверки модели, которая имеет линейную сложность как размера входной формулы, так и размера входной модели. Однако, это оказалось не очень выразительно, что привело к появлению *CTL**.

Логика *CTL** была введена Эмерсоном и Хэлперном. И представляет собой расширение *OBTL* логикой *CTL*, без синтаксических ограничений во временных операторах и кванторах путей. Таким образом, *CTL** может быть определена в пределах «с» и «до» («*sinc*» и «*until*») расширения времени разветвления *OBTL*.

Семантику *CTL** также определим на моделях Крипке, где π будет являться бесконечной последовательностью состояний, называемой путем в M . Мы будем использовать запись π^i для обозначения суффикса π , начинающегося состоянием S_i .

- $M, s \models p$, если $s \in V(p)$;
- $M, s \models \neg \varphi$, если $M, s \not\models \varphi$;
- $M, s \models \varphi_1 \vee \varphi_2$, если $M, s \models \varphi_1$ или $M, s \models \varphi_2$;
- $M, s \models \varphi_1 \wedge \varphi_2$, если $M, s \models \varphi_1$ и $M, s \models \varphi_2$;
- $M, s \models E\varphi_1$ в M есть такой путь из состояния s , что $M, \pi \models \varphi_1$;
- $M, s \models A\varphi_1$, если для любого пути π и состояния s в модели M верно соотношение $M, \pi \models \varphi_1$;

соотношение $M, \pi \models \varphi_1$;

- $M, \pi \models \varphi_1$, если для первого состояния s на пути π в модели M верно соотношение $M, s \models \varphi_1$;

- $M, \pi \models \neg \psi_1$, если $M, \pi \not\models \psi_1$;
- $M, \pi \models \psi_1 \vee \psi_2$, если $M, \pi \models \psi_1$ или $M, \pi \models \psi_2$;
- $M, \pi \models \psi_1 \wedge \psi_2$, если $M, \pi \models \psi_1$ и $M, \pi \models \psi_2$;

- $M, \pi \models X\psi_1$, если $M, \pi^1 \models \psi_1$;
- $M, \pi \models G\psi_1$, если для любого $k \geq 0$ верно соотношение $M, \pi^k \models \psi_1$;
- $M, \pi \models \psi_1 U \psi_2$, если существует такое $k \geq 0$, что $M, \pi^k \models \psi_1$ и для каждого $0 \leq j < k$ верно соотношение $M, \pi^j \models \psi_2$; [3]

Приведенное описание позволяет составить следующую сравнительную таблицу.

Таблица 1 – Сравнительная таблица

	Оккамовская (<i>OBTL</i>)	Персиан (<i>PBTL</i>)	<i>CTL</i>	<i>CTL</i> *
Наличие операторов прошлого	+	+	-	-
Отношение к истинности в моделях ветвящегося времени	только одно будущее истинно (актуальное), но мы не знаем, какое. Таким образом, в модели <i>OBTL</i> : $F(1)p \wedge F(1)\neg p$ – ложь, а $F(1)p \vee F(1)\neg p$ – истинна.	пока не существует реального будущего, а всего лишь ряд возможных кадров. Таким образом, и $F(1)p$, и $F(1)\neg p$ – ложь, поэтому $F(1)p \vee F(1)\neg p$ – ложно.	В моделях Крипке $F(1)p$, и $F(1)\neg p$ истинны	В моделях Крипке $F(1)p$, и $F(1)\neg p$ истинны
Можно ли выразить через <i>OBTL</i> ?	*	Да, поскольку <i>PBTL</i> может быть представлен как составная часть <i>OBTL</i> .	Да, исходя из представления что <i>CTL</i> это <i>PBTL</i> без операторов прошлого.	Да, путем расширения <i>OBTL</i> логикой <i>CTL</i> . И введения предела «с» «до».
Можно ли выразить через <i>PBTL</i> ?	Нет, поскольку <i>PBTL</i> является составной частью <i>OBTL</i> .	*	Да, поскольку <i>CTL</i> можно представить как м без операторов прошлого.	Нет, поскольку <i>PBTL</i> менее выразительна.
Можно ли выразить через <i>CTL</i> ?	Нет, поскольку <i>CTL</i> менее выразительна.	Да, рассматривая <i>CTL</i> как вариацию <i>PBTL</i> без операторов прошлого.	*	Нет, поскольку <i>CTL</i> является составной частью <i>CTL</i> *.
Можно ли выразить через <i>CTL</i> *?	Да, поскольку <i>CTL</i> * представляет собой вариацию <i>OBTL</i> без синтаксических ограничений во временных операторах и кванторах путей.	Да, поскольку <i>PBTL</i> можно представить как частный случай <i>OBTL</i> .	Да, поскольку <i>CTL</i> * является расширением <i>CTL</i> .	*

Исходя из результатов сравнения можно сделать вывод о том, что рассмотренные временные логики ветвления обладают определенным сходством, что по-

звolyет им при помощи собственных операторов или их расширений выражать друг друга. При этом они обладают рядом особенностей, например, отличаются набором используемых темпоральных операторов и их семантикой. Также можно утверждать, что наиболее выразительной из них является CTL*.

Литература

- 1.Y.Venema. Temporal logic. In L. Goble, editor, The Blackwell Guide to Philosophical Logic, pages 203–223. Blackwell Publishers, 2001
- 2.V.Goranko and A.Galton, "Temporal Logic", The Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2015.-с.1-23.
- 3.Кларк Э. М., Грамберг О., Пелед Д. Верификация моделей программ. Model Checking. М.: МЦНМО. 2002.]
- 4.M.Reynolds Axioms for Branching Time Journal of Logic and Computation, Volume 12, Issue 4, 1, Pages 679–697, August 2002
- 5.I. Hodkinson & M. Reynolds, 2007, 'Temporal Logic', in P. Blackburn, eds., Handbook of Modal Logic, Elsevier, Amsterdam, 655 – 720
- 6.Еремеев А. П., Куриленко И. Е. Темпоральные модели на основе логики ветвящегося времени в интеллектуальных системах// Искусственный интеллект и принятие решений. 2011. No1. –С. 14-26.

Д.Ю. Попова, асп.

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

НЕЙРО-НЕЧЕТКИЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ СПОСОБ И МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

В статье рассматриваются вопросы моделирования сложных технических систем. Для создания модели сложной системы в условиях разрозненных данных предлагается использовать декомпозицию. В соответствии с предложенным способом показаны этапы моделирования системы.

Ключевые слова: сложная техническая система, декомпозиция, разрозненные данные, нейронные сети, нечеткие сети, аналитические модели.

Возможности экспериментального исследования сложных технических систем имеют определенные ограничения, что делает актуальной разработку способов моделирования сложных систем. Зачастую специалистам трудно охватить все возможные комбинации явлений и событий в ходе функционирования таких систем. Поэтому создание точной общей имитационной модели практически невозможно и требует весьма существенных финансовых и временных затрат.

В общей постановке вопроса моделирование сложной системы непосредственно связано с решением следующих научно-технических задач: сбор информации о системе, распознавание и выделение отдельных объектов, выбор вида и структуры модели, создание модели и ее реализация, исследование работы модели в условиях, максимально соответствующих реальным.

Важное требование, предъявляемое к математической модели – это её соответствие реальной существующей системе. Этого добиваются за счет применения моделей с разным уровнем детализации, который зависит от специфики структурно-функциональной организации реальной системы и целей конкретного исследования [1].

Создание модели сложной технической системы (СТС) предполагает сбор и систематизацию информации о ее структуре, возможных состояниях, инертности системы в ходе работы и ее иерархии, о возможностях разделения системы

на составные элементы и их взаимосвязях, свойствах и назначении моделируемой системы, а также о характеристиках окружающей среды, влияющих на функционирование системы.

Для сбора этих данных используется информация о закономерностях работы системы, доступные сведения станций мониторинга окружающей среды, справочные данные, мнения экспертов; планируются и проводятся необходимые экспериментальные исследования.

Эмпирические зависимости, отчеты по экспериментальным испытаниям оборудования и экспертные мнения представляют собой разрозненные данные. Часть данных может являться производственной тайной предприятий и не подлежит разглашению. Тем не менее для улучшения качества работы технических систем необходимо собрать во едино эти разнотипные описания объекта.

Декомпозиция такой технической системы на более простые элементы, учитывающие взаимодействия внутри системы, может быть одним из способов решения проблемы моделирования сложной технической системы в условиях разрозненных данных [2].

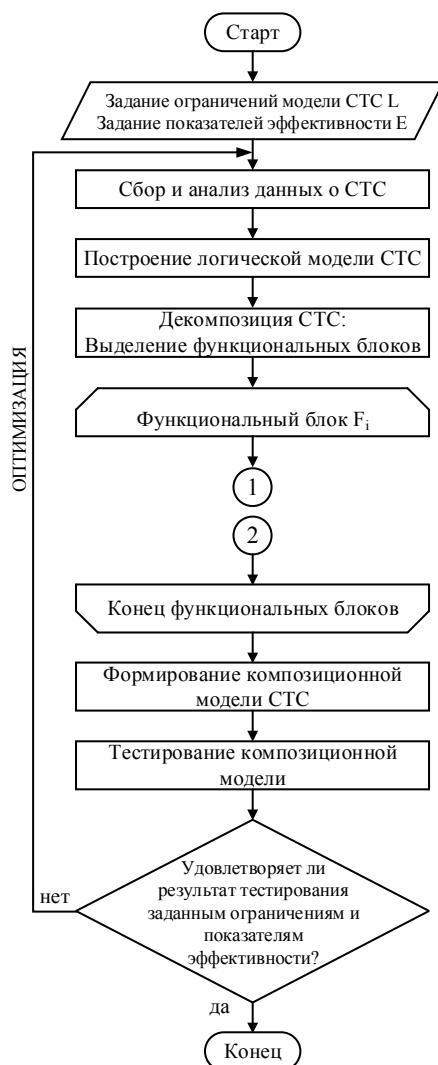


Рисунок 1 – Этапы композиционного нейро-нечеткого способа моделирования сложных технических систем

Тип элементов модели, зависит от данных, которые удалось получить. При наличии экспериментальных данных об элементе его моделирование ведут с помощью нейронных сетей, экспертные мнения о зависимостях внутри системы позволяют провести моделирование используя нечеткие сети, известные аналитические зависимости также можно использовать для расчета некоторых элементов. Такое комбинирование позволяет создать достаточно полную композиционную модель в условиях недостатка информации о сложной системе.

После сбора исходных данных о моделируемой системе необходимо сначала удостовериться, что систему можно разбить на составные части в соответствии со структурой и выполняемыми функциями и существует возможность достаточно точного моделирования каждого элемента системы, т.е. можно ли применить к ней данный способ моделирования. Далее создают модели подсистем и объединяют их в единую модель, в соответствии с взаимосвязями и взаимодействием элементов.

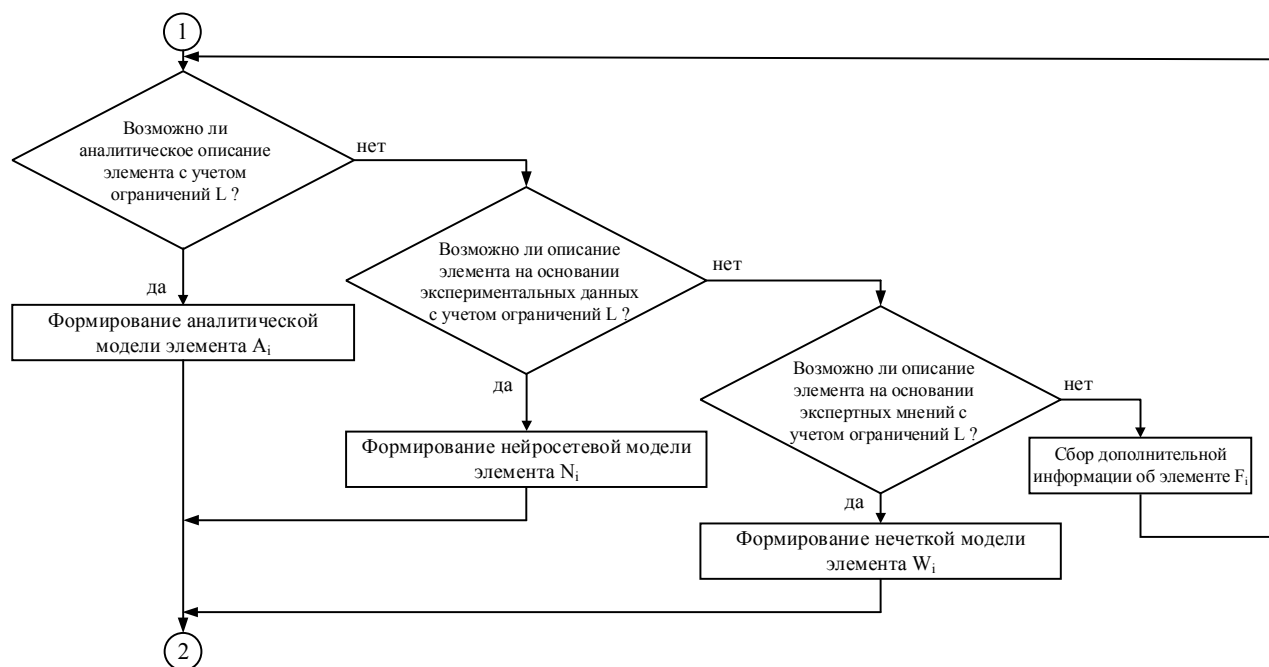


Рисунок 2 – Выбор типа модели элемента СТС

Таким образом моделирование сложной технической системы можно представить в виде этапов:

1. Задание ограничений модели СТС и показателей её эффективности.
2. Сбор и анализ информации о системе.
3. Построение логической модели СТС.
4. Декомпозиция СТС и выделение функциональных блоков.
5. Моделирование соответствующих подсистем на основе собранных экспертных мнений, экспериментальных данных и систем уравнений (формирование элементов модели системы).

6. Моделирование сложной системы с учетом характера взаимосвязей и взаимодействий нейро-нечетких и аналитических моделей (формирование композиционной нейро-нечеткой модели).

7. Проверка композиционной модели (на разных этапах может производиться на новых данных, в экспериментальных условиях, в реальных условиях работы).

Для реализации всех этапов способа и построения логической и композиционной нейро-нечеткой моделей разрабатываются соответствующие специализированные программные модули.

При таком подходе идея моделирования сложной системы состоит в следующем:

1. Данную систему возможно разделить на конечное число элементов – подсистем. Подсистемы верхнего уровня иерархии можно рассматривать как надсистемы для систем более низкого уровня. Такое иерархическое представление позволяет разделить систему на элементы, которые в условиях решаемой задачи больше не подлежат декомпозиции.

2. Модель системы – это единый комплекс взаимосвязанных и взаимодействующих элементов. В таком случае рассмотренные на верхнем уровне иерархии подсистемы становятся как бы внешней средой для подсистем нижнего уровня. То есть входные сигналы для рассматриваемой подсистемы определяются рассмотренной ранее подсистемой.

3. Окружающая среда, в которой функционирует система, влияет на неё и сама среда подвержена влиянию со стороны системы.

4. Декомпозиция системы на более мелкие элементы позволяет создать более простые и быстродействующие модели, взаимодействующие друг с другом.

5. При таком разделении системы каждая получившаяся подсистема является обособленной технической системой, которую при определенных ограничениях можно рассматривать как отдельную систему.

В результате использования предлагаемого способа создаётся композиционная нейро-нечеткая модель, предназначенная для моделирования, проектирования, управления и контроля, оценки и прогноза состояния технической системы.

Литература

1. Ясницкий Л.Н. Интеллектуальные системы. – М.: Лаборатория знаний, 2016. –221 с.
2. Кузнецов Н.А., Кульба В. В., Ковалевский С.С., Косяченко С. А. Методы анализа и синтеза модульных информационно-управляющих систем. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 800 с.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ НЕЧЕТКО–ЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ВЫБОРА АЛЬТЕРНАТИВ К ВАРИАЦИЯМ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта
№ 16-07-00491 А

Предложена методика расчета чувствительности метода выбора альтернатив на основе нечеткого отношения предпочтения к изменениям значений функций принадлежности для заданных критериев выбора и их весов.

Ключевые слова: многокритериальный выбор альтернатив, нечеткая логика, вычислительная чувствительность

Процедура принятия решений всегда предполагает осуществление выбора возможного варианта действий из нескольких возможных, опираясь на их сопоставление по каким-либо критериям. Методы реализации этого процесса актуальны для разных предметных областей и зависят как от самой области применения, так и от особенностей структуры исходных данных и формы их представления.

Для плохо структурированных задач выбора обоснованным является использование подходов, базирующихся на методах интеллектуальной обработки данных. Один из таких алгоритмов позволяет осуществлять выбор альтернатив (вариантов решения какой либо проблемы или задачи) на основе методов нечеткой логики в условиях, когда ни одна из них не имеет явного преимущества, не доминирует над остальными [1]. Описание такой постановки задачи использует понятие нечеткого отношения предпочтения, характеризующего ситуацию, когда у лица принимающего решение (ЛПР) отсутствует однозначное представление об отношении предпочтения между альтернативами. В этом случае ЛПР оценивает и задает численные значения степени выполнения того или иного предпочтения между парами альтернатив функциями принадлежности. Из двух видов отношений предпочтения (безразличия и строгого предпочтения) для решения задачи используется строгое предпочтение, предполагающее выбор подходящей альтернативы по заданным критериям сравнения.

Требуемыми исходными данными для начала решения служат значения функций принадлежности каждой альтернативы по каждому из выбранных для анализа критериев сравнения. Эти данные записываются матрицей $M = \{\mu_{ij}\}$, где $i=1..n$, $j=1..m$, n – количество критериев, m – количество альтернатив. Также задается матрица весов $W = \{w_i\}$, элементы которой w_i отражают степень важности i -го критерия (сумма всех весов w_i должна составлять единицу).

При рассмотрении численных методов решения различных задач всегда требуется проводить оценку вычислительной чувствительности. Здесь возможны различные подходы, обеспечивающие снижение влияния неточности исходных данных на результаты решения [2]. В рассматриваемой задаче выбора внимание заслуживает тот факт, что значения функций принадлежности и веса

критериев задаются экспертным путем, то есть, носят субъективный характер, а это может существенно влиять на окончательное решение. Вызвано это тем, что в случае недоминируемых альтернатив результирующая матрица-строка пересечения нечетких множеств (номер максимального элемента которой соответствует номеру выбираемой альтернатив) содержит близкие по значениям элементы. Отсюда делается предположение, что незначительные изменения μ_{ij} могут повлиять на выбор. Аналогично, за счет субъективности может влиять на результат и не достаточно сильная уверенность ЛПР в градации критериев по степени важности.

Для анализа влияния указанных изменений было предложено дополнить алгоритм выбора альтернатив [1] еще одним этапом на котором будет выполняться расчет чувствительности выбора к изменениям w_i и μ_{ij} .

Обозначим верхнюю границу диапазона изменения какого либо параметра x через x^+ , а нижнюю x^- . Чувствительность i -го критерия по j -ой альтернативе будем рассчитывать в соответствии с выражением:

$$s_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если } \max(\min(\mu_{D1}^{nd+}(M), \mu_{D2}^{nd+}(M)) = \max(\min(\mu_{D1}^{nd-}(M), \mu_{D2}^{nd-}(M))), \\ 0, \text{ в противном случае,} \end{cases}$$

где $\mu_{Q1}^{nd+}(M), \mu_{Q2}^{nd+}, \mu_{Q1}^{nd-}(M), \mu_{Q2}^{nd-}(M)$ – элементы матриц недоминируемых альтернатив $Q1$ и $Q2$ получаемые при увеличении (+) и уменьшении (-) значений функций принадлежности μ_{ij} [1].

Выражение для s_{ij} позволяет сделать вывод о том, меняется ли выбор в зависимости от изменения значений функций принадлежности или нет. В отличие от принятых в теории систем выражений для чувствительности, здесь нельзя судить о том, во сколько раз меняется выходная величина при изменении входной, так как в данном случае важен только факт изменения решения (выбора альтернативы). Применение s_{ij} в методе выбора недоминируемых альтернатив на основе нечеткого отношения предпочтения позволит убедиться в том, насколько «устойчивым» или обоснованным является выбор именно этой альтернативы при изменении функций принадлежности μ_{ij} . Важным при этом выборе должен быть тот факт, что относительно небольшие изменения значений μ_{ij} не должны приводить к изменению решения.

При наличии n критериев, m альтернатив и двух уровней значений функций принадлежности (x^+, x^-) всего возможных сочетаний уровней их значений будет равно $N=2^{nm}$, то есть, потребуется достаточно большое число расчетов, чтобы получить результаты выбора при каждом сочетании значений критериев. Однако такое число расчетов выполнять нет необходимости, так как здесь будет уже проявляться противоречие между точностью исходных данных и точностью модели (алгоритма выбора), ведь исходные данные представляют собой значения функций принадлежности нечетких переменных, которые определяются субъективно. Кроме того, и набор критериев может не отражать должной полноты своего набора для идеального выбора. В этих условиях для повышения степени уверенности в принятом решении (принятии данной альтернативы) будет оправданным ограничиться проверкой s_{ij} для изменений зна-

чений критериев в диапазонах $[x^+, x^-]$ в предположении, что остальные значения μ_{ij} остаются на исходных значениях. В результате может быть получена матрица чувствительности $S = \{s_{ij}^+, s_{ij}^-\}$, где s_{ij}^+, s_{ij}^- – значение чувствительности выбора для j -й альтернативы по i -му критерию при соответствующем изменении μ_{ij} в большую или меньшую сторону.

Вычисление s_{ij}^+ и s_{ij}^- для каждого i и j проводится при фиксации всех других элементов матрицы M на исходных (серединных) значениях. Если в результате вычислений S содержит только нули, это говорит о том, что выбор не чувствителен к изменениям значений критериев в заданном диапазоне $[x^+, x^-]$ и альтернатива «устойчиво» выбирается. В противном случае ЛПР должно взять на себя ответственность в согласии или отклонении альтернативы учитывая количество единиц k в S . Это количество единиц отражает число ситуаций, когда выбор альтернативы изменялся. Для получения итоговой количественной оценки влияния σ на результат вместо k также может использоваться норма матрицы $\|S\|$, определяемая, например, как наибольшая из сумм абсолютных значений ее строк.

Очевидно, что значения k и $\|S\|$ будут зависеть от величины диапазона, характеризуемого величиной $\sigma = (x^+ - x^-)/2$, в котором допускается изменение значений функций принадлежности в M , поэтому параметр σ вводится как входной параметр в расчет. Величина σ определяет степень требований к обоснованности решения – если при малых значениях σ происходит изменение выбора, то, возможно, следует более внимательно и взвешенно подойти к определению значений элементов матрицы M .

Аналогичный метод применен и для анализа чувствительности выбора альтернатив к изменениям весов критериев выбора. Для этого рассчитывается матрица $S_c = \{w_{ij}^+, w_{ij}^-\}$, где w_{ij}^+, w_{ij}^- – значение чувствительности выбора для j -й альтернативы по весовому коэффициенту i -го критерия.

Предложенный подход к расчету чувствительности метода выбора альтернатив был реализован в программе, созданной в системе *MatLAB*. Входными данными программы являются количество критериев, альтернатив, веса критериев, а также допустимый диапазон значений критериев $[x^+, x^-]$. В результате работы программа выдает номер выбранной альтернативы и матрицу S . Разработанная программа обладает универсальностью и может быть применена для осуществления обоснованного выбора варианта решения какой либо проблемы в различных предметных областях.

Литература

1. Андрейченков А.В., Андрейченкова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 464 с.
2. Абраменкова И. В., Пучков А.Ю., Павлов Д. А. Нейро-нечеткий метод снижения чувствительности решения обратных задач к вариациям данных.// Программные продукты и системы. №4 (96), 2011. С. 72 – 75.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

В статье рассматриваются разработанные программные средства в виде программной платформы «NP Studio», обладающие функциональными возможностями, позволяющими осуществить полный цикл организации оптимизации обработки информации в вычислительных системах на базе нейропроцессоров и в каждом процессорном модуле для семейства нейропроцессоров NM640х.

Ключевые слова: нейропроцессор, оптимизация, обработка информации, нейропроцессорная система, вычислительная система.

Для реализации программных средств организации параллельной и распределенной обработки информации в соответствии с методикой анализа вычислительных систем на базе нейропроцессоров (НПВС), была разработана программная платформа «NP Studio» (свидетельства о регистрации программы для ЭВМ №2015616099). Языком программирования был выбран язык С# из-за его устойчивости к сбоям, независимости от аппаратного обеспечения, независимости от операционной системы, возможности создания современного интерфейса, высокого уровня оптимизации кода. Средой разработки была выбрана современная среда программирования Visual Studio 2012, разработанная компанией Microsoft.

Исходные тексты включают около 170 тыс. строк программного кода, размещенного в 204-х модулях. Разработаны 2 внешние dll библиотеки: NeuroProc, содержащая класс модели функционирования нейропроцессора семейства NM640х и Config, включающая настройки комплекса и функции доступа к реальному процессору (эмулятору). На данный момент существует возможность выбрать устройства: NM6403, NM6404, NM6405, NM6406, эмуляторы процессоров NM6403, NM6405, инструментальные платы MC 4.31, MC 53.01 [1].

Интерфейс комплекса подобен интерфейсу программы Microsoft Visual Studio 2012, является многодокументным и состоит из 3-х частей [2]:

- область навигации (для перехода между экземплярами модулей);
- область системных сообщений и вывода (для системных сообщений при работе с программой и выходных данных внешних программ);
- рабочая область (для представления экземпляров модулей).

Программный комплекс может применяться для:

- моделирования нейропроцессора и/или нейропроцессорной системы;
- анализа эффективности нейропроцессорной системы и отдельного процессорного модуля для заданной программы;
- организация обработки информации и оптимизация программ с высокой степенью нейробазисных команд;
- выбора элементной базы и структуры нейропроцессорной системы;
- распараллеливания кода программы на языках нейроассемблера;
- доступа к нейропроцессору;
- разработки программ на языках нейроассемблера;
- отладки программ, написанных на языках нейроассемблера;

- помощи при разработке программы для нейропроцессора;
- обучения языкам нейроассемблера.

Рассмотрим возможности программной платформы «NP Studio» для оптимизации параллельной и распределенной обработки информации в НПВС.

Для создания и редактирования исходных файлов на языках C++ и нейроассемблера реализованы две подсистемы: «Текстовый редактор для языков нейроассемблера» и «Текстовый редактор для языка C++». Функциональными возможностями текстового редактора являются:

- вставка директив процессора и справочная система по директивам;
- отправка кода программы во внешние программы: nmcc.exe, asm.exe, libr.exe, dump.exe, emurun.exe, temu.exe;
- разделение текста на подпрограммы.
- автоматическая генерация матрицы отношений строгого порядка.
- генерация системы исходя из матрицы отношений строгого порядка под-программ.

Функциональные возможности модуля "Текстовый редактор C++" аналогичны приведенным выше с дополнением функции отправки кода программы во внешний компилятор Visual C++.

Для ввода исходных данных и генерации нейроассемблерного кода типовых топологий нейросетей разработана подсистема "Конструктор ИНС".

Функциональными возможностями подсистемы конструктора искусственных нейронных сетей являются:

- графическое и/или аналитическое представление класса задачи - ИНС из ограниченного набора типовых топологий;
- генерация структурной схемы программы путем графического и/или аналитического представления подпрограмм и отношений строгого порядка между ними;
- генерация нейроассемблерного кода на основе графического и/или аналитического представления ИНС.

Для исключения ошибок программирования и более эффективной организации кода за счет использования готовых шаблонов подпрограмм реализована подсистема визуального программирования.

Интерфейс разрабатываемой подсистемы спроектирован максимально похожим на интерфейс подсистемы SIMULINK системы MATLAB.

Функциональными возможностями модуля визуального программирования являются:

- генерация структурной схемы программы путем графического и/или аналитического представления подпрограмм и связей между ними;
- генерация нейроассемблерного кода на основе графического и/или аналитического представления программы.

Главным элементом подсистемы является понятие «функциональный блок», который может быть связан с другими функциональными блоками и выполняет какие-либо функции.

На первом этапе пользователь описывает функциональные блоки и связи между ними с использованием их графического представления в программе.

Рабочая область программы разделена на функциональные части:

1. Область функциональных блоков, экземпляры которых могут быть перенесены в рабочую область моделирования методом Drag and Drop. В этой же области расположены управляющие элементы для визуализации и удаления связей между элементами. Каждый элемент при добавлении в рабочую область получает уникальное обозначение, представляющее собой конкатенацию категории элемента, номера элемента в этой категории и порядкового номера элемента, например "O2.9" определяет элемент из категории «Выходные сигналы», элемент "В числовом виде", с уникальным номером "9". Область функциональных блоков разделена по категориям: категория входных сигналов; категория выходных сигналов; категория математических и логических операторов; категория обработки сигналов.

2. Рабочая область, которая в свою очередь может быть представлена в виде визуального представления элементов и отношений строгого порядка между ними и в виде матрицы связей между элементами.

Программное моделирование и анализ эффективности организации обработки информации в нейтропроцессоре (НПВМ) реализованы в подсистеме «Организация вычислений в НПВМ». Данная подсистема позволяет проанализировать организации обработки информации в НПВМ при выполнении команды без запуска на реальном процессоре (в отличие от программ `temu.exe` и `emugun.exe`).

Функциональными возможностями этого модуля являются :

- выбор команды путем активирования элементов интерфейса;
- моделирование выполнения команды и множества команд на процессоре;
- представление справочной информации о команде;
- генерация шаблона кода на основе команды;
- аналитический и графический вид представления данных;
- анализ обработки информации в НПВМ.

Анализ эффективности организации обработки информации в команде НПВМ выполняется в отдельном окне. При анализе эффективности вычислений могут быть предоставлены следующие оценки эффективности: время работы команды, время простоев в левой и правой части, время обработки в левой и правой части, суммарное время простоев, обработки и проигрыша, коэффициент эффективности микрокоманд. Цветом выделяются блоки, задействованные при работе команды процессора.

Для выбора и графического представления структуры НПВС реализована подсистема «Конструктор многопроцессорных систем». Функциональными возможностями конструктора НПВС являются:

- аналитическое и графическое представление конвейерной, векторной, конвейерно-векторной, векторно-конвейерной и произвольной структуры;
- анализ системы и определение вида структуры (в том числе произвольных структур, например почти конвейерная, почти векторная).

Для реализации анализа эффективности организации обработки информации в НПВС разработана подсистема «Организация вычислений в НПВС». Исходными данными для анализа являются: исходный код программы, дополнительный C++ код (необязателен) и архитектура системы [3].

Функциональными возможностями модуля являются:

- моделирование функционирования НПВМ при выполнении программы;
- анализ выполнения подпрограммы на процессоре и на НПВС;
- аналитическое и графическое представление результатов анализа.

Результатами анализа являются:

- Для каждой подпрограммы:
 - общие оценки: число команд в подпрограмме; число пустых команд.
 - результаты анализа: время выполнения подпрограммы; время проигрыша процессора; время простоев процессора; время обработки процессора, время обработки процессора как части НПВС; время простоев процессора как части НПВС; время передачи данных,
 - вычисляемые вспомогательные оценки: коэффициент загрузки; среднее число тактов на команду,
 - результаты отладчика: процент задержек; процент нуль команд; процент нуль левых частей; процент нуль правых частей команды; задержки декодирования, выполнения, перехода, загрузки; сигналы на входной шине, выходной, локальной, глобальной, весовой.
- Для НПВС:
 - общие оценки: количество процессоров; объем передаваемых данных; коэффициент производительности, коэффициент загрузки.
 - результаты анализа: время работы системы; время работы на одном процессоре; цикл конвейера; время проигрыша НПВС; время выигрыша НПВС; время простоев НПВС; время обработки НПВС; суммарное время проигрыша для НПВМ; суммарное время простоев для НПВМ; суммарное время обработки для НПВМ; общее время проигрыша; общее время простоев; общее время обработки; общая оценка НПВС без учета НПВМ; общая оценка НПВС.

Результаты выполнения каждого шага могут быть представлены в графическом и аналитическом виде:

- для каждой подпрограммы: загрузка; коэффициент загрузки; время простоев; время обработки; время простоев для НПВМ; время обработки для НПВМ; время проигрыша для НПВМ;
- для НПВС: загрузка (все процессоры); коэффициент загрузки (все процессоры); коэффициент загрузки; время простоев (все процессоры); время обработки (все процессоры); время обработки, коэффициент производительности.

Для реализации механизма оптимизации с учетом множества критериев разработана подсистема «Многокритериальная оптимизация».

Функциональными возможностями модуля «Многокритериальная оптимизация» являются:

- выбор и задание значений важности критериев оптимизации;

- генерация функции полезности, как функции количества НПВМ в графическом и аналитическом виде;
- вывод наиболее рационального числа НПВМ в НПВС;
- вывод наиболее рациональной структуры НПВС;
- вывод объема необходимой памяти в НПВС;
- вывод объема передаваемых данных в НПВС.

Для запуска на реальном нейропроцессоре реализована подсистема «Система ввода-вывода».

Функциями работы с процессором являются:

- функции для Host части (компьютер): показ версии библиотеки связи; установка времени ожидания; получения числа доступных модулей; получение дескриптора устройства; закрытие дескриптора; перезагрузка устройства; загрузка кода начальной инициализации; получение дескриптора доступа к процессору; определение состояния устройства; отправка прерывания на процессор; закрытие дескриптора доступа; загрузка и исполнение программы; синхронизация с nm-процессом (массивом); синхронизация с nm-процессом (скаляром); запись в память; чтение из памяти; перезагрузка устройства и его инициализация;
- функции для NM части (процессор): определение номера процессора; синхронизация с host-процессом (массивом); синхронизация с host-процессом (скаляром).

Литература

1. Галушкин А.И. Нейронные сети: основы теории. М.: «Горячая линия Телеком», 2010. - 496 с
2. Романчук В.А., Ручкин В.Н. Разработка программного комплекса для моделирования и анализа нейропроцессорных систем обработки изображений // Цифровая обработка сигналов. – Рязань : Информационные технологии, 2010. №1. С.53–58.
3. Романчук В.А., Ручкин В.Н. Оценка результатов моделирования вычислительных систем на базе нейропроцессоров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - Тула : Издательство ТулГУ, 2013. Вып.9-2 С.194-203.

*А.Н. Рудометкин, асп.; О.В. Булыгина, к.э.н.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРОЦЕДУРА ВЫЯВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЗОН ИННОВАЦИОННОГО РОСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА БАКТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Важную роль при выборе инновационных проектов, перспективных для оказания для государственной поддержки на различных уровнях, является выявление потенциальных потребителей инноваций, разрабатываемых региональными новаторами, а также анализа их местоположения на территории данного региона.

Решение данной задачи предполагает формирование специальных территориальных зон инновационного роста, на которые будут локализованы промышленные предприятия, готовые на практике реализовывать различные инновационные решения.

Как показывает отечественный и зарубежный опыт, формирование территориальных структур, направленных на интенсивное социально-экономическое развитие регионов, может осуществляться на основе инновационного зонирования.

В качестве примеров инновационного зонирования в России можно привести такие крупные центры концентрации научного и промышленного потенциала, как Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Нижний Новгород, Новосибирск, Ростов-на-Дону и другие. Например, первые технопарки стали появляться в Санкт-Петербурге в начале 90-х годов (сегодня Россия пятое место в мире по количеству технопарков занимает). Первым примером особой зоны стал Зеленоград, где в 1997 года на базе предприятий электронной промышленности была создана такая зона.

Проведенный анализ ключевых задач, предъявляемых разными авторами к территориям инновационного развития, позволил выявить следующие:

- организация научных исследований, способных обеспечить научный задел для развития ключевых видов экономической деятельности в регионе;
- организация притока в регион передовых технологий, в том числе за счет открытых инноваций;
- сопровождение процесса коммерциализации результатов научных исследований на территории региона и за его пределами;
- организация импортозамещающих производств на территории региона;
- содействие развитию материально-технической базы региона;
- развитие региональной инновационной инфраструктуры;
- обеспечение притока инвестиций в инновационное развитие региона;
- обеспечение роста инвестиционной привлекательности региона;
- поддержка процессов распределения инновационной продукции за счет создания новых каналов на территории региона и за его пределами;
- формирования дополнительных рабочих мест в регионе;
- развитие системы промышленной и экологической безопасности.

Анализ нормативно-правовой базы показал, что в российском законодательстве не используется понятие «территория инновационного развития». Однако согласно с рекомендациями Минэкономразвития России по заполнению информационных форм для характеристики объектов инновационной инфраструктуры субъектов Российской Федерации, данным термин является обобщающим по отношению к «территориям с высоким научно-техническим потенциалом», статус которых определяется федеральным и региональным законодательством.

В то же время отмечается многообразие форм "территории инновационного развития", что обусловлено как различием целей их создания и функционирования, так и особенностями формируемой инновационной инфраструктуры. Так, в российском законодательстве можно выделить следующие формы организации территорий с особым правовым статусом федерального уровня:

- 1) наукоград (Федеральный закон от 07.04.1999 № 70-ФЗ «О статусе наукограда Российской Федерации»);

2) технико-внедренческая особая экономическая зона (Федеральный закон от 22 июля 2005 г. №116-ФЗ "Об особых экономических зонах в Российской Федерации");

3) зона территориального развития (Федеральный закон от 3 декабря 2011 г. №392-ФЗ «О зонах территориального развития в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»);

4) территория опережающего развития (Федеральный закон от 29.12.2014 г. №473-ФЗ "О территориях опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации").

На сегодняшний день в Российской Федерации существует еще такая форма "территории инновационного развития", как технопарк, порядок создания и развития которого регламентируется Государственной программой «Создание в Российской Федерации технопарков в сфере высоких технологий», одобренная Распоряжением Правительства РФ от 10 марта 2006 г. № 328-р.

Еще одной формой "территории инновационного развития" может выступать закрытое административно-территориальное образование (Закон Российской Федерации от 14 июля 1992 года №3297-1 "О закрытом административно-территориальном образовании"). Особенно это перспективно для муниципальных образований, обладающих серьезным научно-производственным комплексом и развитой инфраструктурой, которые с советских времен специализируются на выпуске наукоемкой продукции оборонного назначения.

Следует отметить, что аналогичная ситуация с определением статуса "территории инновационного развития" отмечается и в региональном законодательстве, которое характеризуется наличием существенных различий в нормативной правовой базе, регулирующей инновационную деятельность на уровне субъектов Российской Федерации.

Анализ правовых основ различных субъектов Российской Федерации свидетельствует, что на нормативно закреплённый статус "территории инновационного развития" в форме наукограда могут претендовать только регионы-лидеры инновационного развития (так, в настоящее время более трети всех наукоградов находятся в Московской области). В регионах со средней инновационной активностью обычно используются другие формы "территорий инновационного развития" (например, особые экономические зоны, впервые получили нормативное закрепление на территории Липецкой области).

Таким образом, федеральная и региональная нормативно-правовая база в сфере инновационной деятельности не в полной мере удовлетворяет потребностям инновационного развития экономики России. Неравномерный характер оказания региональной поддержки инновационной деятельности приводит к усилению диспропорции по показателям инновационной активности субъектов Федерации. В значительной степени это обусловлено отсутствием инструментов формирования и поддержки "территорий инновационного развития" в регионах со средней и низкой инновационной активностью, которые зачастую являются крупными научно-промышленными центрами, исторически производящими

стратегическую продукцию.

Решение описанной задачи может быть выполнено за счет выявления территориальных зон инновационного развития на территории некоторого субъекта Российской Федерации, которые будут характеризоваться благоприятными условиями для реализации некоторого типа инновационных проектов.

Как представляется, для отбора территорий, перспективных для реализации инновационных проектов, целесообразно использовать методы параметрической оптимизации. Данные методы позволяют в условиях недостатка статистической информации определять вектор параметров, при котором заданная целевая функция принимает оптимальное значение.

В настоящее время широкое распространение получили алгоритмы роевой оптимизации, которые направлены на решение сложных задач многокритериальной оптимизации и основаны на моделировании коллективного поведения различных живых организмов.

В качестве подхода к решению поставленной задачи можно предложить использование предложенного К.М. Пассино алгоритма бактериальной оптимизации (bacterial optimization), основанного на принципах осуществления двигательной реакции бактерий *E.coli* на полезные и вредные вещества.

Движение бактерии *E.coli* зависит от наличия химических веществ, находящихся в среде ее обитания: аттрактантов (питательных веществ) и репеллентов (потенциально опасных веществ). Так, бактерия стремится в область с наибольшей концентрацией питательных веществ (или в область с наименьшей концентрацией вредных веществ). При этом если бактерия движется в направлении увеличения концентрации аттрактантов (или снижения концентрации репеллентов), то время до ее последующего кувырка (смены направления) увеличивается. Если же количество питательных веществ начинает снижаться (или увеличиваться количество вредных веществ), то приводит смена направления движения (до тех пор, пока не будет найдено правильное направление). Такая двигательная реакция бактерий *E.coli* на химическим раздражитель называется бактериальным хемотаксисом [1].

Следует отметить, что каждая бактерия способна выделять специальные вещества, которые сигнализируют о наличии в месте ее нахождения или полезных, или вредных веществ. Данная информация «считывается» другими бактериями, что позволяет им пересчитаться концентрированными роями с высокой плотностью [2].

Классический алгоритм бактериальной оптимизации включает

1. Хемотаксис заключается в локальной оптимизации в некотором пространстве признаков. Для рассматриваемой задачи будет использоваться двумерное пространство, характеризующее территориальное размещение потребителей инноваций.

Пусть $F_{i,r,l}$ – вектор текущего положения бактерии (т.е. отдельного исследования) $s_i \in S$ на t -ом шаге хемотаксиса, r -м шаге репродукции и l -ом шаге рассеивания; $|S|$ – четное число бактерий в популяции S ; t_h , t_r , t_l – общее число

шагов хемотаксиса, репродукции и рассеяния.

Тогда следующее положение бактерии s_i определяется по формуле:

$$F_{i,r,l}^* = F_{i,r,l} + \lambda_i \frac{V_i}{\|V_i\|_E},$$

где V_i – направляющий $(|F| \times 1)$ -вектор шага бактерии s_i ; λ_i – значение шага.

Так, при плавании бактерии вектор V_i на следующем шаге остается неизменным, а при кувырке представляет случайный вектор, компоненты которого лежат в интервале $[-1;1]$. Плавание бактерии продолжается до тех пор, пока значение целевой функции увеличивается.

2. Репродукция направлена на увеличение скорости сходимости алгоритма за счет сокращения поискового пространства.

Суммарное значение целевой функции h_i , определяемой для всех точек траектории $\tau \in [1, t]$ бактерии s_i , рассчитывается по формуле:

$$h_i = \sum_{\tau=1}^t \varphi_{i,r,l}(\tau),$$

где $\varphi_{i,r,l}(\tau)$ – фитнес-функция бактерии s_i (перспективность территории) на r -м шаге репродукции и l -ом шаге рассеивания.

Для всех бактерий s_i рассчитывается значение целевой функции h_i , которое потом сортируется в порядке убывания. По результатам сортировки на $(r+1)$ -м шаге репродукции наиболее слабые бактерии исключаются, а каждая выжившая делится на две идентичных с координатами разделившейся. После репродукции общее число бактерий в популяции остается неизменным и равным $|S|$.

3. Рассеивание, которое запускается после выполнения определенного числа репродукций. В популяции произвольным образом с заданной вероятностью отбирается n бактерий, исключаемых из популяции. Взамен уничтоженных бактерий в случайной точке пространства признаков генерируется новая бактерия, при этом общее число бактерий в популяции остается постоянным.

Алгоритм бактериальной оптимизации завершается выполнением поставленного условия (достижение максимального числа итераций или получение решения с заданной степенью точности).

Как представляется, в результате применения данного алгоритма для рассматриваемой научной задачи появляется возможность сократить число комбинаций, исключив из рассмотрения неперспективные территории.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №15-07-02935.

Литература:

1. Карпенко А. П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых малоизвестных алгоритмов // ИТ: Прилож. к журналу «Информационные технологии». 2012. № 7. С. 1-32.
2. Смирнова О.С., Богорадникова А.В., Блинов М.Ю. Описание роевых алгоритмов, инспирированных неживой природой и бактериями, для использования в онтологической модели // International Journal of Open Information Technologies. 2015. vol. 3, no. 12, pp. 28-37.

ОТБОР ЗНАЧИМЫХ ПРИЗНАКОВ КАК ОДИН ИЗ НЕОБХОДИМЫХ ПУНКТОВ АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

В данной статье рассматривается проблема отбора значимых признаков для систем принятия решений и параллельный генетический алгоритм как одно из решений рассмотренной проблемы. В рамках научной работы исследуются достоинства и недостатки алгоритма, и предлагается модификация алгоритма.

Ключевые слова: отбор значимых признаков, параллельный генетический алгоритм, системы принятия решений, анализ данных.

При моделировании и организации таких промышленных процессов, как электроснабжение, водоснабжение, нефтедобыча и т.д., используется принцип «черного ящика», когда поведение системы характеризуется множеством входных признаков и соответствующих им ответных реакций. Признаки, используемые при моделировании сложных систем, оказывают значительное влияние на качество результатов. Отбор значимых признаков – это процесс определения уровня взаимосвязи между входным признаком и целевой переменной и выбор среди множества входных переменных наиболее значимых.

Основная цель исследовательской работы – исследование и модификация параллельного генетического алгоритма в качестве основы процесса отбора значимых признаков, который в последствии можно использовать при моделировании производственного процесса.

В рамках исследовательской работы рассматривается параллельный генетический алгоритм отбора значимых признаков [1]. Основным принцип алгоритма – использование нескольких коротких параллельных эволюционных путей для отбора наиболее значимых признаков. Алгоритм запускается несколько раз и определяется частота появления каждого признака относительно всех параллельных эволюционных путей. В качестве результата представляется трехмерный массив $r(M, B, U)$, где M – число признаков, B – число параллельных эволюционных путей, U – количество запусков алгоритма (рис. 1).

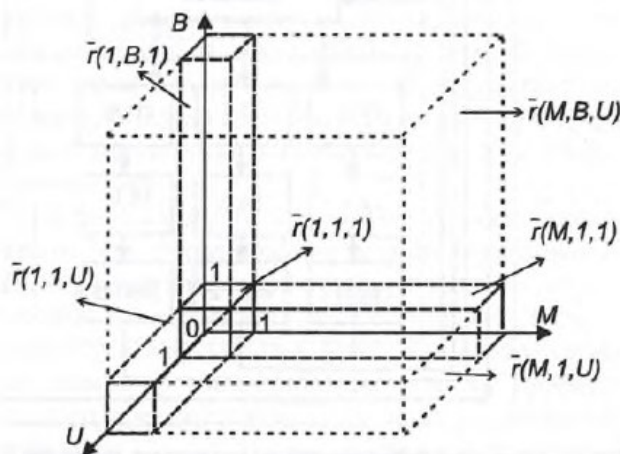


Рисунок 1. Схематическое представление трехмерного массива весов входных признаков

Влияние нормировки исходных данных. В рамках исследовательской работы было рассмотрено влияние нормировки исходных данных на конечный результат. Был проведен анализ работы параллельного генетического алгоритма для 50-70 параллельных путей с 20 поколениями и с 20-30 популяциями для нормированных и ненормированных исходных данных. В результате было обнаружено влияние нормировки на точность результатов. Для нормализованных исходных данных была замечена тенденция деления на небольшие группы по уровню значимости, для ненормированных данных, как правило, уровень значимости снижался достаточно равномерно.

Влияние количества эволюционных путей на качество модели. Дополнительно в рамках работы была необходимость в определении качества построенной модели. Критерием оценки качества модели было принято значение функции приспособленности. Данная функция позволяет оценить, насколько приспособлены особи в популяции, и отобрать те, у которых наибольшее значение функции приспособленности в соответствии с эволюционным принципом выживания «сильнейших».

График зависимости значения функции приспособленности от числа эволюционных путей представлен на рисунке 2.

Также было рассмотрено, как сильно меняется уровень значимости входных переменных с ростом числа эволюционных путей (рис. 3).

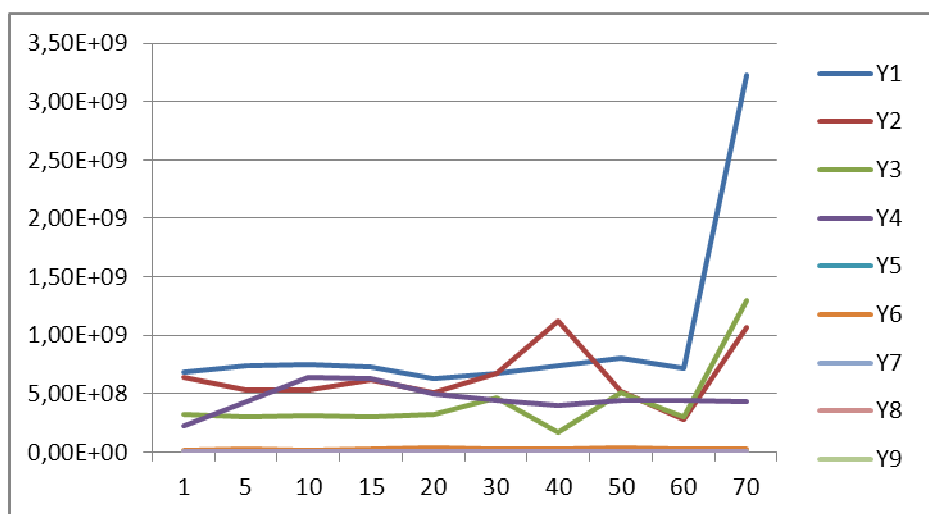


Рисунок 2. Зависимость приспособленности от числа эволюционных путей.

Графики демонстрируют, что уровень значимости большинства входных переменных достаточно стабилен. Начиная от 40 эволюционных путей, показатели выравниваются. С ростом числа эволюционных путей часть входных переменных отсеиваются из числа значимых. С изменением состава отобранных признаков меняется и качество работы алгоритма, что демонстрируют скачки значения функции приспособленности на рисунке 2. Отсюда следует, что для корректной работы алгоритма необходимо использовать не менее 40-50 эволюционных путей.

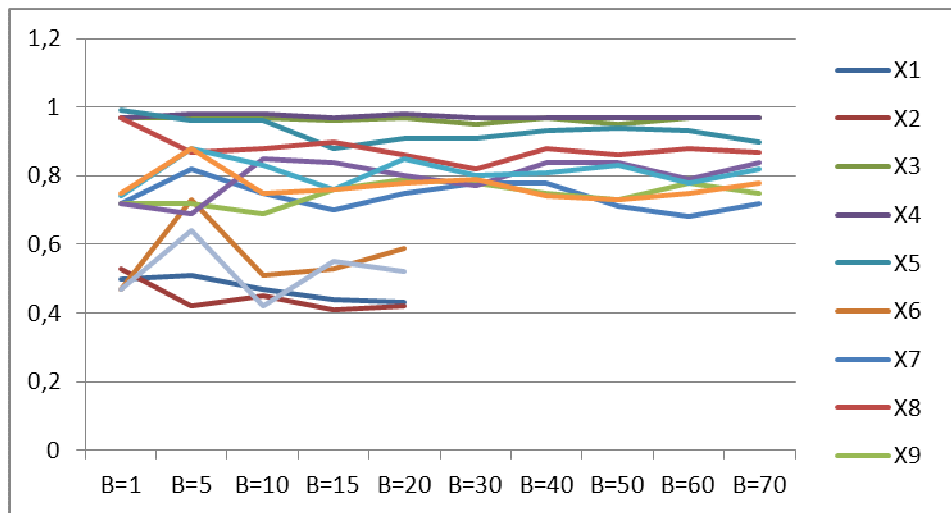


Рисунок 3. Зависимость уровня значимости входных переменных от изменения числа эволюционных путей для выходной переменной Y5.

Влияние глубины алгоритма на качество модели. Также было оценено влияние глубины алгоритма на его приспособленность. Глубины параллельного генетического алгоритма – это размер популяции. Результат представлен в виде графика зависимости функции приспособленности от глубины алгоритма на рисунке 4. В результате не было выявлено единой тенденции к росту или убыванию значения функции приспособленности для всех переменных. Во многих случаях большое число популяций не приводит к хорошим показателям, поэтому для качественной работы алгоритма достаточно 15-30 популяций.

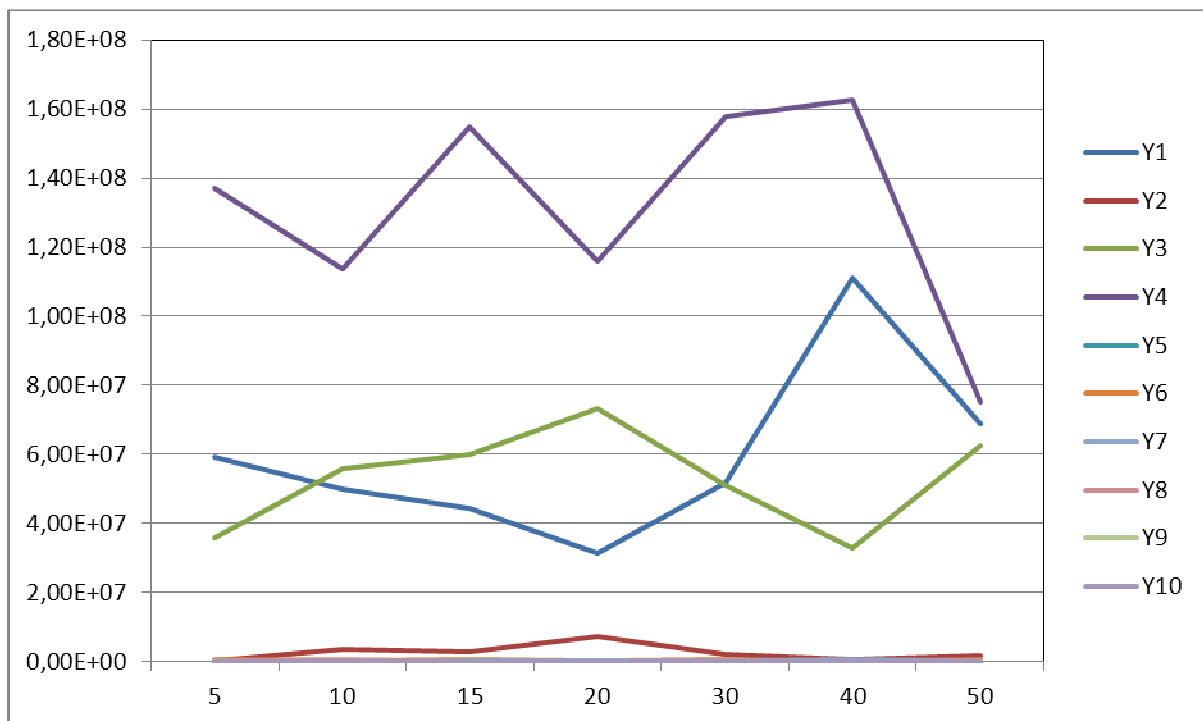


Рисунок 4. Зависимость функции приспособленности от глубины алгоритма.

Для дальнейшей исследовательской работы определены следующие задачи:

1) Программная реализация трехмерного массива, представленного на рисунке 1, использование тензорного исчисления для представления результатов работы параллельного генетического алгоритма в виде тензора [3] и применение HOSVD-разложения (Higher Order Singular Value Decomposition). Полученный базис тензора позволит определить основные настройки алгоритма для быстрой и качественной работы.

2) Проверка применимости параллельного генетического алгоритма в качестве метода отбора значимых признаков для построения нейронных сетей.

3) Использование различных методов предварительной оценки входных данных.

Результатом исследовательской работы являются модификация параллельного генетического алгоритма и разработанное программное средство, которые дадут возможность делать качественный отбор значимых признаков для работы систем принятия решений, а также в других различных сферах анализа данных.

Литература

1. Мокшин В.В. Параллельный генетический алгоритм отбора значимых факторов, влияющих на эволюцию сложной системы / Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2009. № 3. С. 89-93.
2. Мокшин В.В., Якимов И.М. Метод формирования модели анализа сложной системы. Информационные технологии. 2011. № 5. С. 46-51.
3. Tensor-based singular processing Ilmenau University of Technology, Communications Research Laboratory.
4. Мокшин В.В., Сайфудинов И.Р., Кирпичников А.П., Шарнин Л.М. Распознавание транспортных средств на основе эвристических данных и машинного обучения // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 5. С. 130-137.
5. Степанова М.А., Сытник С.А., Кирпичников А.П., Мокшин В.В. Оптимизация процесса ремонта грузоподъемных машин по математической модели / Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 20. С. 309-314.
6. Мокшин В.В., Якимов И.М. Метод формирования модели анализа сложной системы / Информационные технологии. 2011. № 5. С. 46-51.
7. Мокшин В.В., Якимов И.М., Юльметьев Р.М., Мокшин А.В. Рекурсивно-регрессионная самоорганизация моделей анализа и контроля сложных систем / Нелинейный мир. 2009. Т. 7. № 1. С. 66-76.
8. Якимов И.М., Абзалова Л.Р., Кирпичников А.П., Мокшин В.В. Краткий обзор графических редакторов структурных моделей сложных систем / Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 17. С. 213-221.
9. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Мокшин В.В. Моделирование сложных систем в имитационной среде AnyLogic / Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 13. С. 352-357.

КОЛЛАБОРАТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ЗАДАЧ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ИСПОЛНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

В статье рассматриваются проблемы фильтрации больших объёмов данных, связанных с необходимостью сопоставления исполнителей и задач жизненного цикла экономических информационных систем. Описана предложенная автором модификация модели коллаборативной фильтрации на основе совместной кластеризации, которая может применяться в совместно с рыночной системой координации ресурсов при организации работ жизненного цикла экономических информационных систем.

Ключевые слова: коллаборативная фильтрация, совместная кластеризация, нечеткая логика, жизненный цикл экономических информационных систем.

Эффективные бизнес-процессы в современных условиях динамичности внешней среды и роста конкуренции являются одним из главных источников конкурентных преимуществ организации. Процесс управления жизненным циклом экономических информационных систем (ЖЦ ЭИС) как составляющая бизнес-процесса исследования и разработок, вносит существенный вклад в эффективность функционирования организации в целом. Сегодня большое количество организаций, разрабатывающих и сопровождающих программное обеспечение экономических информационных систем являются иерархическими, что отражается в том числе и на процессе управления ЖЦ ЭИС – большинство функций реализуется в рамках границ экономических субъектов. Такой подход характеризуется тем, что ресурсы на реализацию бизнес-процессов мобилизуются за счет механизмов власти и авторитарного управления, в отличие от рынка, где мобилизация осуществляется за счет механизмов ценообразования. Централизованный подход имеет ряд существенных недостатков и ведет к снижению эффективности использования человеческого капитала и функционирования бизнес-процессов, и, как следствие, эффективности деятельности экономических субъектов в целом [1]. При этом передача процесса разработки и сопровождения программного обеспечения ЭИС на аутсорсинг в целом не решает рассматриваемую проблему, а лишь переносит центры ответственности и затрат из организации-заказчика в организацию-аутсорсер [2].

В последние годы в связи с развитием информационно-коммуникационных технологий и электронных платежных систем наблюдается рост использования фрилансеров в качестве исполнителей работ жизненного цикла экономических информационных систем – такая модель организации работ реализует рыночную систему координации ресурсов в большей степени, что положительно сказывается на эффективности использования человеческого капитала. В работе [1] предложена модель организации работ ЖЦ ЭИС на основе рыночной системы координации с использованием теории децентрализованных приложений, предполагающая размещение работ в глобальном

информационном пространстве. Такое размещение работ предполагает наличие больших массивов информации о работах и исполнителях. Для эффективного функционирования процессов поиска задач и исполнителей для работ жизненного цикла информационных систем необходимо наличие возможности фильтрации информации – эту задачу целесообразно решать при помощи рекомендательных систем. Все это делает актуальной цель данной работы, которая заключается в разработке алгоритма коллаборативной фильтрации для использования в рамках модели организации работ ЖЦ ЭИС на основе рыночной системы координации с использованием теории децентрализованных приложений.

Одним из известных подходов к реализации алгоритма коллаборативной фильтрации является подход, описанный в [3]. Данный подход основывается на взвешенном алгоритме со-кластеризации, предполагающем одновременную кластеризацию *users* и *items* (в данном случае – работ жизненного цикла экономической информационной системы и исполнителей). Преимуществом этого подхода является его низкая вычислительная сложность при сравнимой с более вычислительно «дорогими» алгоритмами (такими как корреляционные алгоритмы и алгоритмы, основанные на матричных разложениях).

Несмотря на преимущества данного подхода, его применение в неизменном виде в рамках решаемой задачи связано с определенными трудностями. Во-первых, подход предполагает хранение транзакционных данных в матрице рейтингов A в виде вещественных чисел: $A_{ij} \in R$, в то время как назначение рейтинга задаче ЖЦ ЭИС выглядит неестественным (в отличие от рекомендательных систем товаров, фильмов и т.д.). В связи с этим автором предлагается использовать в качестве множества возможных значений матрицы A множество $V = \{1 = \text{«смотрел описание задачи»}, 2 = \text{«изъявил желание выполнить задачу»}, 3 = \text{«выполнил задачу»}\}$.

Во-вторых, для описанного в [3] подхода характерна задача «холодного старта». Это связано с тем, что в случае, когда *user* (исполнитель задачи) или *item* (задача ЖЦ ЭИС) являются новыми (нет транзакционных данных в матрице A), в качестве рейтинга возвращаются усредненные значения по столбцам, строкам или матрице A в целом. Такие значения не учитывают специфики новых сущностей, и рекомендации на их основе являются мало релевантными. Для нивелирования этого недостатка автором предлагается применение в случаях отсутствия транзакционных данных предиктивной кластеризации сущностей. Для этого требуется провести кластеризацию множеств задач и исполнителей ЖЦ ЭИС одним из методов кластеризации, предполагающим возможность последующего вычисления степени принадлежности объекта к кластеру, например, методом C-Means [4]. В результате кластеризации множеств каждому исполнителю и задаче в матрице A будет соответствовать метка, отражающая его принадлежность к тому или иному кластеру. При последующей необходимости вычисления рейтинга для нового исполнителя или задачи ЖЦ ЭИС автором предлагается определить степени принадлежности новой сущности к кластерам, полученным на предыдущем этапе с помощью построенной методов

кластеризации аппроксимирующей функции и вычислить рейтинг на основе записей в матрице A , соответствующих меткам кластеров, для которых степень принадлежности новой сущности больше нуля. В таком случае, формулы вычисления рейтингов, предложенные в [], примут следующий вид. Для случая, когда данные об исполнителе имеются в матрице A , а задача является новой, предлагается использование формулы (1).

$$u_i \in U \text{ AND } p_j \notin P: r \leftarrow \frac{\sum_{c \in C} \sum_{i' \in I_{\mu i, c} > 0} A_{ij'} \mu i c}{\sum_{c \in C} \sum_{i' \in I_{\mu i, c} > 0} W_{ij'} \mu i c} \quad (1)$$

где U – множество исполнителей, P – множество задач ЖЦ ЭИС, r – рейтинг, аппроксимированный алгоритмом, C – множество кластеров исполнителей, $I_{\mu i c} > 0$ – множество исполнителей, степень принадлежности которых к текущему кластеру из множества C больше нуля, $\mu i c$ – степень принадлежности исполнителя к текущему кластеру из множества C , $A_{ij'}$ – соответствующее значение в матрице транзакционных данных, $W_{ij'}$ – соответствующее значение в матрице весов.

В случае, когда исполнитель является новым, а данные о задаче имеются в матрице A , предлагается использование формулы (2).

$$u_i \notin U \text{ AND } p_j \in P: r \leftarrow \frac{\sum_{d \in D} \sum_{j' \in J_{\mu j, d} > 0} A_{i'j} \mu j d}{\sum_{d \in D} \sum_{j' \in J_{\mu j, d} > 0} W_{i'j} \mu j d} \quad (2)$$

где D – множество кластеров задач ЖЦ ЭИС, $J_{\mu j d} > 0$ – множество задач ЖЦ ЭИС, степень принадлежности которых к текущему кластеру из множества D больше нуля, $\mu j d$ – степень принадлежности задачи к текущему кластеру из множества D .

В случае, когда в матрице A нет данных ни об исполнителе, ни о задаче ЖЦ ЭИС, предлагается использование формулы (3).

$$u_i \notin U \text{ AND } p_j \notin P: r \leftarrow \frac{\sum_{c \in C, d \in D} \sum_{i' \in I_{\mu i, c} > 0} \sum_{j' \in J_{\mu j, d} > 0} A_{i'j'} \mu i c \mu j d}{\sum_{c \in C, d \in D} \sum_{i' \in I_{\mu i, c} > 0} \sum_{j' \in J_{\mu j, d} > 0} W_{i'j'} \mu i c \mu j d} \quad (3)$$

В-третьих, в отличие от «традиционных» рекомендательных систем, в которых сущности *item* можно рекомендовать бесконечное количество раз, в рассматриваемой модели *items* (задачи ЖЦ ЭИС) можно рекомендовать только до тех пор, пока они активны (не взяты на выполнение другой сущностью *user*). В то же время полное удаление неактивных задач из матрицы с транзакционными данными повлечет за собой снижение качества вычисления рейтинга для исполнителей и задач ЖЦ ЭИС. Для решения данной проблемы автором предлагается присвоение неактивным задачам метки *inactive*. Для задач с такой меткой рейтинг вычисляться не будет, в следствие чего неактивные

задачи не будут попадать в рекомендательную выборку, но будут доступны для использования при подсчете рейтингов для других со-кластеров задач и исполнителей.

В четвертых, в работе [3] в качестве функционала качества предложена квадратичная функция потерь, что потенциально может привести к проблеме переобучения модели. Для снижения данного риска применяются такие методы, как ограничения сложности модели (методы структурной минимизации риска, отбора признаков и т.д.), а также методы наложения дополнительных ограничений на параметры модели (в частности регуляризация). Изучение и выбор наиболее релевантного метода снижения риска переобучения является важной задачей, но выходит за пределы данной работы. Несмотря на это, необходимо учитывать этот аспект при использовании предлагаемого подхода.

Таким образом, с учетом предложенных модификаций, метод фильтрации на основе со-кластеризации может быть применен для коллаборативной фильтрации в рамках модели организации работ ЖЦ ЭИС на основе рыночной системы координации с использованием теории децентрализованных приложений. Целесообразным представляется развитие описанного подхода в части выбора метода предиктивной кластеризации, наиболее полно удовлетворяющего условиям применения, выбора методов обучения ранжированию для представления рекомендаций в порядке убывания релевантности, дальнейшего изучения возможностей применения регуляризации при обучении модели, а также апробации предложенного подхода на практике. Практическое применение предложенного подхода предполагается в направлении совершенствования методов управления жизненным циклом экономических информационных систем.

Литература

1. Дли М. И., Салов Н.А. Организация работ жизненного цикла экономической информационной системы на основе рыночной системы координации с использованием теории децентрализованных приложений // Транспортное дело России. 2017. № 4. С. 20-31.
2. Дли М. И., Салов Н. А. Способы интеграции информационных систем субъектов экономической деятельности при использовании аутсорсинга // Прикладная информатика. 2017. № 3 (69). С. 11–20.
3. George T., Merugu S. A scalable collaborative filtering framework based on co-clustering // Data Mining, Fifth IEEE international conference on. – IEEE, 2005. – С. 4 pp.
4. Гимаров В. А., Дли М. И., Битюцкий С. Я. Задачи нестационарной кластеризации состояния нефтехимического оборудования // Нефтегазовое дело. – 2004. Т. 2. С. 203–207.

**Г.В. Спиридонов, студ., В.В. Мошкин к.т.н., доцент
(КНИТУ-КАИ им. А.Н.Туполева, г. Казань)**

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИИ УЧЁТА РЕСУРСОВ ДЛЯ ПРЕД- ПРИЯТИЙ ЖКХ

В статье рассматривается реализация системы автоматического учёта ресурсопотребления в организациях, занимающихся обеспечением энергоресурсами различных потребителей. Определены основные цели и задачи, которые необходимо решить при разработке данного комплекса, отмечены положительные моменты и преимущества, связанные с внедрением такой системы. Представлен интерфейс управления системой.

Ключевые слова: Учёт, Ресурсы, Потребление, Автоматизация, Контроль

Одной из самых важных задач современных предприятий жилищно-коммунального хозяйства является предоставление отопления, водоснабжения, канализация и других услуг населению с максимальной выгодой. Однако существующие предприятия ЖКХ, ориентированное на дешевые энергоносители, продолжают оставаться ресурсозатратной отраслью, неэффективность работы которой в виде завышенных коммунальных платежей перекладывается на плечи потребителей[1].

Мировая и отечественная практика показала, что наиболее эффективным выходом из сложившегося положения является проведение мероприятий по оптимизации потребления энергетических ресурсов на объектах отрасли. Решить эту задачу, можно благодаря внедрению современных систем диспетчеризации объектов ЖКХ.

Автоматизированная информационная система удаленного контроля и управления, как правило, состоит из территориально распределённых контролируемых пунктов с локальными контроллерами и одного центрального диспетчерского пункта управления. Поэтому, такие системы ещё называют – системами диспетчеризации[2].

Внедрение систем диспетчеризации приводит к ряду явных и не явных положительных факторов повышающих общую эффективность и рентабельность предприятия.

Самый большой эффект от внедрения систем диспетчеризации получают сетевые инфраструктурные компании, такие как электрические сети, климатические системы, системы водоснабжения, газотранспортные системы, а также системы централизованного отопления и горячего водоснабжения.

К явным преимуществам диспетчеризации относятся:

- Повышение эффективности анализа технико-экономических показателей.
- Экономия рабочего времени управленческих кадров.
- Снижение издержек за счёт снижения общей численности оперативного обслуживающего персонала и повышения производительности труда.
- Снижение потерь при нештатных ситуациях за счёт оперативного устранения неисправности ремонтным персоналом.
- Повышение общей безопасности вследствие снижения человеческого фактора.

Контроль над технологическим ресурсом оборудования позволяет эффективнее проводить планово-предупредительные ремонты и вовремя менять устаревшее оборудование на новое, что значительно снижает риски возникновения нештатных ситуаций. Накопление статистических данных и наличие удобных аналитических инструментов, даёт возможность эффективного выявления и устранения «узких» мест в технологической и организационной цепочках. Повышение дисциплины и ответственности сотрудников, приводит к общему повышению производительности труда[3].

В следствии увеличения затрат, связанных с эксплуатацией и обслуживанием инфраструктуры водоснабжения, отсутствие автоматизированного подхода к обнаружению неучтённых расходов, отсутствие средств отслеживания

статуса измерительной аппаратуры возникает потребность в разработке автоматизированной системы.

На основе полученных данных формулируются цели и задачи разрабатываемой автоматизированной системы. Таким образом, одними из важных задач данной системы являются:

1. Обнаружение и локализация утечек;
2. Эффективное управление давлением;
3. Обработка полученных данных и составление отчетных ведомостей.

Для поставленных задач разрабатываются математические модели и представляются алгоритмы решения данных задач.

На следующих этапах разрабатывается информационное обеспечение (база данных), технологический процесс обработки данных и алгоритмы решения конкретных прикладных задач.

В заключение производится проектирование технического обеспечения автоматизированной системы[4]. На начальной стадии проектирования для регистрации результатов по предоставлению показаний приборов учёта воды, жилищно-коммунальные организации формируют отчётные ведомости и архивы данных абонентского учёта, с помощью данных абонентского учёта выявляются неучтённые расходы воды, записываемые в архивы данных абонентского учёта. Построение функциональной структуры автоматизированной системы осуществляется на этапе технического проектирования, на основе данных, полученных в результате предпроектного и детального обследования информационных потоков и процедур обработки данных. [5]

При разработке функциональной структуры автоматизированной системы производится окончательный выбор задач, осуществляется их постановка, определяются информационные и управляющие связи между задачами и службами управления. Принимается решение создания системы удаленного автоматического сбора данных, которая функционирует следующим образом:

На сервере установлена программа, выполняющая непрерывный запрос параметров от датчиков подключённых домов. На каждом адресе установлен ряд технических средств: модем для выхода в интернет, контроллер, выполняющий сбор данных со счетчиков и управление терморегуляторами, дискретный модуль и преобразователи интерфейсов для сопряжения устройств. Все эти устройства размещаются в специальном щите диспетчеризации.

Пользователями автоматизированной информационной системы общедомового учета энергоресурсов являются диспетчера жилищных управляющих компаний.

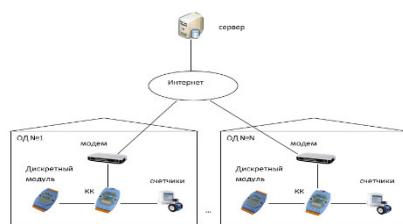


Рис.1 Схема технического взаимодействия компонентов системы

АИС предназначена для ряда следующих основных задач:

1. Удаленный сбор данных с объектов диспетчеризации.
2. Обработка полученных данных и представление их в виде таблиц и графиков.
3. Диспетчеризация управления и настройки терморегуляторов.
4. Введение списка потребителей.
5. Ведение истории тарифов на коммунальные услуги.
6. Подготовка сводного отчета.
7. Распределение общих расходов между всеми потребителями.

Работа с программой

При запуске программы необходимо войти под пользователем. Слева в одну колонку размещены все подключенные к системе ОД. Там же показывается текущее время и дата.

При запуске программы автоматически открывается вкладка «Карта». Элемент служит для отображения промышленных зданий и жилых домов, расположенных в районе обслуживания.

Амирхана, 10
Амирхана, 10АК1
Амирхана, 10АК2
Амирхана, 2
Амирхана, 4А
Амирхана, 8А
Волгоградская, 22
Воровского, 11
Воровского, 3

Рис. 2 Адреса домов, подключённых к АИС

На карте каждый объект диспетчеризации обозначается специальным индикатором, который может принимать следующие состояния:

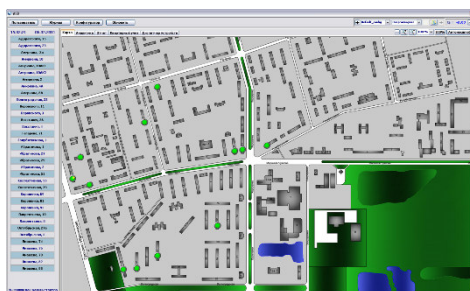


Рис. 3 Карта домов

-  – все приборы работают стабильно, нет нештатных ситуаций.
-  – нет нештатной ситуации, некоторые приборы не отвечают.
-  – КК не отвечает.
-  – наличие нештатной ситуации, некоторые устройства не отвечают.
-  – все устройства отвечают, но присутствует нештатная ситуация.

При нажатии левой кнопки мыши на индикатор высвечивается адрес, к которому он прикреплен.



Программа управления даёт возможность:

- 1) Отображать данные в графическом виде
- 2) Создавать отчётные ведомости
- 3) Имеется журнал событий
- 4) Возможность сортировки по дате, по адресу, по устройству.

Также с помощью программы можно выполнять следующие функции:

1) Раздел «Аналитика» содержит материал, служащий для наглядного анализа собранной информации. Здесь представлены как текущие, так и архивные данные. В разделе представлена возможность просмотра сведений за любой отрезок времени, когда устройство находилось в эксплуатации.

2) Раздел «Графики» предназначен для отображения собранных данных в графическом виде для лучшего восприятия показателей измеряемых величин в определенный момент времени.

3) Раздел «Отчетная ведомость» служит для формирования отчета, готового для печати, по имеющимся в системе устройствам.

4) Раздел «Диспетчер устройств» предназначен для просмотра наличия устройств в системе и программирования технических данных приборов.

5) Раздела «Все устройства» отражает иерархическое дерево устройств, путем деления их на определенные категории.

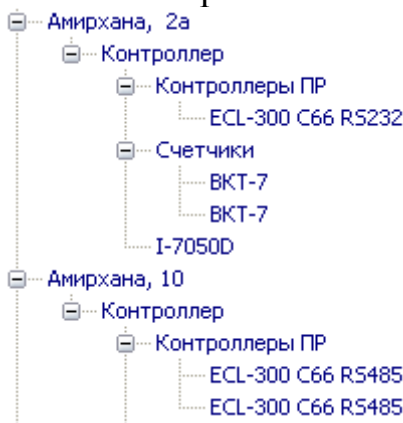


Рис. 4 Иерархическое дерево устройств

При использовании АИС можно полностью контролировать и своевременно вносить коррективы в соответствующие процессы и процедуры, а также следить за исправностью оборудования и своевременно проводить профилактические мероприятия по его обслуживанию.

В заключении следует отметить, что «Автоматизированная информационная система общедомового учета энергоресурсов» разрабатывается для выполнения поставленных целей и решения выдвинутых задач. С внедрением системы

реализуется должная экономия путем сокращения затрат и ресурсов на учет энергопотребления, что в свою очередь приведет к повышению прибыли предприятия.

Источники

1. Мокишин В.В., Сайфудинов И.Р., Кирпичников А.П., Шарнин Л.М. Распознавание транспортных средств на основе эвристических данных и машинного обучения // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 5. С. 130-137.
2. Мокишин В.В., Кирпичников А.П., Якимов И.М., Сайфудинов И.Р. Определение транспортных средств на участках дорог классификатором Хаара и оператором LPB с применением Adaboost и отсечением по дорожной разметке / Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 18. С. 148-155.
3. Якимов И.М., Абзалова Л.Р., Кирпичников А.П., Мокишин В.В. Краткий обзор графических редакторов структурных моделей сложных систем / Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 17. С. 213-221.
4. Мокишин В.В., Якимов И.М. Метод формирования модели анализа сложной системы / Информационные технологии. 2011. № 5. С. 46-51.
5. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Мокишин В.В., Махмутов М.Т., Пейсахова М.Л., Валиева А.Х., Низамиев Б.А. Структурное моделирование бизнес процессов в системах BPMN Editor, Elma, RUNAWFE / Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 10. С. 249-256.

Б.В. Окунев, к. т. н., доц.; С.С. Фомичев, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПОВЫШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕБ-САЙТОВ

В статье рассмотрена проблема снижения эффективности веб-сайтов, по причине «устаревания» их интерфейсов и несоответствия инновационным трендам интернет-технологий. Авторами предложены возможные рекомендации для повышения показателей эффективности веб-страниц.

Ключевые слова: интерфейс, эффективность, интернет-технологии, дизайн, веб-сайт.

Бурное развитие интернет-технологий с возможностью получать информацию где угодно изменили жизнь всего общества и основные аспекты ведения бизнеса в частности.

Темпы развития инновационных технологий и, в частности, интернет-технологий постоянно растут. Если сравнить любую веб-страницу 10-летней давности с современной страницей, то можно будет обнаружить множество отличий. К этому результату привела тенденция к упрощению сценариев взаимодействия пользователя с Интернет-ресурсами [1].

Достаточно давно было замечено, что пользователи проводят гораздо больше времени на страницах, информация на которых подается логично, аккуратно и в умеренных количествах.

Для оценки эффективности веб-сайта существует ряд показателей [2]. С их помощью администратор может: определить области, наиболее интересные и неинтересные посетителям сайта; определить читает ли пользователь информацию по количеству времени проведенной на той или иной странице и т.д.

Большинство крупных и средних организаций, активно следящих за

развитием инновационных технологий в интернете, уже перевели свои сайты на новый интерфейс. Однако, простые пользователи, имеющие свои сайты, (например сайты-визитки) также хотят иметь облик страниц, отвечающий современным требованиям. Для того, чтобы данные требования были соблюдены и сайт стал эффективнее и современнее, авторы предлагают некоторые основные рекомендации:

1) Интерфейс страницы должен быть максимально «вертикален». Большинство людей для работы с веб-сайтами используют колесо мыши или клавиши курсора. Дизайн новейших сайтов, устроен так, что гораздо проще прокручивать страницу, чем щелкать на ссылки других страниц, так как, например, попасть в маленькую цифру (например 2) для перехода на следующую страницу на мобильном устройстве может быть достаточно сложно. В результате мы должны ожидать, что все больше и больше веб-сайтов будут перепроектированы для повышения удобства пользования.

2) Минимизация количества ссылок и кнопок, а также укрупнение «кликабельных» областей. В результате, просмотр страниц становится более быстрым, простым и понятным. Такие конструкции легче для понимания. На рисунках 1 и 2 приведены, соответственно, примеры дизайна веб-страниц 2000-х годов и современных.



Рисунок 1 – Дизайн веб-страниц 2000-х годов.

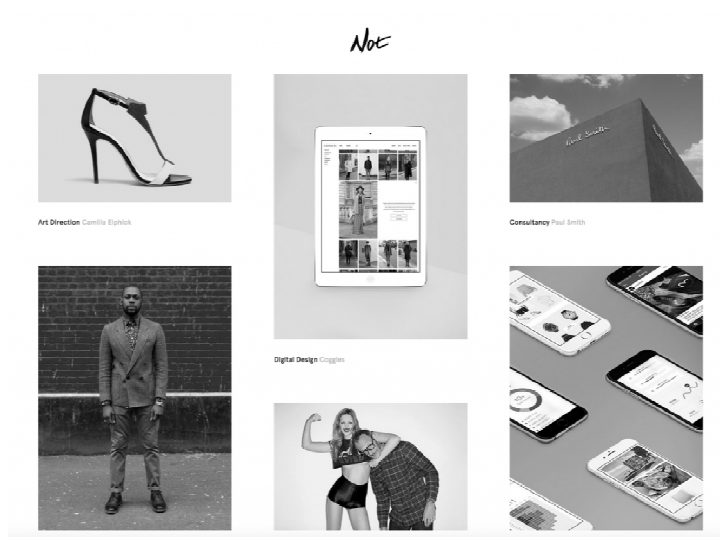


Рисунок 2 – Дизайн современных веб-страниц

В современном мире пользователи более восприимчивы и менее терпеливы, а беспорядок только замедляет восприятие информации.

3) Рекомендуются применять, так называемый, плоский дизайн, представленный на рисунке 3. Плоские (или минималистичные) интерфейсы «работают» лучше чем перегруженные, объемные. Тенденцию к популярности такого дизайна задала компания Google в 2014 году. Она заключается в простоте и непосредственности. Ожидается, что рост популярности такого дизайна будет расти как минимум несколько лет.

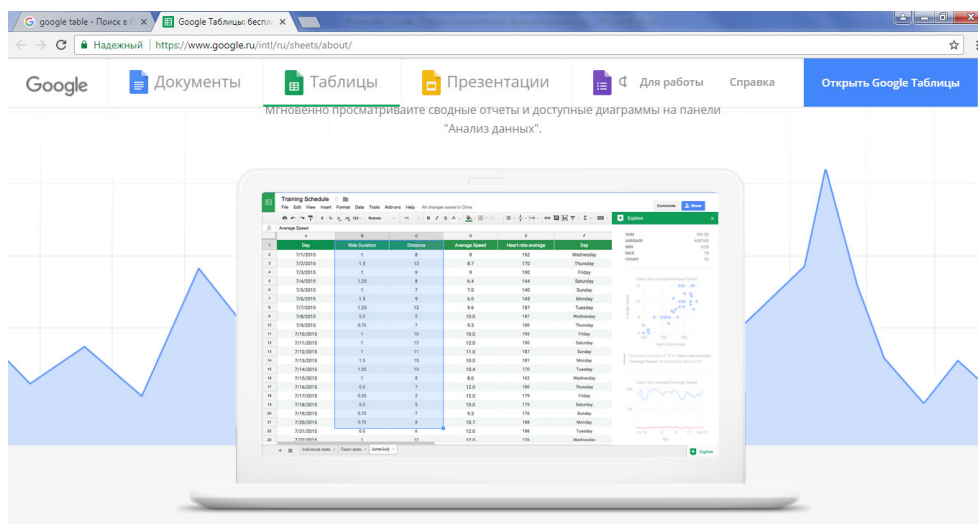


Рисунок 3 – Пример плоского дизайна на веб-странице Google-Таблицы

4) Предпочтительно, строить веб-сайты с использованием иконок на основе шрифтов (замена, по возможности, картинок на псевдо-символы). В этом случае современные веб-сайты работают быстрее и способны масштабировать элементы страниц до любого размера без потери качества, а работа с такими элементами поддерживается большинством языков программирования.

5) Рекомендуются использовать CSS-анимации для придания

веб-элементам динамики. Использование анимированных GIF-файлов «Under Construction» и Flash-анимаций считается малоэффективным для современных сайтов, однако, плоский дизайн может оказаться слишком примитивным и тогда анимация помогает сайту быть более интересным и информативным, а также, упаковывать более значительные объемы информации в меньшее пространство. Новые технологии, такие как CSS-анимация, позволяют упростить дизайн без плагинов, потерь скорости или проблем совместимости.

6) Использование на сайтах ссылок на социальные сети. Это более предпочтительно, чем электронная почта, которая имеет очень существенный недостаток перед социальными сетями, заключающийся в том, что гораздо более высокий процент людей не сразу увидит то, что вы им отправляете.

Таким образом, вышеуказанные рекомендации позволят повысить такие показатели эффективности веб-страниц как: количество вернувшихся посетителей; время, проведенное на сайте.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00491 А

Литература

1. Тренды веб-дизайна 2017 года [Электронный ресурс] // URL <https://spark.ru/startup/truvisibility-com/blog/19218/18-trendov-veb-dizajna-v-2017-godu-chast-1> (дата обращения: 20.09.2017).
2. Основные показатели для информационного портала [Электронный ресурс] // URL <https://makeagency.ru/blog/item/pokazateli-effektivnosti-sayta> (дата обращения: 25.09.2017).

В.П. Фомченков, к.т.н., доц.; О.В. Новикова, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА АУДИТА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

В статье рассмотрена проблема зависимости эффективности аудита системы управления информационной безопасностью организации от уровня знаний и компетентности экспертов аудиторской группы. Предлагается модель процесса аудита, позволяющая повысить обоснованность его результатов за счет использования математического аппарата когнитивного моделирования.

Ключевые слова: информационная безопасность, анализ, риски, аудит, когнитивное моделирование проблемно-целевая модель.

Обеспечение информационной безопасности является одной из важнейших проблем менеджмента организации. Наличие качественной системы управления информационной безопасностью (СУИБ) является важным фактором эффективности функционирования организации в целом, так как только при наличии доступа к полной и точной информации возможно выполнение поставленных целей.

В настоящее время проблема поддержания информационной безопасности на должном уровне остается неизменно актуальной для любой организации. Это связано как с тенденциями развития информационных технологий: возрастание их роли в поддержке бизнес-процессов и усложнение самих информационных

процессов, так и с тенденциями изменения внешнего окружения в направлении значительного роста в последние годы гибридных угроз и киберпреступности.

Оценить уровень защиты компьютерных систем и выработать рекомендации по построению эффективной корпоративной системы защиты информации позволяет проведение аудита СУИБ, динамично развивающегося и одного из наиболее актуальных областей менеджмента информационной безопасности организации.

В осуществлении аудита информационной безопасности применяются различные методики, зависящие от уровня знаний и компетентности группы аудиторов, вследствие чего возникает проблема объективности результатов их деятельности. В частности для широко применяемого для анализа СУИБ процессного подхода характерны следующие недостатки:

- обработкой результатов процессного анализа занимается аналитик по информационной безопасности, в задачу которого входит трансформация модели «как есть» в соответствующее представление «как должно быть», следовательно, зависимость от уровня знаний и компетентности конкретного аудитора полностью не устранена;

- отсутствует или недостаточно проработана формализация процедур, связанных с принятием решения в условиях неопределенности исходной информации;

- отсутствует математический аппарат, позволяющий провести анализ процессов-мероприятий по реорганизации СУИБ, позволяющий выбрать наиболее эффективные, первоочередные мероприятия по приведению системы в состояние «как должно быть».

Появляется необходимость в разработке подходов, позволяющих уменьшить влияние человеческого фактора на процесс аудита информационной безопасности. Одним из эффективных способов решения данной проблемы, по мнению авторов, является использование в процессе аудита прикладных инструментальных решений, в основу которых заложены алгоритмы проблемно-целевого когнитивного моделирования. Проблемно-целевой анализ позволяет выбрать перечень обоснованных мероприятий для решения проблемных ситуаций, связанных с достижением поставленных целей, а когнитивный подход оказывается эффективным для решения задач анализа слабоструктурированных систем, к которым можно отнести СУИБ любой современной организации.

На рисунке 1 представлена логическая модель, описывающая основные процедуры проведения аудита информационной безопасности с использованием предлагаемого подхода. В основу модели положены этапы проведения аудита информационной безопасности, содержащиеся в стандартах ГОСТ Р 56045-2014/ISO/IEC TR 27008:2011, ГОСТ Р ИСО/МЭК 27007-2014 и ГОСТ Р ИСО 19011-2012.



Рисунок 1 – Модель проведения аудита информационной безопасности

Формирование рекомендаций по совершенствованию СУИБ организации включает следующие этапы.

1. Построение проблемно-целевой когнитивной модели.

На данном этапе происходит определение для проблемно-целевой модели множества её концептов $E = \{e_1, e_2, \dots, e_p\}$, выделение концептов-мероприятий по совершенствованию СУИБ, концептов-результатов и концептов целей, и формирование на основе анализа положительно-отрицательных нечетких связей множества $W = \{w(e_i, e_j)\}$ отношений причинности. Источниками информации для их определения являются законодательные, финансово-экономические, уставные, нормативные, отчетные и аналитические документы, согласованные мнения экспертов аудиторской группы, специалистов по защите информации однопрофильных организаций. Модель является нечеткой когнитивной картой и строится в виде нечеткой причинно-следственной сети.

2. Анализ проблемно-целевой когнитивной модели СУИБ организации.

На втором этапе составляется транзитивно замкнутая когнитивная матрица взаимовлияний, определяются интегральные и системные показатели влияния концептов на СУИБ и системы на концепты. Анализ позволяет ранжировать концепты-мероприятия по степени их влияния на СУИБ по критерию положительного воздействия на целевой концепт.

3. Выработка на основе проведенного анализа перечня мероприятий – рекомендаций по совершенствованию СУИБ организации.

В основу рассмотренного алгоритма положены этапы построения проблемно-целевой модели в виде нечеткой когнитивной карты по методике, изложенной в работе [1], и базовая проблемно-целевая модель СУИБ, предложенная в [2].

Окончательное решение по формированию плана мероприятий по устранению недостатков в обеспечении информационной безопасности принимается экспертами аудиторской группы на основе анализа СУИБ организации по традиционной методике и результатам анализа проблемно-целевой когнитивной модели. Предложенный подход позволяет улучшить обоснованность принимаемых решений за счет частичной формализации процедуры выбора мер обеспечения и усиления защиты информации на основе математического аппарата когнитивного моделирования.

Литература

1. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем / В.В. Борисов, И.А. Бычков, А.В. Дементьев, А.П. Соловьев, А.С. Федулов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. 154 с.
2. Фомченков В.П., Окунев Б.В., Рудометкин А.Н. Проблемно-целевое когнитивное моделирование системы управления безопасностью телекоммуникационной инфраструктуры организации [Текст] / В.П. Фомченков, Б.В. Окунев, А.Н. Рудометкин // Журнал правовых и экономических исследований. – 2016. – № 4 – С. 196-201.

*М.В. Черновалова, м.н.с.; А.В. Офицеров, асп.;
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

В.Н. Ахметова, докторант

(Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева)

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

*(Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 15-07-02935А)*

В статье предложены и описаны алгоритмы, ориентированы на поддержку принятия решений при оптимизации длительности инновационных проектов и объемов затрат, связанных с его реализацией. Данные алгоритмы является модификацией алгоритма LS (List Scheduling), отличительной особенностью которых является применение нечетких продукционных правил.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, нечеткая логика, алгоритмизация, инновационный проект, продукционные правила.

Инновационные проекты имеют ряд особенностей, усложняющих принятие решений при их управлении, среди которых наиболее существенными являются высокая степень неопределенности, из-за отсутствия информации о таких проектах, а также большие длительности их реализации и объемы затрат, связанные с обеспечением инновационных проектов всеми необходимыми ресурсами [1-2]. Используемые на сегодняшний день инструменты для управления такими проектами не позволяют учесть все эти особенности в полной мере, что приводит к снижению их результативности. В итоге такие задачи, как определение результативности и времени выполнения последующих этапов от полученных на конкретной стадии выходных параметров, а также определение временных интервалов для каждого этапа с нечеткими сроками выполнения, остаются нерешенными [3-4]. Таким образом, разработка новых инструментов, позволяющих учитывать данные особенности и обеспечивающих поддержку принятия решений при управлении сложными инновационными проектами, становится весьма актуальной задачей на сегодняшний день. Существующие на сегодняшний момент времени подходы к построению графиков работ ориентированы на последовательное выполнение каждой из них, без оценки влияния внутренних и внешних факторов, а также без учета неопределенности [5]. В связи с этим необходимо разработать алгоритм, который позволил бы не просто распределять работы друг за другом, но делать это таким образом, чтобы общее время инновационного проекта было минимальным. Основной задачей данного алгоритма является нахождение минимального

Блок-схема данного алгоритма представлена на рисунке 1.

Сам же алгоритм можно представить в виде следующей последовательности действий.

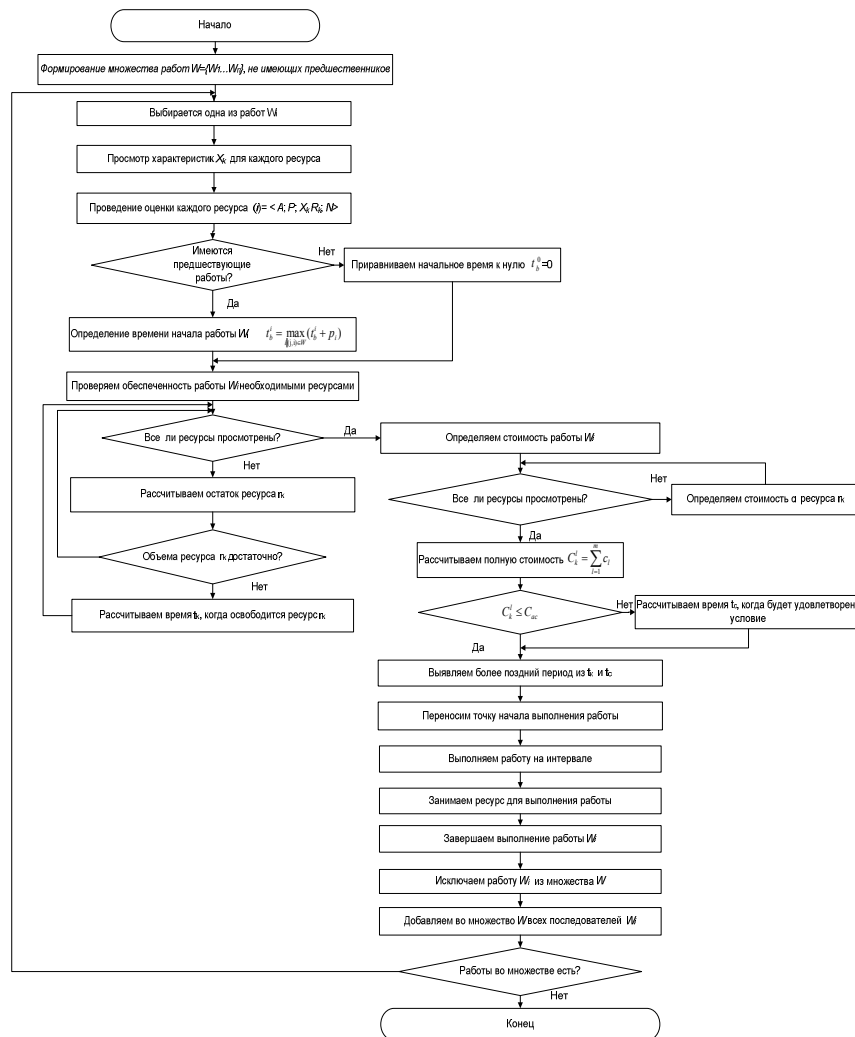


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма оптимизации длительности инновационного процесса в условиях ограниченных ресурсов

1. Формируется множество W , содержащее работы, перед которыми нет ни одной другой работы. Полагаем, что $R_k(\tau) = R_k, \forall \tau, k=1..K$, где R_k – имеющийся у организации объем k -ого ресурса, $k=1 \dots K$.

2. Выбирается работу W_i

3. Просматриваются характеристики X_k для каждого ресурса.

4. Проводится оценка каждого ресурса на основании продукционных правил:

$$(i) = \langle A; P; X_k \xrightarrow{P} R_k; N \rangle$$

где i – индивидуальный номер продукции, A – класс ситуаций, в котором может быть использована данная структура, P – условие активизации продукции, $X_k \xrightarrow{P} R_k$ – ядро продукции, где прогнозируется количество ресурсов исходя из его характеристик с определенной степенью вероятности, N – постусловие продукционного правила.

4. Осуществляется реализация работы.

5. Определяется время окончания предыдущей работы S_{i-1}

$$t_b^i = \max_{i|(j,i) \in W} (t_b^i + p_i), i=1 \dots n+1$$

Если перед W_i нет ни одной работы, тогда $t_b^0 = 0$

6. Проверяется наличие необходимого количества ресурса k для выполнения работы W_i

- поочередно по каждому ресурсу, необходимому для реализации работы W_i , оценивается остаток, который доступен на данный момент времени
- при условии, что имеются ресурсы, количества которых недостаточно определяется момент времени t_k , когда произойдет освобождение требуемого количества каждого из видов ресурсов.

7. Рассчитываются затраты C_k^l на обеспечение k -ого ресурса l -го уровня X_k исходя из полученной оценки.

- Производится суммирование всех видов затрат, связанных с обеспечением работы W_i ресурсом k l -го уровня X_k

$$C_k^l = \sum_{l=1}^m c_l$$

где C_k^l - затраты на обеспечение k -ого ресурса l -го уровня X_k , c_l – отдельная статья затрат, связанная с обеспечением работы W_i ресурсом k l -го уровня X_k

- проводится оценка

$$C_k^l \leq C_{ac}$$

- в случае если затраты превышают допустимый уровень определяется момент времени t_c , когда они будут удовлетворяться данное неравенство.

8. Производится сравнение t_k и t_c и определяется, какой из моментов наступает позже.

9. Время начала реализации работы W_i переносится в наиболее поздний момент времени $t_b^i = t_k$ или $t_b^i = t_c$

10. Происходит начало выполнения работы W_i на интервале времени $[t_b^i, t_b^i + p_i)$

11. Занимаются ресурсы для выполнения работы W_i $R_k(\tau) = R_k(\tau) - r_{ik}$, $\tau \in [t_b^i, t_b^i + p_i)$.

12. Завершается выполнение работы W_i , которая соответственно исключается ее из множества W , высвобождая при этом ресурс $R_k(\tau) = R_k(\tau) + r_{ik}$

13. Добавление во множество W всех последователей работы W_i , для которых все предшествующие работы выполнены.

14. Проверка наличия работ во множестве W , то есть выполнение условия $W \neq \emptyset$. При условии наличия таких работ осуществляется переход к пункту 2, в противном случае алгоритм заканчивается.

Второй разработанный алгоритм ориентирован наоборот на минимизацию затрат, связанных с реализацией инновационного процесса с учетом временных ограничений. Первые пять пунктов данного алгоритма аналогичны описанному выше алгоритму, что видно из блок-схемы, представленной на рисунке 6.

Блок-схема данного алгоритма представлена на рисунке 2.

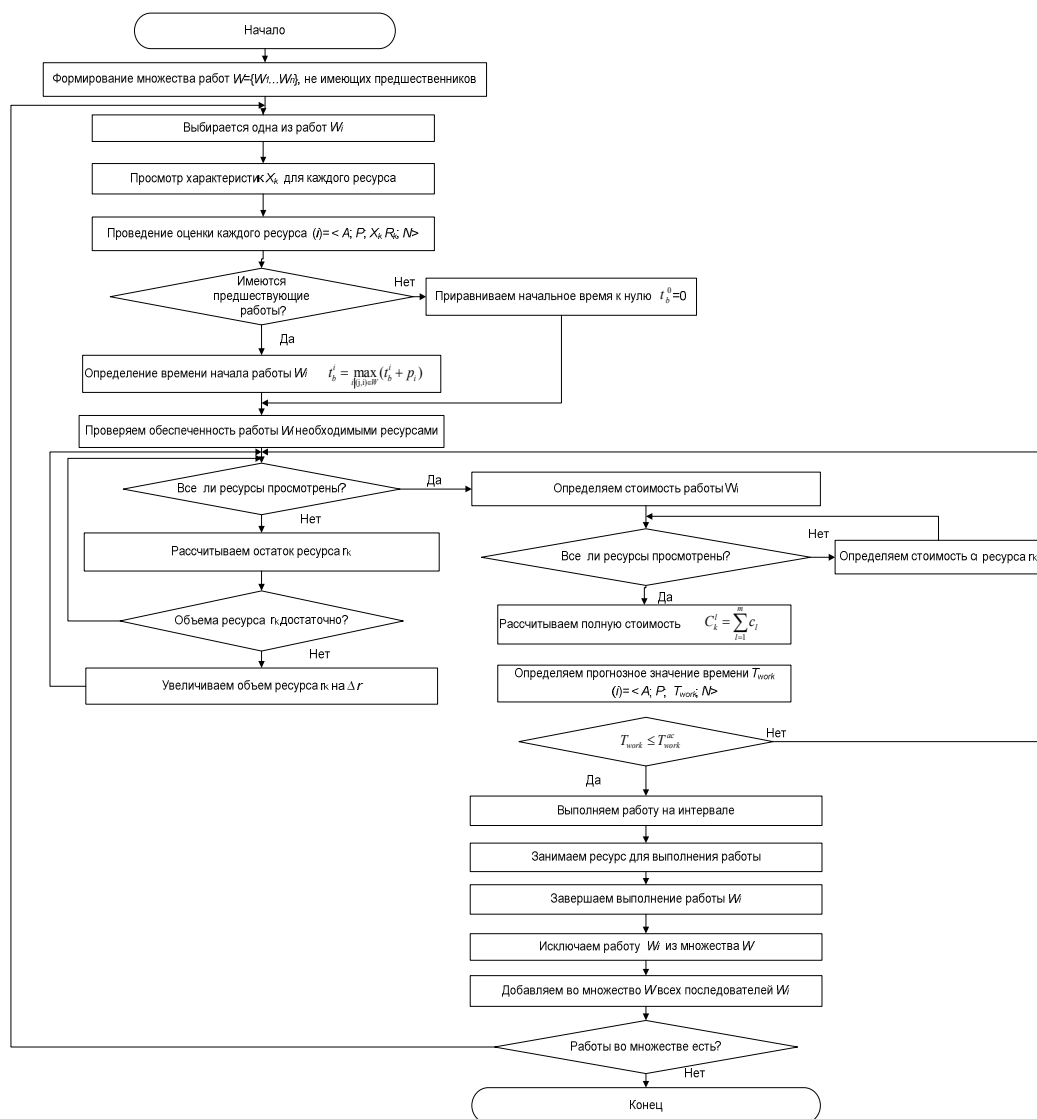


Рисунок 2 - Блок-схема алгоритма минимизации затрат, связанных с реализацией инновационного процесса с учетом временных ограничений

Принципиальные отличия начинаются с шестого пункта:

6. Обеспечение работы W_i необходимым объемом ресурсов r_{ik} .

7. Определяются затраты C_k^l на обеспечение k -ого ресурса l -го уровня X_k исходя из полученной оценки.

- суммирование всех видов затрат, связанных с обеспечением работы W_i ресурсом k l -го уровня X_k

$$C_k^l = \sum_{l=1}^m c_l$$

где C_k^l - затраты на обеспечение k -ого ресурса l -го уровня X_k , c_l - отдельная статья затрат, связанная с обеспечением работы S_i ресурсом k l -го уровня X_k

8. На основании продукционных правил прогнозируется время выполнения

работы T_{work}

$$(i) = \langle A; P; C_{sum}^l \xrightarrow{p} T_{work}; N \rangle$$

где $C_{sum}^l \xrightarrow{p} T_{work}$ - ядро продукции, отвечающее за прогнозирование времени выполнения работы в зависимости от имеющегося количества ресурсов с определенной степенью вероятности.

9. Сравнивается прогнозируемое время работы с допустимым временем ее выполнения T_{work}^{ac}

$$T_{work} \leq T_{work}^{ac}$$

В случае если условие выполняется, то осуществляется переход к пункту 10 алгоритма. В противном случае происходит возвращение к пункту 6, где происходит увеличение количества ресурса на Δ^r .

10. Начинается выполнение работы W_i на интервале времени $[t_b^i, t_b^i + p_i)$

11. Занимаются ресурсы для выполнения работы W_i $R_k(\tau) = R_k(\tau) - r_{ik}$, $\tau \in [t_b^i, t_b^i + p_i)$ (r_{ik} - количество k ресурса для i - работы)

12. Завершение выполнения работы W_i и исключаем ее из множества W , высвобождаем ресурс $R_k(\tau) = R_k(\tau) + r_{ik}$

13. Добавление во множество W всех последователей работы W_i , для которых все предшествующие работы выполнены.

14. Проверка наличия работ во множестве W , то есть выполнение условия $W \neq \emptyset$. При условии наличия таких работ осуществляется переход к пункту 2, в противном случае алгоритм заканчивается.

Данные алгоритмы разработаны на основании алгоритма LS (List Scheduling), основное отличие заключается в использовании нечетких продукционных правил при принятии решений по управлению проектами приборостроительного предприятия при распределении имеющихся ресурсов у организации в зависимости от результатов каждого этапа. Это в свою очередь позволяет оптимизировать длительность выполнения инновационного проекта и объема затрат, связанных с обеспечением его всеми необходимыми ресурсами.

Литература

1. Мешалкин В.П., Дли М.И., Какатунова Т.В. Анализ эффективности инновационной деятельности региональных промышленных комплексов северо-западного федерального округа России // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2013. Т. 4. № 35. С. 66.
2. Дли М.И., Гавриленко Н.И., Какатунова Т.В. Открытые инновации как основа ускорения регионального инновационного процесса // Вестник Международного института экономики и права. 2011. № 2. С. 50.
3. Дли М.И., Стоянова О.В., Белозерский А.Ю. Модели представления данных сложных производственных проектов в автоматизированных информационных системах промышленных предприятий // Программные продукты и системы. 2015. № 4. С. 224.
4. Дли М.И., Стоянова О.В. Способы представления экспертных данных в системах поддержки принятия решений по управлению сложными проектами // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 7. С. 21-28.
5. Стоянова О.В., Дли М.И. Информационно-аналитическая система управления производственными проектами машиностроения в условиях неопределенности // Программные продукты и системы. 2015. № 3. С. 49-56.

Э.И. Ясюкович, канд. техн. наук, доцент; Ю.В. Пасынкова, студентка.
(ГУ ВПО Белорусско-Российский университет, Беларусь, г. Могилев)

ОБРАБОТКА ТЕКСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГУЛЯРНЫХ ВЫРАЖЕНИЙ

В статье рассматриваются основные технологии работы с регулярными выражениями. Приведено описание разработанного авторами на языке C# программного обеспечения, позволяющего выполнять различные манипуляции с текстом в формате .txt и .doc.

Ключевые слова: регулярное выражение, шаблон, метасимвол, модификатор, класс, метод, алгоритм, интерфейс.

Регулярные выражения (regular expression) – это мощный инструмент для обработки больших текстов [1, 2]. Они позволяют описать шаблон (pattern), на основании которого производятся такие операции с текстом, как поиск, замена или удаление определенных текстовых фрагментов, проверка соответствия строки определенным требованиям и так далее.

Популяции регулярных выражений для обработки текстов способствовал набор утилит, поставляемых в дистрибутивах ОС Unix, в среде которой они появились. Современные языки программирования, такие, как Perl, ActionScript, JavaScript, языки платформы .Net Framework, Python, C#, Delphi и другие, содержат поддержку регулярных выражений, которая позволяет выполнять различные операции и манипуляции с текстом с использованием языка регулярных выражений, в основе которого лежат шаблоны, формируемые на основе метасимволов и модификаторов, определяющих режимы поиска соответствий; квантификаторы, задающие количество повторений; перечисления, используемые для указания альтернативных вариантов поиска;

В языке C# для работы с регулярными выражениями используется класс Regex пространства имени System.Text.RegularExpressions, который содержит такие методы, как:

- IsMatch, проверяющий принадлежность строке текста подстроки, соответствующей шаблону регулярного выражения;
- Match, возвращающий первую подстроку, соответствующую шаблону, в виде объекта класса Match, предоставляющего информацию о подстроке: длину, индекс, значение и так далее;
- Matches, возвращающий все подстроки соответствующие шаблону в виде коллекции типа MatchCollection;
- Replace, возвращающий строку, в которой все подстроки, соответствующие шаблону, заменены новой строкой;
- Split, возвращающий массив строк, полученный в результате деления входящей строки в местах соответствия шаблону регулярного выражения.

Regex в качестве второго аргумента может принимать следующие значения RegexOptions: IgnoreCase – игнорирование регистра при поиске; RightToLeft – выполнение поиска справа налево; Multiline – многострочный режим поиска;

Singleline – однострочный режим поиска; ExplicitCapture – поиск только бук-
вальных соответствий; Compiled – компилирование регулярного выражения в
сборку для более быстрого его исполнения; IgnorePatternWhitespace – игнори-
рование в шаблоне всех незранированных пробелов; None – использование
поиска по умолчанию.

В настоящей работе рассматривается разработанное на языке C# про-
граммное приложение для работы с регулярными выражениями, позволяющее
по входному шаблону найти вхождения в файле форматов .txt или .doc и вывести
результаты в форму richTextBox с отображением всего текста с выделенными
фрагментами, соответствующими шаблону [3].

Алгоритм работы разработанного приложения содержит следующие этапы:

1. Выбор файла или ввод строки для поиска;
2. Ввод шаблона для манипуляций с подстроками текста в поле «Регулярное
выражение»;
3. Выбор действия, которое необходимо выполнить над подстрокой текста;
4. Если выбрано действие «Заменить», появляется поле «Заменить на...»,
куда требуется вписать подстроку замены;
5. Выполнение выбранного действия в результате нажатия кнопки «Про-
верить»;
6. Нажатие кнопки «Пуск» запускает на выполнение выбранный режим
работы приложения.

Для закрытия приложения предусмотрена кнопка «Выход».

Интерфейс задачи построен на основе форм UserForm, содержащей эле-
менты управления Label, TextBox, ComboBox, CommandButton, рисунок 1.

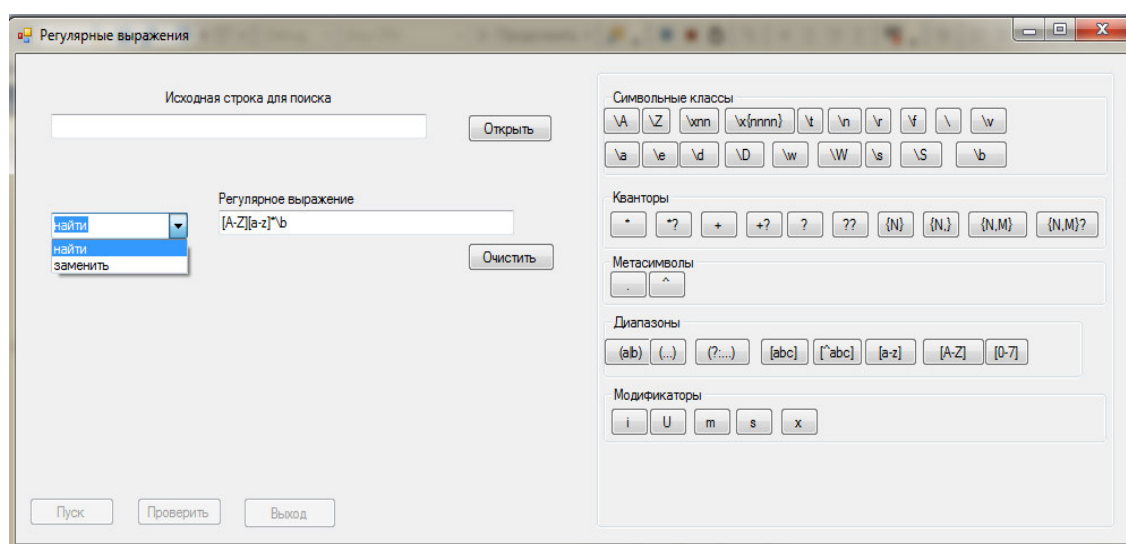


Рисунок 1 – Главное окно приложения

На основе названных элементов управления в окне интерфейса программы
построены такие элементы формы «Регулярные выражения», как «Исходная

строка для поиска», «Регулярное выражение», «Символьные классы», «Кванторы», «Метасимволы», «Диапазоны», «модификаторы», а также кнопки: «Открыть», «Очистить», «Пуск», «Проверить» и «Выход», рисунок 1.

Приложение разработано на платформе .NET Framework в Windows Forms на языке C#. Главный компонент обработки текста представлен объектом System.Text.RegularExpressions.Regex.

Для работы с текстовыми файлами подключалось пространство имен System.IO, с .doc-файлами – библиотека Microsoft.Office.Interop.Word.

Приложение предусматривает два режима работы: с файлом и с текстовым фрагментом.

Если работа выполняется с текстовым фрагментом, то в текстовое поле «Исходная строка для поиска» необходимо ввести или вставить упомянутый фрагмент. При работе с файлом в это же текстовое поле следует ввести полное имя файла и кликнуть кнопку «Открыть». Затем в текстовое поле «Регулярное выражение» требуется ввести соответствующее режиму работы регулярное выражение и для проверки его на корректность можно нажать кнопку «Проверить». Кнопкой «Пуск» запускается процесс обработки текстовых фрагментов или файла.

В случае отсутствия совпадений в проверяемом файле или фрагменте на экран выводится окно MessageBox с сообщением «Совпадений не найдено», рисунок 2.

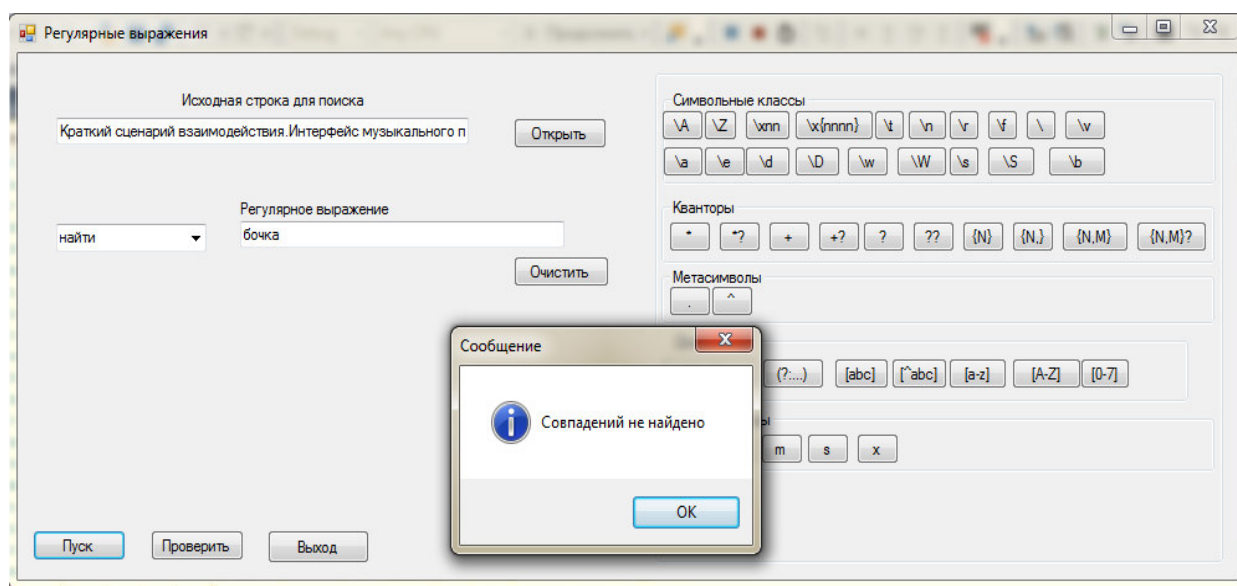


Рисунок 2 – Результат работы программы

Если требуется заменить в файле подстроку, то модифицированный файл сохраняется по новому пути, указанному пользователем в открывающемся при этом диалоговом окне «Сохранить как...».

В одном сеансе работы программа позволяет многократно выполнять операции поиска и модификации текста.

При работе с программой пользователю не требуется больших знаний о назначении каждого метасимвола в алфавите регулярного выражения, так как приложение носит и обучающий характер: при наведении курсора на кнопку с соответствующим метасимволом появляется справка с его описанием, рисунок 3. Поэтому построение шаблона для поиска становится несложным действием.

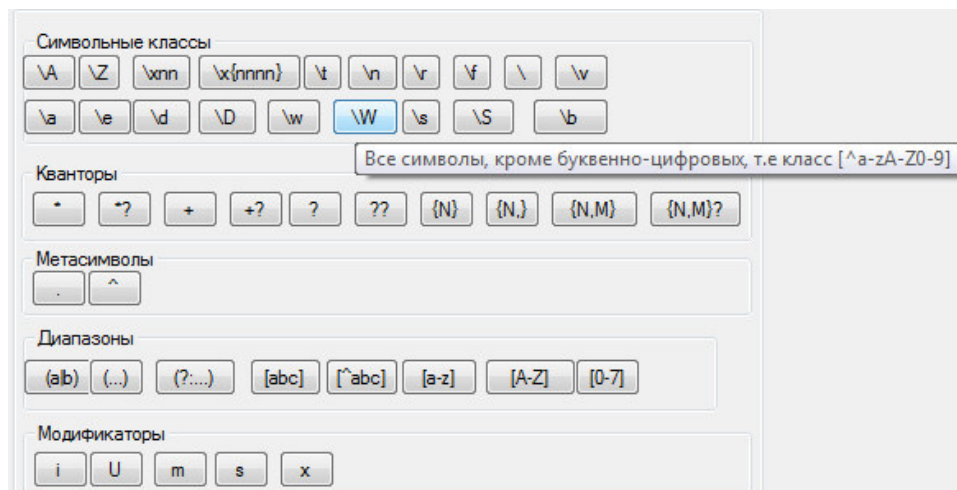


Рисунок 3 – Окно программы с алфавитом языка регулярных выражений

Таким образом, разработанное программное приложение позволяет с помощью регулярных выражений выполнять наиболее характерные операции с текстовыми строками и файлами, используется в учебном процессе при изучении темы «Регулярные выражения» дисциплины «Теория формальных языков» и позволяет значительно повысить эффективность изучения названной темы.

Список литературы

- 1 **Гойвертс, Я., Левитан, С.** Регулярные выражения. Сборник рецептов. Regular Expressions: Cookbook / Я. Гойвертс, С. Левитан – СПб.: «Символ-Плюс», 2010. – 608 с.
- 2 **Смит, Б.** Методы и алгоритмы вычислений на строках (regex) Computing Patterns in Strings / Б. Смит – М.: «Вильямс», 2006. – 496 с.
- 3 **Пасынкова Ю. В., Ясюкович Э. И.** Разработка ПО для работы с регулярными выражениями / Ю. В. Пасынкова, Э. И. Ясюкович // Материалы 53-й студенческой науч. – тех. конф., 4 – 5 мая 2017 г. – Могилев: Бел. – Рос. ун – т, 2017, – с.168,

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

1. Андреенков Е.С., Шунаев С.А., Дрокин В.А., Хорошилов А.Д. ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХАРВЕСТРА НА ОСНОВЕ LiPO_4 АККУМУЛЯТОРОВ 3
2. Вайтеленок Л.В., Ковженкин В.С. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ 7
3. Вайтеленок Л.В. АНАЛИЗ РАБОТЫ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ НЕРЕКУРСИВНЫХ ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ 11
4. Вайтеленок Л.В. АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ АЛГОРИТМА ДВУХ ВЫБОРОК 16
5. Гордиевский Д.Д., Долецкая Л.И., Солопов Р.В. ВЫБОР МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С УЧЁТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ 20
6. Гусев А.Ю., Андреенков Е.С. РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ТОКА С РАСШИРЕННЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ 23
7. Долецкая Л.И., Солопов Р.В., Кривцов С.Ю. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6-10 кВ 26
8. Залманенок А.И., Марков В.С. АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ПОДКЛЮЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭЦ 30
9. Кавченков В.П., Якушевская А.К. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ КВАЛИМЕТРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ 35

СЕКЦИЯ 2 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

1. Баловнев Д.И. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК 40
2. Бобков В.И. ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ФОСФОРИТОВЫХ ОКАТЫШЕЙ 42
3. Бобылев М.Г., Демидов А.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ АСР РАСХОДА РЕГЕНЕРИРУЕМОЙ ВОДЫ К ОСВЕТИТЕЛЮ 46
4. Богатырев А.Ф., Белалов В.Р., Кучеренко М.А., Макееenkova О.А. КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЯЗКОСТИ, ДИФФУЗИИ И ТЕРМОДИФФУЗИОННАЯ ПОСТОЯННАЯ В СМЕСИ РАЗРЕЖЕННЫХ ГАЗОВ H_2 - N_2 48

5.	Бурдаков Д.С., Щепетев К.В., Фокин А.М. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ САР ТЕМПЕРАТУРЫ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ	52
6.	Галковский В.А., Быкова А.Ю. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ	54
7.	Галковский В.А., Зеленский В.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ МАЛОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА	57
8.	Галковский В.А., Кукушкина П.И. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКУПЕРАТИВНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ В СХЕМАХ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТА	62
9.	Галковский В.А., Тютюнкoв Д.А. МАТЕРИАЛЬНЫЕ ПОТЕРИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ	67
10.	Галковский В.А., Фирсов С.Р. МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	72
11.	Галковский В.А., Хабибуллаева М.Ш. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	76
12.	Ермачков А.М., Новиков В.Н. СХЕМА ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	80
13.	Кабанова И.А., Удилов К.А. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГТУ В НЕРАСЧЕТНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ	82
14.	Кабанова И.А., Безфамильная Е.В. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИИ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ВОЗДУХА	86
15.	Кабанова И.А., Кухаренко М.И. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ С ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКОЙ	91
16.	Казаков О.Г., Малаханов А.А., Радьков А.В. ПРОБЛЕМА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН	94
17.	Ковалева В.А., Михайлов В.А. ОЦЕНКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ	97
18.	Крутиков К.К., Рожков В.В., Бутримов С.Г., Иванов В.Н. ДИАГНОСТИКА РАБОТЫ РЕЗЕРВНОГО ТРАНСФОРМАТОРА СОБСТВЕННЫХ НУЖД ПРИ ЗАМЫКАНИИ ФАЗЫ НА ЗЕМЛЮ	100
19.	Курилин С.П., Денисов В.Н., Филатенков А.А., Катюшин А.С. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ПУСКОВОГО ТОКА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ	105
20.	Курилин С.П., Катюшин А.С., Филатенков А.А., РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	108

21.	Кучеренко М. А., Макеевкова О.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЁТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ ПРИВЕДЕННЫХ ИНТЕГРАЛОВ СТОЛКНОВЕНИЯ ДЛЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЯЗКОСТИ И ВЗАИМНОЙ ДИФФУЗИИ ДЛЯ СИСТЕМ H_2 - CH_4 И H_2 - CO_2	112
22.	Ларькина Т.С., Льготчиков В.В. ОБЗОР МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИСТЕМЫ С ИНДУКЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ НАГРЕВА С РАЗРАБОТКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ	116
23.	Любова Т.С., Завальнюк А.И. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ВАРИАЦИИ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ПОТРЕБИТЕЛЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДОЖИГАНИЯ ТОПЛИВА	119
24.	Макеевкова О.А, Богатырев А.Ф. К РАСЧЕТУ ВЯЗКОСТИ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ РАЗРЕЖЕННЫХ ГАЗОВ	122
25.	Малиновский А.Е., Саватеева И.С. Повышение ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛИНЕЙНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	126
26.	Михайлов М.А., Пеннер А.И. АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ	130
27.	Михайлов В.А., Ходырева М.А. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПРИ МАССОВОМ ПЕРЕВОДЕ КОТЕЛЬНЫХ В РЕЖИМ КОГЕНЕРАЦИИ	134
28.	Молдованова Д.В. МЕТОДЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛА, ОТХОДЯЩЕГО С УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМА	136
29.	Найденов В.А. НОВАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАКОНОВ БОЙЛЯ – МАРИОТТА И ДАЛЬТОНА	139
30.	Новиков Г.Ю., Быкова А.Ю. ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ПОСЛЕДСТВИЙ РЕФОРМИРОВАНИЯ РАО «ЕЭС РОССИИ»	143
31.	Новиков Г.Ю., Савельева Н.Р. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА CO_2 И CO В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ, С ИМПУЛЬСНОЙ ИОНИЗАЦИЕЙ ИССЛЕДУЕМОЙ СМЕСИ В БАРЬЕРНОМ РАЗРЯДЕ	145
32.	Панченко С.В., Широких Т.В., Панченко Д.С. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОРИСТЫХ ЭКРАНАХ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ	147
33.	Панченко С.В., Широких Т.В., Панченко Д.С. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РЕАКЦИОННОЙ ЗОНЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО РУДОВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО РЕАКТОРА	149
34.	Панченко С.В., Широких Т.В., Панченко Д.С. ТЕПЛОФИЗИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГАЗОВЫХ ПУЗЫРЬКОВ С ЖИДКОСТЬЮ В ПРОЦЕССАХ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА	153

35.	<i>Полющенко И.С. РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА</i>	155
36.	<i>Полющенко И.С. СЕТЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ</i>	160
37.	<i>Полющенко И.С. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ УПРУГОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ</i>	165
38.	<i>Полющенко И.С., Мелентьев С.И. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ ВЕЩЕСТВЕННОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ</i>	170
39.	<i>Селиванов В.А. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С СИЛОВЫМ КОРРЕКТИРУЮЩИМ КОНТУРОМ</i>	174
40.	<i>Третьяков А.С., Капитонов О.А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ УЛУЧШЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ</i>	178
41.	<i>Фокин А.М., Киселева А.И. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПАРОПРОВОДОВ В НЕПРОЕКТНЫХ РЕЖИМАХ</i>	182
42.	<i>Фокин А.М., Киселева А.И. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ</i>	185
43.	<i>Хайруллин А.М., Зарипова Р.С. РАЗРАБОТКА ПРИБОРОВ УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА</i>	189
44.	<i>Цветкова А.В., Галковский В.А. БЕЗДЕАЭРАТОРНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ СХЕМЫ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ</i>	192
45.	<i>Чупова М.В., Галковский В.А. ВЛИЯНИЕ НАКИПНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ</i>	195

СЕКЦИЯ 3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

1.	<i>Азаров А.Е., Лучанинов Д.В. РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ИГРЫ ПЛАТФОРМЕРА НА UNITY3D</i>	198
2.	<i>Амьга В.В., Гадасина Л.В. ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ BUSINESS INTELLIGENCE В ОПЕРАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОМПАНИИ</i>	201
3.	<i>Андреев М.А. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</i>	205
4.	<i>Антипова Т.С., Зарипова Р.С. КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВЫХ ПРОТОТИПОВ ПРИБОРОВ</i>	208

5.	<i>Балябина А.А., Ажигина Е.А. АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕИНЖИНИРИНГА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ БИБЛИОТЕКИ</i>	212
6.	<i>Бекназарова С.С., Нуралиев Ф.М., Абдурахманов К.П., Убайдуллаев Х.И. КОМПЛЕКС МЕДИАОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ</i>	216
7.	<i>Богатенков С.А., Яковлев Г.К. СХЕМА ИНТЕГРАЦИИ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ</i>	224
8.	<i>Борисов В.В., Коришунова К.П. ПОСТАНОВКА ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ПОИСКА И ГЕНЕРИРОВАНИЯ ТЕКСТОВЫХ ОПИСАНИЙ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ</i>	228
9.	<i>Борисов А.В. ВЛИЯНИЕ ТРЕНИЯ НА ДВИЖЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТА</i>	230
10.	<i>Борисов А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ МАСС НА ЗВЕНЕ НА ДИНАМИКУ ЭКЗОСКЕЛЕТА</i>	235
11.	<i>Бурдо Г.Б., Палюх Б.В., Семенов Н.А. ГИБРИДНЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ</i>	240
12.	<i>Бурдо Г.Б., Палюх Б.В., Семенов Н.А., Болотов А.Н. МОДЕЛИ И КРИТЕРИИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В МАШИНОСТРОЕНИИ</i>	245
13.	<i>Васильев А.С., Резниченко А.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В УСИЛЕННЫХ ПУСТОТНЫХ ПЛИТАХ СРЕДСТВАМИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS</i>	250
14.	<i>Дли М.И., Ажигина Е.А. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОИСКА В ВУЗОВСКИХ БИБЛИОТЕЧНЫХ СИСТЕМАХ</i>	254
15.	<i>Драбов В.А. Ходенков О.А. СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЗАГРУЗКИ РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕЙ БАЗЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ</i>	259
16.	<i>Емельянов А.А., Булыгина О.В. КОМПЛЕКСНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ</i>	264
17.	<i>Захарченков К.В., Мрочек Т.В. ПЛАНИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ СКЛАДА В ООО «СМИТ-ЯРЦЕВО»</i>	269
18.	<i>Иванов В.К. ПРОЕКТ ОРГАНИЗАЦИИ ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОТБОРА ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ</i>	272
19.	<i>Иванов В.К. ОСОБЕННОСТИ КОДИРОВАНИЯ ЗАПРОСОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В ЭВОЛЮЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА</i>	277
20.	<i>Карпова Е.Г. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ОРГАНИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ</i>	282

21.	Ковалева И.В. Баженов Р.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ DDOS-АТАКИ В СРЕДЕ NETLOGO	287
22.	Козлов П.Ю., Дли М.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА ДЛЯ РУБРИЦИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ	290
23.	Козлов С.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СФЕРЕ	298
24.	Козлов П.Ю., Дли М.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОГО ДЕРЕВА РЕШЕНИЙ ДЛЯ РУБРИЦИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ	301
25.	Котенева Н.В. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	307
26.	Лебедева М.Ю., Ажигина Е.А. МАРКЕТИНГОВЫЕ ОНЛАЙН-ИССЛЕДОВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ, ФОРМИРУЮЩИЙ МАРКЕТИНГОВУЮ СТРАТЕГИЮ	311
27.	Назарова Е.А., Окунев Б.В. ОЦЕНКА ЛОЯЛЬНОСТИ КЛИЕНТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕНРАЦИИ МЕТОДОВ BIG DATA И CRM-СИТЕМ	315
28.	Окунев Б.В., Рындина А.С. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ SAP LEONARDO В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ	318
29.	Окунев Б.В., Гончарова Т.С.ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АДАПТАЦИИ ПЕРСОНАЛА К ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЕ СЕТЕВЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ	323
30.	Орехов В.А. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СТРУКТУР ПРЕДПРИЯТИЙ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ	326
31.	Офицеров А.В. СТРУКТУРНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЛИНГА ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	329
32.	Поляков М.В., Сеньков А.В. ОБЗОР ТЕМПОРАЛЬНЫХ ЛОГИК ВЕТВЛЕНИЯ И АНАЛИЗ ИХ ВЗАИМОВЫРАЖАЕМОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ТЕМПОРАЛЬНЫМИ СОСТОЯНИЯМИ	333
33.	Попова Д.Ю. НЕЙРО-НЕЧЕТКИЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ СПОСОБ И МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ	338
34.	Пучков А.Ю. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ НЕЧЕТКО-ЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ВЫБОРА АЛЬТЕРНАТИВ К ВАРИАЦИЯМ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ	342
35.	Романчук В.А. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ	345

36.	<i>Рудометкин А.Н., Булыгина О.В. ПРОЦЕДУРА ВЫЯВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЗОН ИННОВАЦИОННОГО РОСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА БАКТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ</i>	349
37.	<i>Салихова Э.И. ОТБОР ЗНАЧИМЫХ ПРИЗНАКОВ КАК ОДИН ИЗ НЕОБХОДИМЫХ ПУНКТОВ АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ</i>	354
38.	<i>Салов Н.А. КОЛЛАБОРАТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ЗАДАЧ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ИСПОЛНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ</i>	358
39.	<i>Спиридонов Г.В., Мокшин В.В. СИСТЕМА АВТОМАТИЗИЦИИ УЧЁТА РЕСУРСОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖКХ</i>	361
40.	<i>Фомичев С.С., Окунев Б.В.ПОВЫШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕБ-САЙТОВ</i>	366
41.	<i>Фомченков В.П., Новикова О.В. ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА АУДИТА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ</i>	369
42.	<i>Черновалова М.В., Офицеров А.В., Ахметова В.Н.РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ</i>	373
43.	<i>Ясюкович Э.И., Пасынкова Ю.В. ОБРАБОТКА ТЕКСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГУЛЯРНЫХ ВЫРАЖЕНИЙ</i>	378

Научное издание

ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ - 2017
(электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика,
математическое моделирование и информационные технологии в производстве)
Сб трудов VII-ой Межд. науч.-техн. конф.
Сборник трудов в 3-х томах
Том 1

Подписано в печать 07.11.2017 г.
Формат 60x84¹/₁₆ . Тираж 200 экз. Печ. л. 24,5. Усл. печ. л. 22,79

Издательство «Универсум»
Отпечатано в издательском секторе филиала МЭИ в г. Смоленске
214013 г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

ISBN 978-5-91412-360-1

