

ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2023

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

**XIII МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

6-7 декабря 2023 г.

СБОРНИК ТРУДОВ

ТОМ 1

СЕКЦИИ 1,2,3,4

**СМОЛЕНСК
2023**

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

И74

ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2023

(электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве). Сб. трудов XIII Межд. науч.-техн. конф. В 3 т. Т 1. – 2023. – 248 с.

ISBN 978-5-91412-520-9

В сборнике публикуются труды участников XIII Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2023», состоявшейся 6-7 декабря 2023 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 978-5-91412-520-9

© Авторы

© Универсум. 2023

© филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. 2023

СЕКЦИЯ 1 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ДО 1 кВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMINTECH

С 2020 года в связи с эпидемиологической ситуацией существенно возросла доля дистанционных образовательных технологий в образовательном процессе. В то же время переход на дистанционный формат существенно осложняется тем, что студенты лишены возможности пользоваться материально-технической и лабораторной базой ВУЗа, что особенно остро ощущается в рамках высшей инженерной школы. Многие образовательные компетенции студентов-инженеров основаны на системно-деятельностном подходе, который подразумевает экспериментальное изучение явлений, характеристик и зависимостей. Отсутствие лабораторного практикума неизбежно влечет за собой отсутствие некоторых необходимых навыков и умений у будущих инженеров [1].

Однако в современных условиях необходимо рассматривать варианты, которые хотя бы частично заменят экспериментально-исследовательскую деятельность. Одним из наиболее доступных вариантов является моделирование и последующий анализ физических процессов с использованием специализированного программного обеспечения. Для электроэнергетики это представляет особый интерес, так как открываются возможности для проведения анализа сложных процессов, разложения этих процессов на составляющие и осуществления целенаправленного их изменения в желаемом направлении. Такие возможности предоставляет отечественный программный комплекс *SimInTech*. В рамках данного исследования рассматриваются расчет и моделирование переходных процессов при повреждении линии электропередач системы электроснабжения до 1 кВ в указанном программном комплексе.

Повреждения в линиях электропередачи обычно сопровождаются замыканием фаз друг на друга или на землю, что сопровождается большими переходными токами, а также повреждением основного электрооборудования. Величина и характер тока короткого замыкания (КЗ) зависят от нескольких факторов, в частности: типа повреждения; места возникновения; значений переходного сопротивления; начальной фазы; а также состояния энергосистемы непосредственно перед отказом. Моделирование в *SimInTech* может быть использовано в процессе изучения влияния перечисленных факторов на величину токов короткого замыкания и выбора защитных аппаратов.



Рисунок 1 – Исходная модель электрической системы

В качестве примера рассмотрена простейшая схема, представленная на рисунке 1. Модель полностью соответствует схеме передачи электроэнергии и предусматривает нарушение режима в виде трехфазного короткого замыкания в конце линии электропередач (ЛЭП).

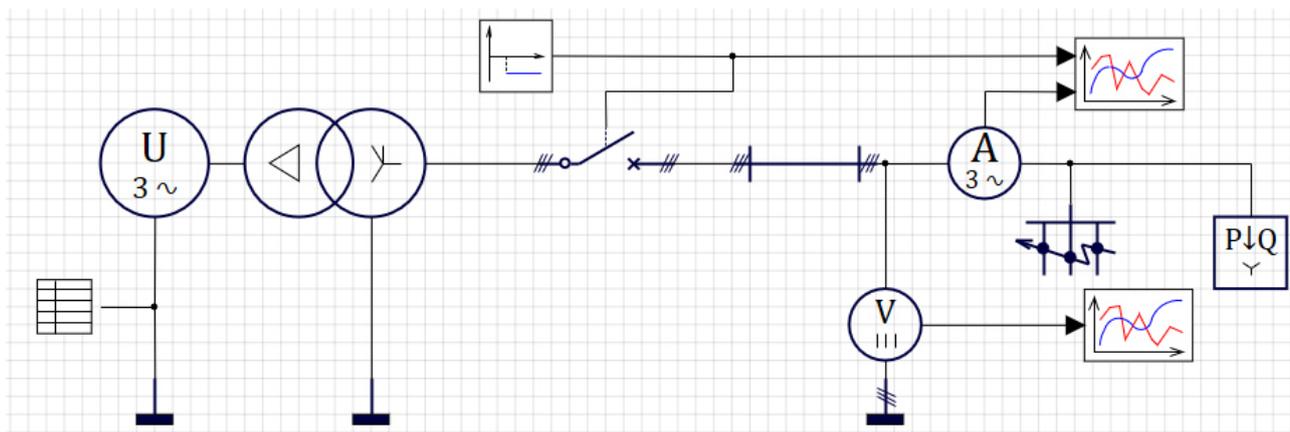


Рисунок 2 – Модель электрической системы в *SimInTech*

Модель генератора электрической энергии представлена трехфазным источником напряжения с заданными параметрами напряжения, частоты и начального фазового сдвига напряжения фазы А. Так же можно установить его индуктивное и активное сопротивления.

Модель 3-фазного двухобмоточного трансформатора основана на Т-образной схеме замещения, дублируемой для каждой фазы трансформатора. Можно задать следующие схемы и группы соединений: Y(n)/Y(n)-0 (звезда/звезда - 0); Y(n)/D-11 (звезда/треугольник - 0); D/Y(n)-11 (треугольник /звезда - 0). В схемах «звезда» наличие вывода средней точки обмотки устанавливается свойствами во вкладке «Вывод нейтрали ВН»

Блок трехфазной линии электропередачи основан на схеме замещения с сосредоточенными параметрами RLC -элементов в $\alpha\beta 0$ -координатах для π - и т-секций.

Модель нагрузки представляет собой три одинаковых RLC – элемента, соединяемых в зависимости от свойств в треугольник D или звезду Y(n) с нейтралью или без.

Трехфазное короткое замыкание осуществляется с помощью блока короткого замыкания, который подключается в месте ожидаемого короткого замыкания. В окне параметров блока короткого замыкания можно установить начальное состояние (короткое замыкание включено, короткое замыкание

выключено), время включения, длительность короткого замыкания, значения переходных сопротивлений.

Лабораторное исследование подразумевает сопоставление результатов моделирования с предварительно рассчитанными значениями токов КЗ на основе заданных параметров схемы электрической сети. Параметры схемы замещения сети определяются следующим образом.

Сопротивление системы:

$$X_c = 0,1 \cdot x_T$$

где x_T – сопротивление трансформатора, Ом.

Сопротивление ЛЭП:

$$R_L = r_{уд} \cdot L \cdot \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}} \right)^2$$

$$X_L = x_{уд} \cdot L \cdot \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}} \right)^2$$

где $r_{уд}$, $x_{уд}$ – удельные активное и реактивное сопротивления ЛЭП, Ом/м; L – длина линии, м.

Суммарное сопротивление до точки КЗ:

$r_\Sigma = R_L + r_T + R_n$, где R_n – переходное сопротивление контактов, дуги и обмоток трансформаторов тока, катушек реле, принимаемое в сетях до 1 кВ 15 мОм [2]; R_L – активное сопротивление линии, Ом; r_T – активное сопротивление трансформатора, Ом.

$x_\Sigma = X_L + x_T + X_c$, где X_c – сопротивление системы, Ом; X_L – реактивное сопротивление линии, Ом; x_T – реактивное сопротивление трансформатора, Ом.

Ток трехфазного КЗ рассчитывается по следующей формуле:

$$I_k^{(3)} = \frac{U_{НН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_\Sigma^2 + x_\Sigma^2}}$$

Ударный ток в точке КЗ:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_k^{(3)}$$

где $k_{уд} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}$ ударный коэффициент; $T_a = \frac{x_\Sigma}{\omega \cdot r_\Sigma}$ – постоянная времени

затухания апериодической составляющей.

Рассчитанные параметры схемы замещения заносятся в соответствующие окна параметров модели. После чего запускается процесс моделирования. Примеры графиков изменения напряжений и токов фаз в точке трехфазного короткого замыкания приведены на рисунке 3.

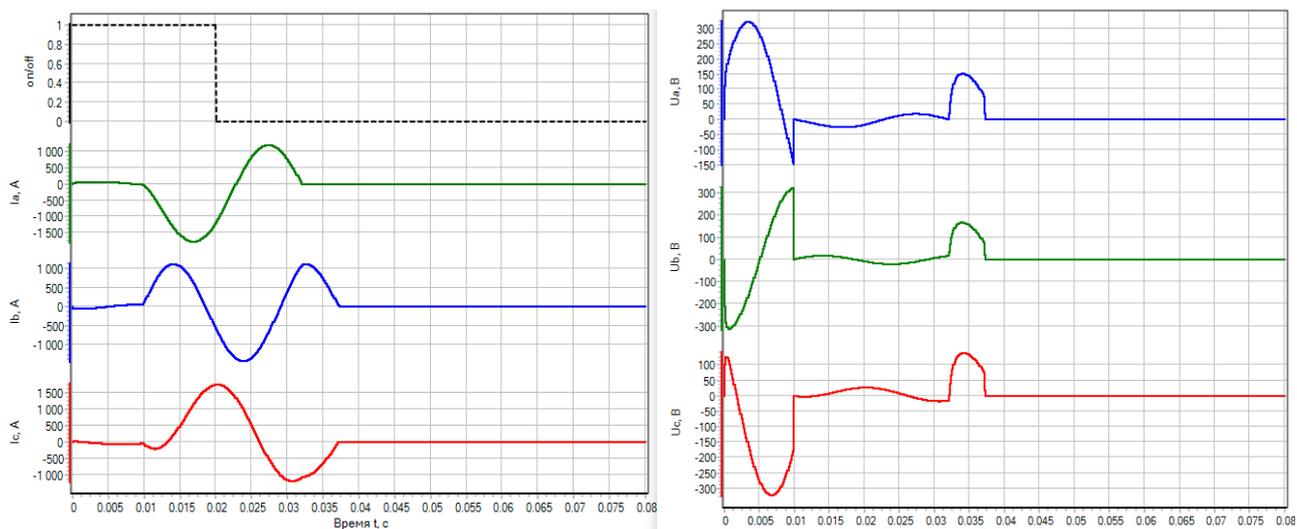


Рисунок 3 – Графики токов и напряжений при нормальном режиме и КЗ

При анализе графиков токов наблюдаем изменение тока сразу после момента короткого замыкания (0,01 сек) и мгновенную просадку напряжения. Выключатель срабатывает не мгновенно, а через 0,01 сек. Когда он отключается значения токов проходя через нуль принимают нулевое значение.

Представленный пример показывает возможность частичной замены лабораторных исследований специализированным программным обеспечением. Однако следует помнить, что, несмотря на большой прорыв в этой области, моделирование всегда было и остается работой по решению интегральных и дифференциальных уравнений и не может заменить объективную реальность. При этом у данного подхода имеется ряд неоспоримых преимуществ: фатальные ошибки, допущенные при программном моделировании, будут чреваты лишь ошибками в расчетах и не приведут к поломке лабораторного оборудования; программные модели способны иллюстрировать явления и характеристики, которые трудно достичь на физических моделях; с появлением персональных компьютеров можно говорить о практически всеобщей доступности для учебы.

Литература

1. Савостьянов А.Н., Степанова В.В., Толстых Н.Н. Воля и производ: опыт междисциплинарного исследования // Культурно-историческая психология. – 2019. – Том. 15. – №3. – С. 91–104.
2. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. – СПб.: ПЭИПК, 2008 г. - 230 с.

*Е.С. Андреев, доц.; Н.С. Питерский, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С УПРАВЛЕНИЕМ ПРИ ОТКАЗАХ

На сегодняшний день как крупные технологические компании, так и государство все активнее инвестируют в концепцию интернета вещей (*IoT*), позволяющую снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт производственных активов, повысить энергоэффективность производств. Так по прогнозу аналитического агентства *PricewaterhouseCoopers (PwC)* внедрение

интернета вещей в такие сферы промышленности как электроника, здравоохранение, сельское хозяйство, металлургия, а также повсеместное применение «умного города» и «умного дома» в России принесет в казну к 2025 году около 2,8 трлн руб. При этом отметим, что согласно другому исследованию [1] число *IoT*-решений в виде всевозможных умных устройств и датчиков будет только расти, как и их суммарное энергопотребление [2]. В связи с этим возникает проблема в обеспечении столь огромного числа устройств питанием с учетом минимальных затрат, при все возрастающих требованиях к надежности и бесперебойности, а также безопасности для пользователя. Поэтому актуальной является задача разработки и внедрения новых подходов, касающихся способа передачи электрической энергии в низковольтных электрических сетях.

Обратимся к опыту некоторых зарубежных стран, в которых начинает продвигаться идея «цифровой» передачи электроэнергии. С конца 19 века в США существует так называемый Национальный электротехнический кодекс (NEC) [3], являющийся аналогом российского ПУЭ. В данном документе в одной из статей прописано различие между цепями питания мощных силовых электроприемников и освещения, и цепями, в которых требуемая мощность и/или напряжение ограничены в связи с со спецификой самого приемника, но при этом повышены требования к электробезопасности и пожаробезопасности (жилые дома, больницы, аэропорты, детские сады). Поскольку эти цепи характеризуются более строгими ограничениями по напряжению и мощности, требования несколько смягчены в отношении минимальных сечений, процедур коррекции и регулировки токовой нагрузки, защиты от перегрузки по току, требований к изоляции, а также методов прокладки питающих кабелей.

До 2023 года в *NEC* для цепей с ограниченной мощностью были прописаны три класса питания, применение каждого из которых четко регламентировалось.

Питание класса 1 представляет собой цепь высокого напряжения (до 600 В). Для работы с этими сетями требуется подготовленный персонал, поскольку существует риск возгораний и электротравм. Обычно используется для питания и управления силовым электрооборудованием.

Питание класса 2 должно имеет ограничение по уровню напряжения (около 24 В) и мощности (100 Вт). Низкое напряжение делает этот класс проводки безопасным. Может быть использовано для питания портативных устройств и вторичных цепей.

Питание класса 3 является относительно нишевым и используется крайне редко. Напряжение ограничено до 300 В. Для снижения рисков поражения электрическим током и пожарной опасности предусматриваются дополнительные меры безопасности. Может быть использовано в системах громкой связи или центральных системах пожарной безопасности.

Однако 2023 году была опубликована новая редакция *NEC*, где была представлена **система питания 4 класса с управлением при отказе**. Такие системы электропитания начали называть «цифровыми», поскольку контроль осуществляется программным методом. Добавление нового класса было обусловлено необходимостью преодоления тех ограничений по мощности и напряжению,

которые были присущи другим классам питания, а также необходимостью существенно поднять уровень электро- и пожаробезопасности. На Рисунке 1 представлены предпосылки к появлению четвертого класса.



Рисунок 1 – Достоинства (+) и недостатки (-) каждого из классов питания

В системах класса 4 используется технология управления питанием при сбоях (*FMP*). В таких системах нет ограничений по передаваемой мощности, однако при повреждениях мощность ограничивается, что снижает риск поражения электрическим током или пожара. Тогда систему питания с управлением при отказе (*FMPs*) можно определить, как систему электропитания, которая отслеживает неисправности и контролирует поток мощности, чтобы гарантировать ограничение энергии при повреждении.

Система класса 4 должна отслеживать следующие неисправности:

- Превышение уровней тока и напряжения, изменение формы сигнала;
- Все виды коротких замыканий;
- Контакт человека, с оборудованием, находящимся под напряжением;
- Возникновение неисправности системы мониторинга или управления;
- Перенапряжения в системе;

В *NEC* также прописаны основные требования к кабелям систем класса 4, которые охватывают одно- и многожильные кабели в оболочке, рассчитанные на температуру 60–250 °С и предназначенные для использования в качестве стационарной проводки внутри зданий. Кабели могут быть с медными жилами и использоваться только для питания, или иметь гибридную медно-волоконную конструкцию для передачи мощности и данных на большие расстояния, что значительно сокращает расходы. На Рисунке 2 представлен пример медного кабеля (черный) и гибридного медно-волоконного кабеля (зеленый).



Рисунок 2 – Кабели четвертого класса питания

На сегодняшний день существуют два принципа управления отказами, удовлетворяющие требованиям, прописанным в NEC: с использованием постоянного тока – технология «Цифровой ток» или *Digital Current*, и с использованием тока в форме меандра – технология «Цифровое электричество» или *Digital Electricity*.

Digital Current – это система распределения класса 4 постоянного тока напряжением до 450В на расстояния более 3000 м. Основным элементов данной системы является модульная панель *Cence HVDC* (Рисунок 3), представляющая собой совокупность интеллектуальных передатчиков *Digital Current* со встроенной интеллектуальной системой управления неисправностями. В каждый передатчик интегрирован выпрямитель, который обеспечивает преобразование переменного тока в постоянный с напряжением до 60В в зависимости от требуемого нагрузкой уровня.



Рисунок 3 – Панель *Cence HVDC*

Приемники *Digital Current* можно подключать последовательно, чтобы максимизировать выходную мощность передатчиков. Обеспечение управление отказом осуществляется микроконтроллерами, встроенными как в передатчик, так и в приемник, по средствам обмена информацией по беспроводной сети.

Digital Electricity (DE) в отличии от *Digital Current* в своей основе использует другой принцип передачи электрической энергии. Идея состоит в разделении/дискретизации электрической энергии на небольшие импульсы, или «энергетические пакеты» высокой частоты, при этом проверка безопасности осуществляется по изменению падения напряжения на выводах передатчика. На Рисунке 4 представлены этапы передачи электроэнергии с помощью *DE*.

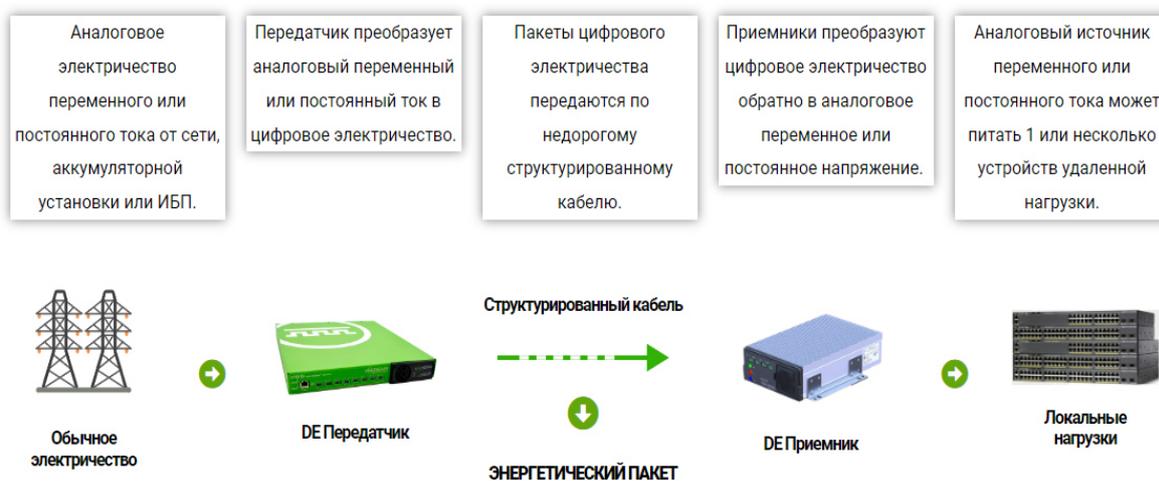


Рисунок 4 – Передача электроэнергии с помощью *Digital Electricity*

Передатчик *VoltServer*, от внешней сети с напряжением 100–277В переменного тока или 300–400В постоянного тока, сотни раз в секунду выдаёт энергетические импульсы по витой паре длительностью 1,1 мс, перемежающиеся диагностическими измерительными интервалами в 400 мкс. После отправки каждого импульса сигнальный процессор измеряет затухание в проводе с тем, чтобы определить состояние электропередачи. По изменению падения напряжения система выявляет аварийную ситуацию, которая может быть вызвана коротким замыканием, обрывом провода или ухудшением состояния контактов, и отключает нагрузку в течение 3 мс. Приёмник преобразует полученную импульсную энергию в «аналоговый» сигнал постоянного или переменного тока для питания локальных устройств. Поскольку энергия каждого отдельного пакета невелика, а отключение происходит очень быстро, такая линия является безопасной для людей и не влияет на другие системы, работающие в здании. *DE* позволяет передавать до 400 Вт на расстояние до 2 км, 2000 Вт на 300 метров и 2400 Вт на расстояние 100 метров.

По мнению авторов, концепция системы питания с управлением при отказе в будущем сможет существенно изменить устоявшиеся подходы в проектировании систем электроснабжения, однако для этого необходимо будет разработать российские аналоги, а также существенным образом пересмотреть законодательную базу. При этом стоит отметить, что рассмотренные технологии все еще не лишены недостатков. Так *Digital Current* не имеет возможности функционировать, например, от аккумуляторной батареи, что крайне важно при построении систем резервного питания, а приемники, используемые в данной технологии, не способны преобразовывать постоянный ток в переменный, ограничивая тем самым возможность подключения нагрузки.

Литература

1. Ким Евгений Олегович, Шин Артемий Андреевич Интернет вещей: перспективы применения // Вестник ЧелГУ. 2019. №3 (425). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/internet-veschey-perspektivy-primeneniya> (дата обращения: 22.09.2023).
2. Бондарик В. Н., Кучерявый А. Е. Прогнозирование развития Интернета Вещей на горизонте планирования до 2030 года // Труды МФТИ. 2013. №3 (19). URL:

*Е.С. Андреенков к.т.н., доц.; В.Е. Скорубский, асс.; С.А. Шунаев, ст. преп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРОБЛЕМА КОНТРОЛЯ ЗА СОБЛЮДЕНИЕМ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ КОЭФФИЦИЕНТА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6(10) кВ

При передаче активной электроэнергии в системе переменного тока всегда присутствует реактивная мощность в виде зарядной мощности линий электропередач (ЛЭП) и мощности намагничивания трансформаторов, даже если в сети отсутствуют нагрузки. Загрузку сети реактивной мощностью оценивают с помощью коэффициента реактивной мощности (КРМ), представляющего отношение величины реактивной мощности к величине активной мощности.

Снижение перетоков реактивной мощности позволяет уменьшить потери активной мощности в ЛЭП, нормализовать уровень напряжения в узлах сети и повысить её пропускную способность, что даёт возможность подключать новых потребителей без необходимости реконструкции сети. Это особенно актуально для распределительных сетей 6(10) кВ, где поток реактивной мощности формируется во многом за счет нагрузок промышленных предприятий. Поэтому важной задачей является стимулирование потребителей устанавливать устройства компенсации. Для этого в РФ действуют специальные нормативные акты, устанавливающие предельные значения КРМ в точках поставки электроэнергии и ответственность за несоблюдение этих требований.

Согласно Постановлению Правительства РФ от 27.12.2004 № 861 [1] в точке балансового разграничения потребитель обязан соблюдать установленные договором значения КРМ, а при необходимости, обязан установить оборудование, обеспечивающее регулирование реактивной мощности. Необходимость участия потребителя в регулировании КРМ определяется сетевой организацией в договоре на передачу электроэнергии. На стадии проектирования необходимость компенсации реактивной мощности прописывается в технических условиях на присоединение.

Согласно приказу Министерства энергетики РФ от 23 июня 2015 г. № 380 [2] в договоре на передачу электроэнергии указываются максимальные и минимальные значения КРМ, соответственно для часов наибольших и наименьших суточных нагрузок. Соблюдение указанных значений КРМ должно обеспечиваться потребителями посредством оптимизации режимов потребления электрической энергии, либо с помощью устройств компенсации реактивной мощности.

Максимальные и минимальные значения КРМ определяются отдельно для каждой точки поставки потребителя на границе балансовой принадлежности энергопринимающих устройств. Максимальные значения коэффициента реактивной мощности, потребляемой в часы больших суточных нагрузок в

точках поставки с уровнем напряжения ниже 220 кВ, приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Максимальные значения коэффициента реактивной мощности, потребляемой в часы больших суточных нагрузок электрической сети

Уровень напряжения в точке поставки электрической энергии	Максимальное значение КРМ, потребляемой в часы больших суточных нагрузок
110 кВ (154 кВ)	0,5
35 кВ (60 кВ)	0,4
1÷20 кВ	0,4
ниже 1 кВ	0,35

Минимальные значения КРМ, генерируемой в часы малых суточных нагрузок электрической сети, для потребителей не участвующих в регулировании реактивной мощности, устанавливаются равными нулю.

Порядок контроля соблюдения указанных требований, а также меры воздействия на потребителей в случае их нарушения прописаны в [1]. Согласно этим нормам для потребителей, соблюдающих требуемые уровни КРМ предусматривается понижающий коэффициент к тарифу на передачу электроэнергии, и для потребителей, не соблюдающих требуемый уровень КРМ, повышающий коэффициент. Размеры указанных повышающего и понижающего коэффициентов устанавливается в соответствии с методическими указаниями, утверждаемыми федеральным органом исполнительной власти в области государственного регулирования тарифов [3].

Чтобы на практике разобраться с применением нормативных актов, рассмотрим данные, предоставленные региональной сетевой компанией и филиалом Системного оператора в рассматриваемом регионе, по фактическим значениям КРМ присоединений 6–110 кВ. Стоит отметить, что на присоединениях потребителей напряжением 110 кВ и выше наибольшее значение КРМ не превышает 0,33, что соответствует нормируемому значению. При этом в распределительных сетях 6(10) кВ диапазон значений КРМ значительно шире, и часто выходит за границы нормируемых значений. В таблице 2 представлены данные по фактическим значениям КРМ присоединений 6(10) кВ распределительных ПС, оборудованных устройствами телеизмерений. Следует также учесть, что они сняты для фидеров, питающих, как правило несколько потребителей.

Таблица 2 – Значения КРМ на присоединениях ПС рассматриваемого региона

Подстанция	Количество присоединений с КРМ, не превышающим 0,4	Количество присоединений с КРМ, превышающим 0,4	Максимальное значение КРМ на ПС	Расположение подстанции
ПС1	1	2	0,53	За городом
ПС2	3	10	0,76	
ПС3	1	3	0,67	
ПС4	0	5	0,76	
ПС5	1	8	0,74	
ПС6	3	10	0,77	
ПС7	3	3	0,55	
ПС8	1	5	0,79	

Подстанция	Количество присоединений с КРМ, не превышающим 0,4	Количество присоединений с КРМ, превышающим 0,4	Максимальное значение КРМ на ПС	Расположение подстанции
ПС9	1	5	0,66	
ПС10	3	4	0,62	
ПС11	1	11	0,78	
ПС12	2	2	0,74	
ПС13	0	11	0,76	
ПС14	3	6	0,68	
ПС15	3	8	0,74	
ПС16	2	7	0,80	
ПС17	3	3	0,65	
ПС18	5	11	0,80	
ПС19	0	10	0,75	
ПС20	0	6	0,74	
ПС21	7	1	0,57	
ПС22	16	2	0,47	
ПС23	3	2	0,61	
ПС24	6	3	0,53	
ПС25	5	2	0,52	
ПС26	11	3	0,76	
ПС27	2	4	0,63	
ПС28	2	3	0,63	
ПС29	3	0	0,38	
ПС30	4	2	0,52	
ПС31	2	1	0,70	
ПС32	3	2	0,73	
ПС33	5	6	0,75	
ПС34	5	5	0,55	

При анализе представленные данных установлено, что на подстанциях, расположенных в городской черте, большинство присоединений напряжением 6(10) кВ имеют КРМ в допустимых согласно [2] пределах, а на подстанциях за пределами городов у большинства присоединений КРМ существенно превышает допустимый уровень. Данную ситуацию можно объяснить, как правило, существенно большей нагрузкой питающих фидеров в городах, и соответственно, необходимостью контроля соблюдения уровня КРМ в них для поддержания, нормируемого стандартом уровня напряжения на границах балансового разграничения. В то время как за городом фидеры ещё имеют существенный запас по пропускной способности и качество электроэнергии на присоединениях потребителей остаётся на приемлемом уровне даже при КРМ завышенном относительно требований Приказа [2].

В таких условиях, когда на необходимость компенсации реактивной мощности по сути «закрывают глаза», на отдельных присоединениях возникают ситуации, когда уровень напряжения выходит за пределы допустимого диапазона +/- 10% [4], а сетевые организации несут дополнительные убытки в виде возросших потерь. Так, в пределах рассматриваемого региона, от одного из потребителей – завода по производству щебня, питающегося по линии 10кВ от загородной подстанции, стали поступать жалобы на качество напряжения в точке присоединения. График изменения КРМ рассматриваемого присоединения в течение суток приведен на рисунке 1 (а), а график потребления активной

мощности на рисунке 1 (б).

В результате анализа суточного потребления на данном присоединении было установлено, что КРМ изменяется от 0,4 до 1,3, при этом большую часть времени он близок к 1,0. Максимальный КРМ, при этом достигается в часы максимума нагрузки.

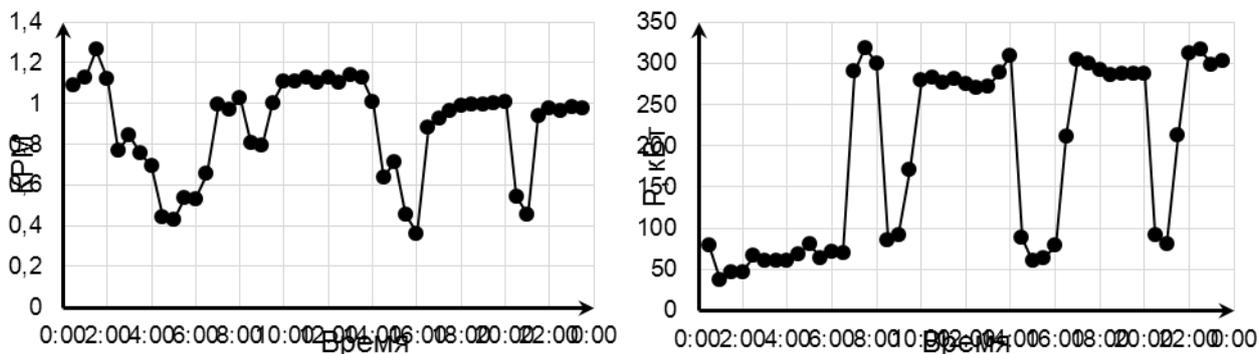


Рисунок 1 – График изменения КРМ в течение суток (а); график нагрузки рассматриваемого производства (б)

Согласно техническим условиям на рассматриваемое присоединение и проекту электроснабжения расчетный КРМ составляет 0,36, соответственно установка устройств компенсации не производилась. Поэтому при фактическом КРМ, равном 1,0 и при том же расчетном уровне активной мощности фактическая полная мощность по сравнению с расчетной увеличилась на 33%, что привело к повышению потерь напряжения в питающем кабеле. Однако после обращения потребителя сетевая организация обеспечила расчет и установку за счет потребителя компенсирующих устройств, что позволило обеспечить нормируемый уровень напряжения в точке присоединения. Описанная ситуация могла иметь другой вариант решения, когда сетевая организация, опираясь на действующее законодательство, могла бы взыскать свои убытки за счет увеличения тарифа на передачу. По сути это означает, что несмотря на экономическую целесообразность, вопросу контроля уровня КРМ не уделяется должного внимания.

Следует учитывать, что к устройствам измерений и учёта электроэнергии на потребительских подстанциях у сетевой организации не всегда есть доступ (только при наличии прямого договора с потребителем на передачу электроэнергии). Поэтому складывается практика, когда потребители, заключившие договор энергоснабжения с гарантирующим поставщиком, пренебрегают установленными в договоре значениями КРМ, не получая за это штрафных санкций. В таких условиях может возникнуть ситуация, когда потребитель не идёт на сотрудничество и отказывается устанавливать устройства компенсации или платить повышенный тариф на передачу электроэнергии. В этом случае закон на стороне сетевых организаций, что следует из анализа практик арбитражных разбирательств.

В частности, в деле [5] сетевая организация в своём исковом заявлении требовала от потребителя оплатить потребленную электрическую энергию с

учетом повышающего коэффициента, а также привести КРМ к нормируемому значению путем установки компенсирующих устройств. Потребитель, выступая в качестве ответчика отказывался это делать, однако суды первой и второй инстанции полностью удовлетворили требования сетевой организации.

Небольшое количество подобных дел так же свидетельствует, что со стороны сетевой организации как правило не совершается попыток к принуждению потребителей соблюдать требования договора в судебном порядке. Хотя с точки зрения законодательства существует такой правовой механизм.

Возможность пренебрежения потребителями значений КРМ, установленных в договоре, указывает на необходимость контроля фактического КРМ у каждого потребителя, что может быть реализовано посредством установки интеллектуальных приборов учёта. В соответствии с [6] на новых присоединениях должны использоваться только интеллектуальные приборы учета. Но на эксплуатируемых присоединениях остается ещё много приборов, не подключенных к интеллектуальным системам учёта. В таких случаях для минимизации коммерческих потерь сетевым организациям стоит применять повышающие коэффициенты к тарифу на передачу электроэнергии, а в случае возникновения споров, решать их в судебном порядке.

Литература

1. Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг: Постановление Правительства РФ от 27 декабря 2004 г. № 861: [ред. от 30 июня 2022 г.] // Собрание законодательства Российской Федерации. 2004. №52, ч.2. Ст. 5525.
2. О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии: Приказ Министерства энергетики РФ от 23 июня 2015 г. № 380 // Официальный интернет-портал правовой информации.
3. Методические указания по расчету коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электрической энергии: Приказ Федеральной службы по тарифам от 31 августа 2010 г. N 219-э/6 // Российская газета. 2010. № 231.
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: нац. стандарт Российской Федерации: дата введ. 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.
5. Постановление Арбитражного суда Центрального округа от 15 апреля 2015 г. № Ф10-690/2015 по делу № А23-2922/2014. URL: <http://www.consultant.ru>.
6. О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии: постановление Правительства РФ от 4 мая 2012 г. № 442: [в ред. от 15.07.2022] // Собрание законодательства Российской Федерации. 2012. №23. Ст. 3008.

*Л.Г. Арисов, асп.; С.Г. Арисов, асп.; О.А. Воинов, асп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

УСТРОЙСТВО КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Точность коммерческого учета электроэнергии в системе электроснабжения определяется классом точности всех элементов измерительного комплекса: трансформаторов тока (ТТ), трансформаторов напряжения (ТН) и приборов учёта. Повышение точности только приборов учёта не даст комплексного эффекта, поэтому необходимо повышение точности и измерительных трансформаторов, в том числе, трансформаторов тока.

От точности ТТ так же зависит надежная и правильная работа релейной защиты и автоматики (РЗА) [1]. Поэтому основным требованием к трансформаторам тока является точность, когда их погрешность не превышает допустимых стандартом значений. Существует ряд способов повышения точности измерительных ТТ. В последнее время широкое распространение получило применение аморфных сплавов в качестве ферромагнитного материала, это позволило получить относительную погрешность на уровне 0,2 % во всем диапазоне измерения первичного тока [2].

Большого эффекта можно достичь с помощью электронной автоматической компенсации тока намагничивания высоковольтных ТТ. При этом факторы, влияющие на точность ТТ в условиях эксплуатации, могут проявляться в разной степени и порой случайно [3]. Поэтому задача разработки устройства, реагирующего на эти изменения, и автоматически компенсирующего погрешности измерений тока, является актуальной.

В рамках решения данной задачи была разработана принципиальная схема электронного устройства компенсации погрешностей трансформаторов тока. За основу работы устройства компенсации было выбрано добавление во вторичную обмотку ТТ вспомогательного ТТ с кривой намагничивания сердечника аналогичной основному. Погрешность компенсируется за счет добавочного тока, который рассчитывается путем вычисления напряжения, индуцированного во вторичной обмотке трансформатора тока. Наведенное напряжение рассчитывается по параметру, связанному со вторичным током и известным сопротивлением контура вторичного тока. Таким параметром может быть вторичный ток или напряжение на известном сопротивлении контура. Вычисленное наведенное напряжение затем прикладывается к вспомогательному трансформатору. При правильном масштабировании приложенного напряжения ток вспомогательного ТТ пропорционален току основного. На основе измерения тока вспомогательного ТТ рассчитывается соответствующая добавка для корректировки токовой и угловой погрешностей основного ТТ.

Принципиальная схема устройства представлена на рисунке 1. Трансформатор тока ТТ1 состоящий из магнитного сердечника 1 и вторичной обмотки 2 охватывает проводник 4 с изоляционным покрытием 3, который выступает в качестве первичной обмотки, по которой протекает ток I_1 . Если бы трансформатор тока ТТ1 был идеальным, то вторичный ток I_2 имел бы точно такую же форму сигнала, что и первичный ток I_1 и был бы пропорционален ему ровно на коэффициент трансформации ТТ1. Однако, поскольку свойства ТТ1 не идеальны, во вторичном токе I_2 возникает погрешность. Расчётный блок 5 корректирует большую часть ошибки во вторичном токе I_2 .

На рисунке 1 резистор R_1 с малым сопротивлением соединен с вторичной обмоткой 2 так, что через резистор протекает ток I_2 . Сопротивление проводников, соединяющих вторичную обмотку с R_1 обозначено как Z_3 с падением напряжения на них U_3 . Напряжение на сопротивлении R_1 обозначено как U_4 . Оно пропорционально току I_2 . Напряжение U_4 и ток I_2 представляют

собой нескорректированный сигнал. Цепь для вычислений имеет высокое сопротивление и почти весь ток будет протекать через сопротивление R_1 .

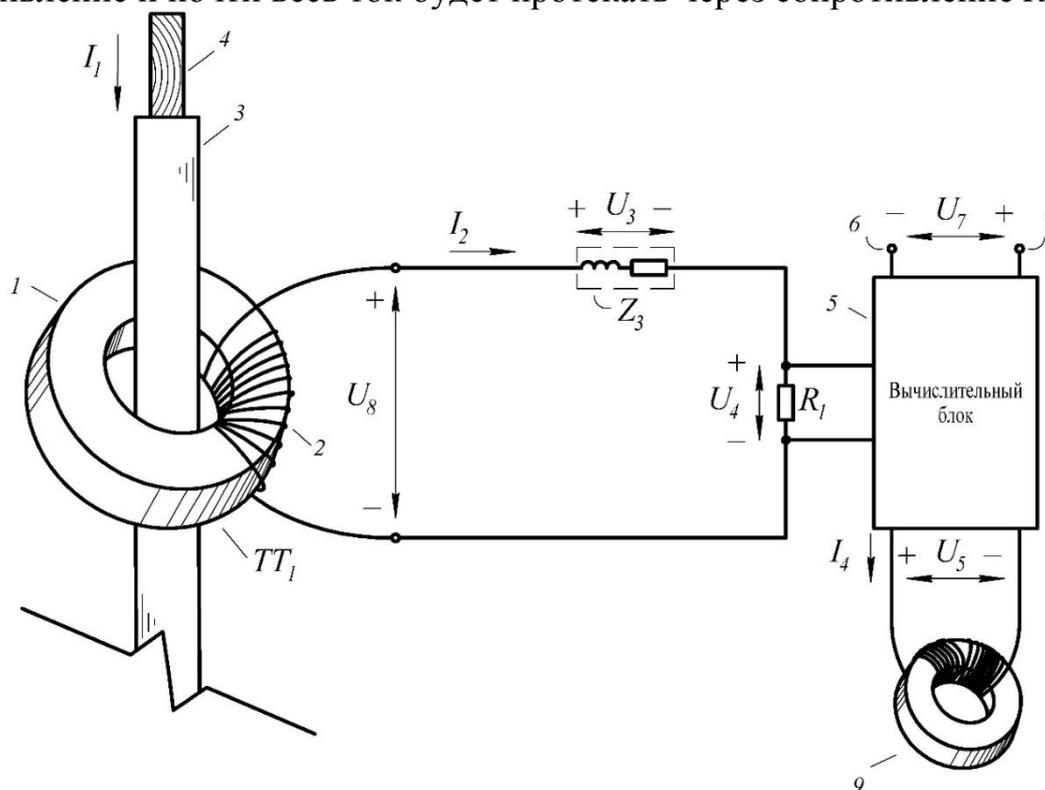


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства компенсации погрешностей ТТ

Вычислительный блок 5 измеряет ток I_2 (через напряжение U_4) и производит выходной сигнал (напряжение U_7 , между клеммами 6 и 7), которое является более точным представлением первичного тока I_1 , чем напряжение U_4 . Напряжение U_7 является «скорректированным сигналом». Вычислительный блок 5 использует в качестве входных и выходных величин напряжения, а не токи, поскольку большинство методов электронной обработки легче использовать для создания и измерения напряжений, а не токов.

Вычислительный блок 5 прикладывает напряжение U_5 к ТТ2, в результате через него протекает I_4 . ТТ2 предпочтительно использовать с тем же магнитным материалом сердечника, что и у основного ТТ1, чтобы характеристики гистерезиса у обоих устройств были одинаковы. При этом напряжение U_5 имеет форму волны, аналогичную напряжению, наведенному вторичной обмоткой ТТ1. Расчётный блок масштабирует напряжение U_5 таким образом, чтобы плотность магнитного потока ТТ2 была равна максимальной плотности магнитного потока в магнитопроводе ТТ1. Ток I_4 умножается на соответствующий коэффициент пропорциональности и добавляется к току I_2 , затем на клеммах 6 и 7 мы получаем выходное напряжение U_7 , которое соответствует скорректированному току вторичной цепи ТТ1.

Наилучшей конструкцией будет использование вспомогательного ТТ таких же размеров, как и основной ТТ, но это экономически нецелесообразно, и необходимо использовать ТТ2 меньших габаритов. При этом необходимо, чтобы

максимумы магнитной индукции у магнитопроводов ТТ1 и ТТ2 были приблизительно равны.

На рисунке 2 представлена схема замещения устройства компенсации. Здесь сопротивление Z_1 учитывает потери от токов намагничивания и потери в магнитопроводе. Сопротивление Z_2 является сопротивлением вторичной обмотки ТТ1. Аналогично для ТТ2 сопротивление Z_6 учитывает потери в магнитопроводе и на токи намагничивания, а Z_5 потери в обмотке.

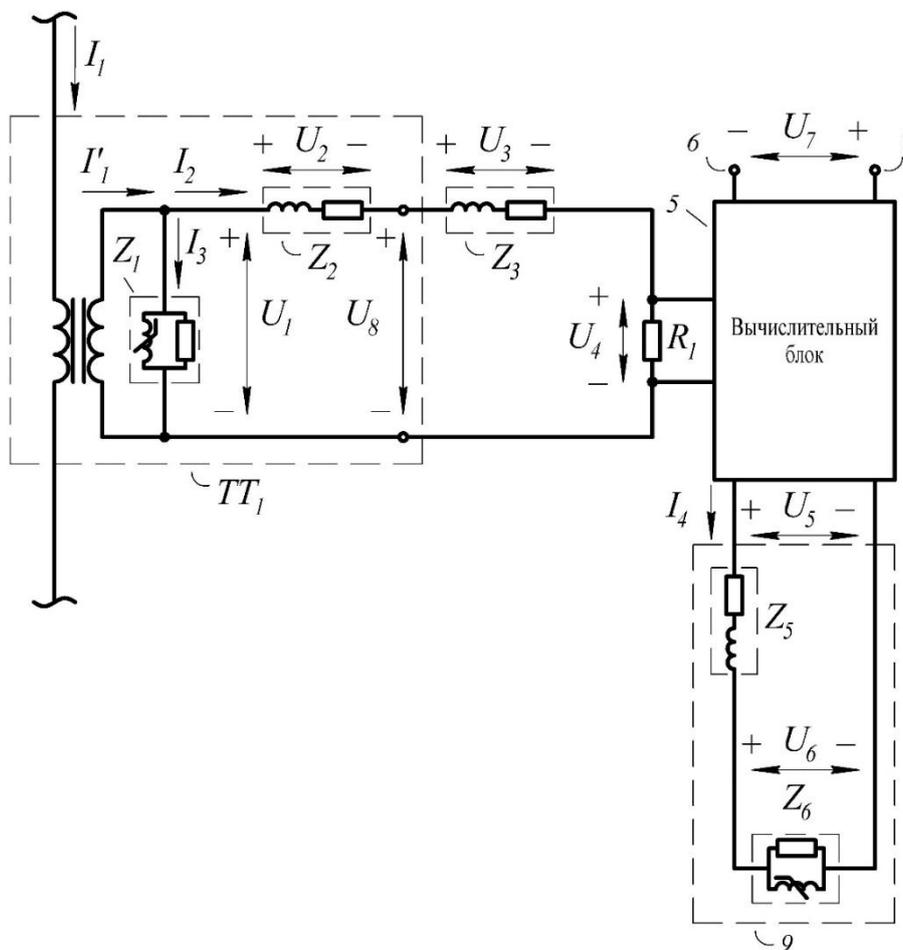


Рисунок 2 – Схема замещения устройства компенсации погрешности ТТ

На рисунке 3 представлены аналитические графики зависимостей токов и напряжений в устройстве компенсации от времени. На рис. 3а показаны формы сигналов первичной обмотки ТТ1 и сигнал выходного напряжения устройства компенсации погрешности (величины могут быть не равны ввиду какой-то погрешности). Для наглядности показана простая синусоида, хотя сигналы силовой сети могут быть искажены. На рис. 3б показаны токи I_3 и I_4 , а также напряжение U_9 , которые имеют одинаковую искаженную форму волны, что связано с кривыми магнитного гистерезиса. Рис. 3в представляет собой разность графиков «а» и «б». На этом рисунке изображены графики тока I_2 и напряжений U_4 и U'_4 . На рис. 3г представлены графики зависимостей от времени U_1 и U_5 . Этот сигнал получается из сигнала «в» ввиду индуктивных составляющих сопротивлений Z_2 и Z_3 .

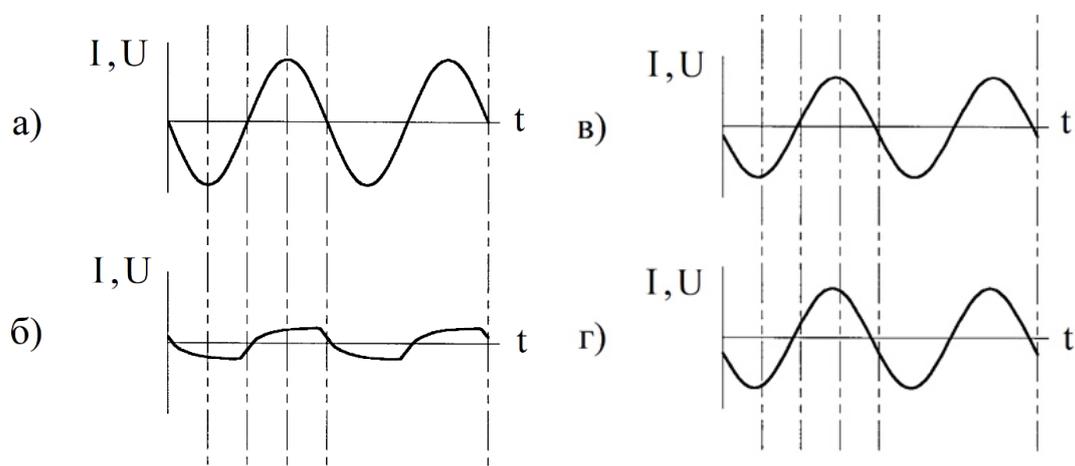


Рисунок 3 – Графики зависимостей токов и напряжений:

- а) Зависимости $I_1(t)$, $U_7(t)$; б) Зависимости $I_3(t)$, $I_4(t)$, $U_9(t)$;
 в) Зависимости $I_2(t)$, $U_4(t)$, $U'_4(t)$; г) Зависимости $U_1(t)$, $U_5(t)$

В работе была описана принципиальная и структурная схемы устройства компенсации погрешностей трансформаторов тока. Ключевым отличием устройства от аналогов является определение в реальном времени индуцированного напряжения во вторичной обмотке ТТ. Наведенное напряжение рассчитывается по параметру, связанному с вторичным током и известными характеристиками контура. Вторая особенность устройства – применение параметра, пропорционального входному сигналу вторичной обмотки ТТ1 (ток, напряжение) к обмотке ТТ2 со схожими магнитными характеристиками. Данное устройство позволяет путем регулирования параметров расчетного блока свести амплитудную и угловую погрешности к минимуму.

Литература

7. Латорцев В.И. Повышение точности измерений потерь электроэнергии в ОАО «Кубаньэнерго». Опыт измерения параметров вторичных цепей измерительных ТТ и ТН. Анализ погрешностей ТТ при включении измерительных приборов совместно с устройствами РЗА / Метрология электрических измерений в электроэнергетике.: Доклады науч.-техн. семинаров и конф. 1998-2001 гг. – М.: НЦ ЭНАС – 2001. – С. 242-253.
8. Стародубцев Ю.Н., Белозеров В.Я. Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2002. – 384 с
9. Раскулов Р.Ф., Эткинд Л.Л. Влияние воздействующих факторов на метрологические характеристики ТТ и ТН с литой эпоксидной изоляцией/ Метрология электрических измерений в электроэнергетике.: Доклады науч.-техн. семинаров и конф. 1998-2001 гг. – М.: НЦ ЭНАС, 2001. – С.317-327.

Л.В. Вайтеленко, ст.преп.

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

УЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАМАГНИЧИВАНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА

Измерительные преобразователи тока (ИПТ), которые устанавливаются под проводником с измеряемым током, в последнее время все больше находят применение в различных сферах электроэнергетики. При разработке конструкций данных ИПТ, как правило, требуется производить расчет магнитного поля, су-

щественно облегчить который можно при использовании компьютерного моделирования. В связи с этим задача моделирования работы таких дистанционных ИПТ является актуальной.

При наличии в конструкции ИПТ магнитопровода появляется необходимость учета в модели его характеристики намагничивания. Магнитопровод дистанционных ИПТ выполняется из электротехнической стали, наиболее часто применяется марка 3411. Характеристика намагничивания для указанной стали должна быть задана в виде нелинейной зависимости:

$$B = f(H), \quad (1)$$

или инверсной функцией:

$$H = f(B), \quad (2)$$

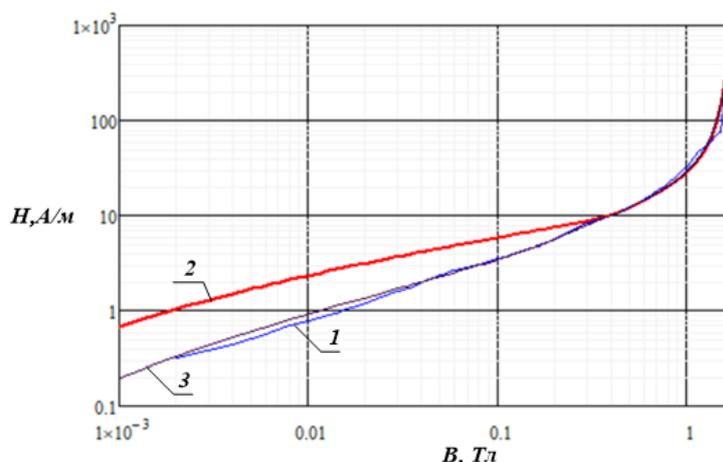
где B — магнитная индукция, H — напряженность магнитного поля.

Применительно к программному комплексу COMSOL Multiphysics 6.1, который используется в данной работе для разработки модели ИПТ, в качестве (2) должна быть задана функция, обратная нормальной кривой намагничивания на постоянном токе. Во встроенной библиотеке материалов COMSOL имеются данные по линейной интерполяции характеристик намагничивания большого количества сталей, в том числе и 3411, однако, для указанных данных не указано точек интерполяции в области малых и очень слабых полей, при которых как раз и работают исследуемые дистанционные преобразователи.

Характеристики намагничивания также задаются в виде графических или табличных [1] зависимостей, которые определяются по результатам экспериментов. Требованию описания в том числе и области слабых полей отвечают зависимости, указанные в [1]. Следует учитывать, что в [1] заданы зависимости удельной МДС от максимальной индукции, т.е. $F_{y0} = f(B_{\max})$, для приведения которых к виду (2) требуется, во-первых, перейти от F_{y0} к максимальной напряженности поля $H_{\max} = \sqrt{2}F_{y0}$, а во-вторых, от полученной инверсной зависимости кривой намагничивания на переменном токе $H_{\max} = f(B_{\max})$ перейти к зависимости (2) на постоянном токе. Поскольку вид функции характеристик намагничивания для различных типов холоднокатанных сталей примерно одинаков, на основе анализа соотношения кривых намагничивания на постоянном и переменном токе была получена функция, аппроксимирующая указанный переход между характеристиками:

$$H = H_{\max} (B_{\max} \cdot 0,164 + 0,295). \quad (3)$$

Полученная в результате табличная зависимость в графическом виде представлена на рис.1 под номером 1.



1 – табличная функция, 2 – универсальная аппроксимирующая, 3 – скорректированная аппроксимирующая

Рис. 1 - Зависимости $H = f(B)$

Использование полученной зависимости в программных комплексах, реализующих численный расчет магнитных цепей, требует предварительной аппроксимации или интерполяции данных, а также их экстраполяции для значений напряженности магнитного поля, при которых экспериментальное снятие характеристик намагничивания затруднено. Причем, от гладкости полученной в результате характеристики намагничивания зависит как сходимость решаемой в модели задачи, так и скорость решения.

Использование таких наиболее широко распространенных функций аппроксимации, как гиперболический синус, арктангенс и др. [2] для модели дистанционных ИПТ может привести к возникновению погрешности моделирования, поскольку в данных функциях начальный участок намагничивания на достаточно большом интервале линеаризован. В [1] предложена степенная функция для аппроксимации начального участка слабых полей, но поскольку для аппроксимации более сильных полей предлагается использовать другую функцию, при переходе от одной функции к другой образуется точка разрыва. В виду этого сходимость решения модели с указанными функциями может не выполняться.

В [3] предлагается универсальная функция для аппроксимации относительной магнитной проницаемости:

$$\mu_{\text{от}}(H_{\text{от}}) = \left[\frac{1}{1 - \frac{1}{\mu_{\text{от}}}} + \frac{|H_{\text{от}} - 1|^b}{\frac{1}{1 - \mu_{\text{от}} - 0,17 \cdot H_{\text{от}}^{1-1,5H_{\text{от}}}} - 1 + \frac{H_{\text{от}}^{b-1} \cdot B_s}{k(H_{\text{от}}) \cdot B_{\mu\text{max}}}} \right]^{-1} + \frac{1}{\mu_{\text{от}}}, \quad (4)$$

где индексом « от » обозначены нормированные на единицу величины; $\mu_{\text{от}}$ — максимальное значение относительной магнитной проницаемости стали; b — коэффициент, определяющий вид функции аппроксимации, зависит от способа прокатки стали; $\mu_{\text{от}}$ — начальное магнитная проницаемость; B_s и $B_{\mu\text{max}}$ — индукция насыщения и индукция, при которой проницаемость максимальна; $k(H_{\text{от}})$ — поправочная функция, определяемая согласно [3].

Посредством (4) выполняется аппроксимация и характеристики намагничивания. Причем данная универсальная функция учитывает как начальный участок кривой намагничивания, так и область насыщения. Поэтому в данной работе для аппроксимации полученных ранее данных выбрана именно указанная функция.

Основной сложностью при использовании данной функции является выбор $\mu_{-н}$, точное экспериментальное определение значения которого на практике затруднено, в виду чего приближенное значение $\mu_{-н}$ в различных источниках для стали 3411 имеет довольно большой разброс. В данной работе в качестве $\mu_{-н}$ принято среднее значение 700. При принятых по справочным данным [1], а также из анализа зависимостей рис.1 значениях ($\mu_{\max \text{ от}} = 32800$, $B_s = 1,98$ Тл) в программе Mathcad был выполнен подбор коэффициента b , исходя из минимизации квадратов разницы аппроксимирующей функции и табличной. Полученная зависимость представлена на рис.1 под номером 2.

Полученная зависимость достаточно точно аппроксимирует табличные данные при значениях магнитной индукции, начиная с $B_{\mu \max}$. На начальном участке совпадения функций только подбором коэффициента b достичь не удастся.

Указанное различие обусловлено тем, что в действительности для любой электротехнической стали на начальном участке намагничивания помимо нелинейной, так называемой, рэлеевской области, имеется также область начального намагничивания, которая характерна для очень слабых полей и в которой изменение магнитной индукции B происходит прямо пропорционально изменению напряженности поля H .

В функции (4) за начальный участок отвечает выражение:

$$1 - \mu_{-н} - 0,17 \cdot H_{-}^{1-1,5H_{-}}, \quad (5)$$

которое при любом значении H_{-} , отличном от нуля, приводит функцию $H = f(B)$ к степенному виду, не соответствующему характеру области начального намагничивания. Также в [3] не указано, каким образом получены коэффициенты перед H_{-} в вышеприведенном выражении (5). Поэтому в данной работе были уточнены указанные коэффициенты так, чтобы минимизировать отличия аппроксимирующей функции от табличных значений. Полученная в результате скорректированная зависимость показана на рис.1 под номером 3.

Для полученных зависимостей было проведено исследование, как на результат моделирования влияет вид используемой характеристики намагничивания. Основные принципы разработанной модели изложены в [4]. Модель разработана для ИПТ типа ТВМ-П. Также в работе для указанного образца ТВМ-П экспериментально получены осциллограммы выходного напряжения. Для того, чтобы учитывать влияние на результаты моделирования только параметров самого преобразователя, в том числе вид характеристики намагничивания, было решено модель и эксперимент выполнить не для реального способа установки ИПТ, когда на результат оказывают также влияние расположение

проводника, расстояние до проводника и т.п., а при подключении одной из обмоток ТВМ-II к источнику напряжения, а второй обмотки к осциллографу. В качестве источника напряжения для эксперимента использовался программно-измерительный комплекс РЕТОМ-61 (рис.2).



Рис. 2 – Экспериментальная установка

В модели источник напряжения был задан в редакторе электрических цепей COMSOL Multiphysics. Входное сопротивление цифрового осциллографа DPO 3012 равное 10 МОм также учтено в модели как нагрузочное сопротивление второй обмотки.

Полученная осциллограмма и выходное напряжение ИПТ по модели при использовании различных способов задания характеристики намагничивания показана на рис. 3 для напряжения на источнике равном 10 В.

В результате получено, что при использовании характеристики в виде линейной интерполяции табличных данных в выходном напряжении модели практически отсутствуют искажения, которые четко видны на осциллограмме.

Указанные искажения возникают при мгновенных значениях напряжения, близких к максимуму, что соответствует значениям напряженности, стремящимся к нулю. Как уже было сказано, при данных значениях поля кривая намагничивания меняет характер со степенного на линейный, а следовательно, изменяется и отношение dB/dH , что и приводит к появлению в выходном напряжении высших гармоник. Причем преобладают нечетные гармоники, однако, по результатам проведенного анализа получено, что их уровень невелик. Так, например, при напряжении на источнике 10 В максимальное значение имеет третья гармоника, амплитуда которой составляет 0,013 по отношению к амплитуде напряжения основной частоты. Получено, что при увеличении напряжения на источнике, т.е. при увеличении максимума магнитного поля, уровень высших гармоник по отношению к основной снижается. Также снижается уровень высших гармоник при уменьшении сопротивления вторичной обмотки. При сопротивлении ниже 1 МОм искажения практически не различимы в выходном сигнале ИПТ.

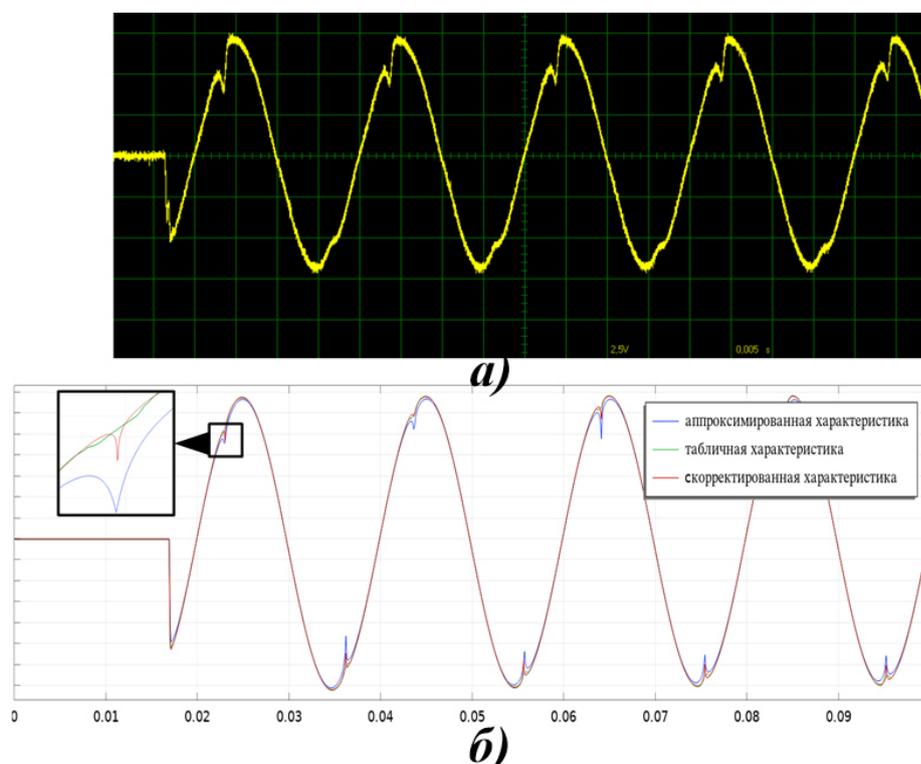


Рис. 3 – Экспериментальная осциллограмма (а) и выходное напряжение ИПТ по модели (б)

Использование в модели универсальной аппроксимации приводит к занижению действующего выходного напряжения модели и завышению уровня высших гармоник по сравнению с экспериментом. Скорректированная характеристика более точно отражает как величину максимума напряжения, так и искажения его формы.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку функции аппроксимации, которая также будет учитывать линейность области начального намагничивания стале.

Исследование проводится при поддержке Фонда содействия инновациям по программе УМНИК в рамках договора №17353ГУ/2022 от 18.04.2022.

Литература

1. Афанасьев В.В., Адоньев Н.М., Кибель В.М. и др. Трансформаторы тока/ Л.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Лебедев, В. Д. Исследование динамических процессов в измерительных трансформаторах тока и напряжения / В. Д. Лебедев, А. А. Яблоков // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2013. – № 6. – С. 98-104.
3. Пентегов, И. В. Универсальная аппроксимация кривых намагничивания электротехнических стале / И. В. Пентегов, А. В. Красножон // Электротехника и электромеханика. – 2006. – № 1. – С. 66-70.
4. Вайтеленко Л. В., Ковженкин В.С. Анализ способов повышения эффективности компьютерного моделирования дистанционных датчиков переменного магнитного поля // Энергетика в условиях цифровой трансформации. Наука. Технологии. Инновации: мат-лы II Международ. науч.-практич. конф. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2023. – С. 10-16.

*Т.И. Дубровская, ведущий инженер; В.С. Петров, к.т.н., доц.; А.И. Ерашова, студ.
(Филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ РАЗРАБОТОК ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Применение изоляционных материалов в многочисленных электроустановках общеизвестно и имеет для них важное значение.

Воздушные линии электропередач (ЛЭП), обеспечивающие большую часть передачи и распределения электроэнергии на среднем, высоком и сверхвысоком напряжениях, не являются исключением. От выбора и применения качественных изоляторов, от которых, в конечном счете, зависит надежность передачи электроэнергии, безопасность сети и всего электротехнического оборудования.

Российские и зарубежные производители изоляторов не стоят на месте.

История развития изоляторов включает применение фарфора, стекла и полимеров – это основные материалы. Тарельчатые фарфоровые линейные изоляторы устарели. Причина – это наличие ряда недостатков:

- ✓ Большой вес гирлянд (от 10 до 30 кг),
- ✓ Хрупкость – повреждения при упаковке, перевозке и хранении.
- ✓ Сложность диагностики микротрещин
- ✓ Новые материалы постепенно вытесняют традиционные.

Фарфор при этом можно назвать «прошлым» изоляторного рынка, стекло – «настоящим», а полимеры назвать «будущим».

Изготовление качественных изоляторов кустарными методами невозможно.

Фарфор: При изготовлении используются надежные проверенные методики.

Основная причина ухода от применения фарфоровой изоляции – хрупкость (при транспортировке, хранении – монтаже, в режимах «включение–отключение», при перепадах температур от холодного к теплomu времени года). К этому добавляется сложность диагностики пробоев и отыскание микротрещин.

Стекло: Большой опыт эксплуатации является существенным преимуществом стеклянных изоляторов, а достоинством – простота обнаружения повреждений, так как при пробое происходит их саморазрушение.

Однако, в эксплуатации есть случаи отсутствия саморазрушения изолятора, что приводит к отысканию места повреждения с теми же усилиями, что и для полимерных изоляторов.

К недостаткам стеклянных изоляторов можно отнести:

- Высокая повреждаемость (при перевозке, при хранении, при монтаже).
- Ускоренное старение изоляторов.
- Большие затраты труда на сборку и монтаж гирлянд изоляторов воздушных ЛЭП.
- Токи утечки выше на 8-10 % токов утечки полимерных изоляторов.
- Полное отсутствие стойкости к вандализму.
- Высокая энергоёмкость производства.

Полимеры: технологический процесс изготовления относительно прост. Это приводит к возникновению мелких производителей изоляторов из полимеров с несоблюдением технологии их производства поставке на рынок изоляторов не качественной продукции.

Такое положение в России оказывает отрицательное влияние на использование полимерной изоляции ЛЭП. Имеют место и ограничения её использования и некоторые нормативные материалы технического и технологического проектирования, включая Правила устройств электроустановок, 7 издание (ПУЭ-7).

В тоже время использование полимерных изоляторов на воздушных ЛЭП в мире растет.

Так согласно [1], доля полимерных изоляторов на воздушных ДЭП возросла с 23% в 90-е годы прошлого столетия до 42% к 2015 году. Другой статистики по использованию полимерной изоляции на ЛЭП в настоящее время в открытой печати не встретилось.

В России, к сожалению, на объектах ПАО «ФСК ЕЭС» используется всего лишь 1,8% изоляции в полимерном исполнении, а в Китае 98% линий 220 кВ и выше строятся на полимерной изоляции.

Рост применения полимерной изоляции на воздушных ЛЭП в мире и в России основывается на более высоких технических характеристиках по сравнению с фарфором и стеклом, меньшими затратами на транспортировку и монтаж, большим удобством в эксплуатации, меньшей стоимостью. В табл. 1 приведены сравнительные характеристики, и расчет стоимости гирлянд изоляции из стекла и полимера напряжением 110 кВ.

Таблица 1 – Характеристика изоляторов на 110 кВ из полимера и стекла

Полимерный изолятор ЛК 70/110А3 (1 шт.)	Строительная высота	–1370мм
	Длина пути тока утечки	–3100 мм
	Срок службы	–40 лет
	Защита от вандализма	– антивандальный
	Масса	–3,8 кг
	Транспортировка	–1980 шт./вагон
	Бой при перевозке и монтаже	–0%
	Цена одной гирлянды:	120кН–3800 руб. 70 кН–3200 руб.
	Стеклоянная гирлянда изоляторов ПС-70Е (7 шт.)	Строительная высота
Длина пути тока утечки		–2121 мм
Срок службы		–30-40 лет
Защита от вандализма		– не защищен
Масса		–3,4 кг
Транспортировка		–380 шт./вагон
Бой при перевозке и монтаже		–3-5%
Цена одной гирлянды:		120кН–9100 руб. 70 кН–7700 руб.

В настоящее время действуют три стандарта нормативно-технической документации, определяющие технические характеристики полимерных изоляторов: ГОСТ 28856-90, ГОСТ Р 55189 и ГОСТ Р 52082.

Разрабатываются ассоциацией «Электросетьизоляция» ещё три стандарта.

Все стандарты максимально согласованы с международными стандартами.

В табл. 2 приведено сравнение стеклянных и полимерных изоляторов.

Над проблемой создания новых конструкций и внедрения новых композитных материалов для изоляции ВЛ работают: АО НПО Изолятор, Производственное объединение ФОРЭНЕРГО)включающее ряд крупных предприятий и объединений: ЮМЭК, ООО»МЗВА», ИНСТА, ВОЛЬТА и др. Ими созданы такие конструкции как, изолирующие траверсы и межфазные распорки на напряжения 6-35 и 110 кВ и выше, изолирующие подвески, птицевозрастные изоляторы и индикаторы перекрытия изоляторов.

В тоже время, с учетом применения новой полимерной изоляции с надежностью не менее 10^{-6} , необходима «точечная» корректировка нормативно-технической документации, которая позволит снять ограничения применения полимерной изоляции на ЛЭП высокого и сверхвысокого напряжения.

Отметим экономическую эффективность применения полимерных изоляторов, которая в большинстве случаев позволяет достичь значительного экономического эффекта, размер которого зависит от назначения и особенностей эксплуатации изоляторов.

Таблица 2 – Преимущества и недостатки изоляционных материалов

	Стекло	Полимеры (силиконы, фторопласт)
Преимущества	<p>Повреждение определяется визуально.</p> <p>Механическая прочность постоянна.</p> <p>Нет деформация конструкций.</p> <p>Устойчиво к воздействию ультрафиолета.</p> <p>Нулевая водопроницаемостью.</p> <p>Не горит.</p> <p>Высокие диэлектрические свойства.</p> <p>Длительный период применения.</p> <p>Простота замены.</p>	<p>Материал антивандальный.</p> <p>Высокая механическая прочность.</p> <p>Высокая стойкость к перенапряжению.</p> <p>Гидрофобность силиконовой защитной оболочки (СЗО).</p> <p>Трекинг-эрозионная стойкость СЗО.</p> <p>Стойкость СЗО к солнечной радиации.</p> <p>Энергосбережение, отсутствие необходимости в обслуживании.</p> <p>Простота и удобство монтажа.</p> <p>Снизилась габаритная и строительная высота изолятора</p> <p>Срок службы до 40 лет.</p> <p>Низкий вес.</p>
Недостатки	<p>Высокий вес.</p> <p>Большая хрупкость.</p> <p>Высокая энергоемкость при производстве.</p> <p>Объект вандализма.</p>	<p>При высоких t уменьшается механическая и электрическая прочность.</p> <p>Возможно появление треков и эрозии.</p> <p>Риск пробоев при разгерметизации.</p> <p>Скрытые дефекты. Сложность замены.</p>

Факторы, за счет которых достигается экономический эффект:

– Минимальные затраты на транспортировку, погрузо-разгрузочные работы.

- Минимальные затраты при монтаже.
- Отсутствие боя при транспортировках, погрузо-разгрузочных работах, при монтаже.
- Возможность применения в болотистых и горных местностях.
- Низкие расходы на очистку изоляции за счет меньшей загрязняемости, чем у традиционных изоляторов (в большинстве случаев очистки полимерных изоляторов не требуется в течение всего срока службы).
- Отсутствие необходимости в регламентных работах (герметизация армирующих цементных швов для фарфоровых изоляторов).
- За счет высокой надежности уменьшаются расходы на ремонт и замену изоляторов.
- Для напряжений 35-110 кВ цена полимерных изоляторов ниже цены фарфоровых и стеклянных изоляторов (для линейных подвесных изоляторов).
- Энергосбережение (за счет снижения токов утечки по поверхности загрязненных изоляторов в десятки раз).

Выводы: В энергетической отрасли широко внедряются прогрессивные технологии и изоляционные материалы, а именно полимеры. Конструкции полимерной изоляции постоянно совершенствуются. Поиск новых технических решений обеспечивает соответствие новых изделий требованиям НТД. Полимерные конструкции являются более эффективными и предпочтительными по сравнению с изоляторами из стекла и фарфора, как по экономическим показателям, так и по показателям надежности.

Соответственно, в технических вузах должна иметься, достаточна полная информация о выпускаемых полимерных изоляторах, их технических характеристиках и стоимости для того чтобы шире рекомендовать и применять полимерные изоляторы в учебных обязательных заданиях по расчетам и проектированию воздушных ЛЭП разного класса напряжения.

Литература

1. СИГРЭ официальный сайт. <https://www.cigre.org/>

*Е.В. Кислякова к.п.н., доцент
(ФГБОУ ВО "Смоленский государственный университет")
М.А. Кисляков ст. преп.; В.А. Чернов к.т.н.
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ"МЭИ" в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ РАСТВОРЕННЫХ В МАСЛЕ ГАЗОВ КАК БАЗОВЫЙ МЕТОД СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ИЗОЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСФОРМАТОРА

Одной из наиболее актуальных тенденций в электроэнергетике последнего десятилетия является цифровизация систем управления энергетическими объектами. Автоматизированные системы управления (АСУ), построенные на основе современных цифровых технологий, активно внедряются в энергетические комплексы многих развитых стран, в том числе и России. Важным компонентом АСУ является система мониторинга и диагностики

(СМиД). Особую значимость СМиД приобретают для трансформаторных подстанций, как элемента системы энергоснабжения страны, так как используемый сегодня парк силовых высоковольтных трансформаторов характеризуется средним возрастом, выходящим за рамки требований ГОСТ 11677-85 «Трансформаторы силовые. Общие технические условия».

В настоящее время все трансформаторные подстанции принято разделять на три группы: 1) традиционные подстанции старого поколения, 2) традиционные подстанции нового поколения, 3) цифровые подстанции, созданные с соблюдением требований стандарта МЭК 61850. При этом, если в цифровые подстанции СМиД уже внедрена на этапе производства, то для традиционных подстанций требуется выработка технологических решений, позволяющих внедрить СМиД без нарушения работоспособности оборудования и больших экономических затрат.

При разработке СМиД особую актуальность приобретает проблема поиска методов диагностики, которые должны удовлетворять таким условиям, как простота измерения параметров и однозначность интерпретации результата. Одним из общепризнанных методов, который может применяться в СМиД, является анализ растворенных в масле газов (DGA). DGA сегодня является наиболее востребованным методом анализа трансформаторного масла, проводится в соответствии с общепризнанной методикой, описанной в стандарте МЭК 60567 и РД 153-34.0-46.302-00 «Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле».

В основе DGA лежит понимание физических процессов, протекающих в трансформаторном масле как компоненте изоляционной системы, находящейся под нагрузкой. В процессе эксплуатации трансформатора его изоляция разрушается от чрезмерного перегрева и/или перегрузки, выделяющиеся при этом газы могут являться индикаторами причин и характера возникающих повреждений. Методика позволяет обнаруживать низкие концентрации газов (на уровне миллионных долей), поэтому дефекты могут быть обнаружены и купированы на начальных этапах развития.

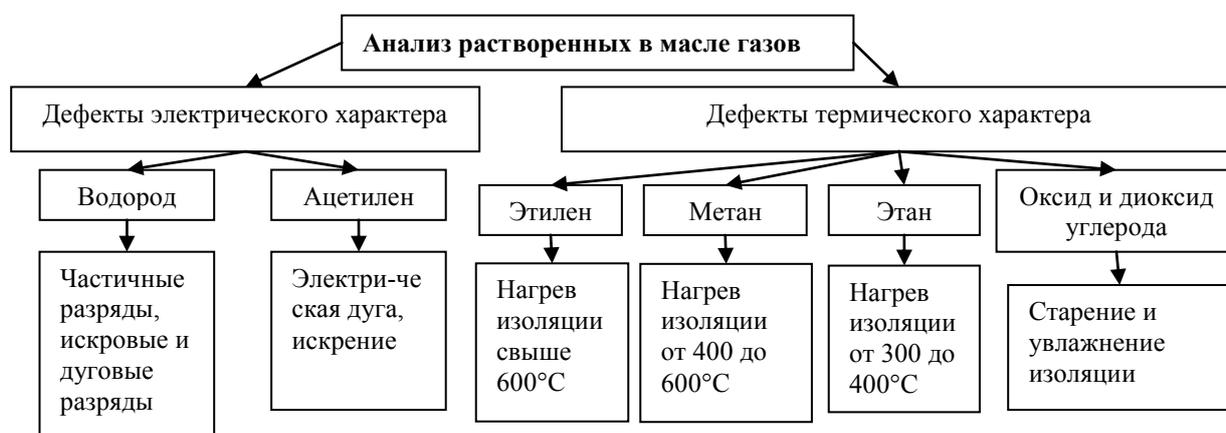


Рис. 1. Основные газы, используемые при определении дефекта

В DGA выделяют шесть основных газов: водород (H_2), ацетилен (C_2H_2), этилен (C_2H_4), метан (CH_4), этан (C_2H_6), оксид углерода (CO) и диоксид углерода (CO_2). Дополнительный анализ может проводиться по концентрациям кислорода (O_2), азота (N_2), пропана (C_3H_8), бутана (C_4H_{10}), бутена (C_4H_8) и др. Наличие и концентрация газов свидетельствуют о развитии различных дефектов (см. рис. 1).

Для оценки состояния изоляции по концентрациям газов обычно используется метод Дорненбурга, метод Роджерса или метод Дюваля. Рассмотрим подробнее метод, получивший название "треугольник Дюваля".

Метод Дюваля предполагает анализ концентраций трех газов: метана (CH_4), этилена (C_2H_4) и ацетилена (C_2H_2), которые откладываются по сторонам треугольника, разбитого на зоны (см. рис. 2). Попадание в каждую из зон свидетельствует о наличии определенного типа дефекта: PD – частичные разряды; T1 – термический дефект ($T_{max} \leq 300^\circ C$); T2 – термический дефект ($300^\circ C \leq T_{max} \leq 700^\circ C$); T3 – термический дефект ($700^\circ C \leq T_{max}$); D1 – низкоэнергетический разряд (искра); D2 – высокоэнергетический разряд (дуга); DT – наличие термического и электрического дефектов одновременно [1].

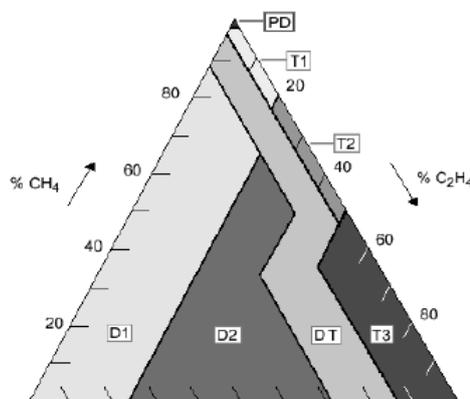


Рис. 2. Треугольник предельных концентраций

Применение метода DGA как компонента СМиД требует не только идентификации дефекта, но и оценки качества объекта как меры возможности его дальнейшей эксплуатации и степени риска. Основные причины выхода изоляционной системы из строя можно условно разделить на три группы: пробой, деградация и старение. Группа исследователей из университета Тун Хуссейн Онн в Малайзии [2] предлагает следующую классификацию данных причин (таблица 1).

Таблица 1 – "Аномальные" состояния изоляционной системы

Характеристика	Пробой	Деградация	Старение
Скорость	Порядка 1 секунды	От нескольких часов до нескольких лет	Непрерывно в течение всего срока службы
Область	Обычно небольшая область (нить), которая соединяет электроды	В "слабых" местах изоляции, имеет форму фрактальной структуры	Происходит по всему объему изоляции
Размер	~ мм: зависит от энергии события	~ мкм: может образовывать более крупную структуру	~ нм: молекулярный масштаб
Индикация	Непосредственное наблюдение	Непосредственное наблюдение с использованием микроскопических методов	Трудно наблюдать

Результат	Катастрофический , изоляция выходит из строя	В конечном результате снижает напряжение пробоя и приводит к пробою	Приводит к ухудшению качества
-----------	--	--	-------------------------------------

В работе [2] также приводится диаграмма (рис. 3), устанавливающая типы дефектов, наиболее характерные для каждого из состояний. Так, для состояния "пробой" характерны электрические, электромеханические, термические дефекты и частичные разряды, возникающие под действием сильных электрических полей за достаточно малые промежутки времени. Дegradaция изоляции сопровождается частичными и другими электрическими разрядами, а для старения характерно излишнее увлажнение изоляции.

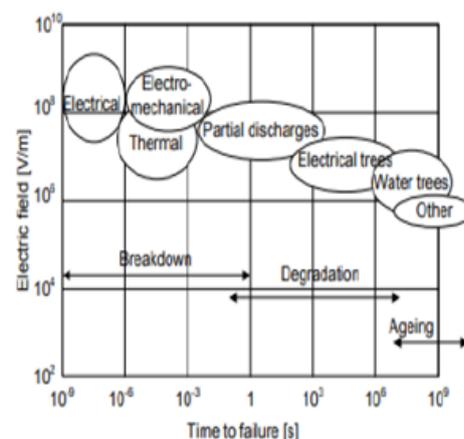


Рис. 3. Дефектные состояния изоляции

Рассмотрим применение описанных методик для диагностики изоляционной системы высоковольтного трансформатора, находящегося в эксплуатации. По результатам хроматографического анализа были получены следующие параметры концентрации газов в масле (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Концентрации основных газов, растворенных в трансформаторном масле

	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
Концент.,об.%.	0,00000	0,00059	0,00113	0,00495	0,00046	0,00119	0,1572
Гр.значения,об.%.	0,01000	0,01000	0,00100	0,01000	0,00500	0,06000	0,8000

Концентрации основных газов не превышают граничных концентраций, за исключением ацетилена (C₂H₂). Кроме того, концентрация двуокси углерода (CO₂) повышена, а этилена (C₂H₄) существенно повышена. Повышенные концентраций ацетилена свидетельствует о горении дуги или наличии искрения в объеме трансформаторного бака, этилена и углекислого газа – о существенном перегреве изоляционных конструкций, затрагивающем целостность целлюлозы. На треугольнике Дюваля данный трансформатор попадает в зону DT, что свидетельствует об одновременном наличии термического и электрического дефекта. В соответствии с методикой малазийских ученых одновременное наличие электрических и термических дефектов свидетельствует о высоких рисках возникновения пробоя в структуре изоляции.

Выводы: 1) Разработка СМиД состояния энергетических объектов является актуальной проблемой, решение которой должно основываться на глубоком анализе физических процессов, протекающих в изоляционной системе. 2) Методы анализа растворенных в масле газов являются эффективным и экономичным механизмом оценки качества изоляционной системы. 3) Метод

Дюваля позволяет оценить состояние изоляционной системы в соответствии с предложенной классификацией "аномальных" состояний.

Литература:

1. Duval M. Dissolved Gas Analysis: It Can Save Your Transformer // IEEE Electrical Insulation Magazine, No. 6, 1989. – Vol. 5, S. 22-27.
2. Nishanthi Sunthrasakaran and others. Application of Polarization and Depolarization Current in High Voltage Insulator - A Review. International Journal Of Integrated Engineering Vol. 12 No. 2 (2020) 159-169.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ УСТАНОВОК СЭС И ГПУ

В последние годы во многих странах, в том числе и в России, можно заметить тенденцию на рост производства электроэнергии путем применения альтернативных источников энергии. К предпосылкам такой тенденции можно отнести следующие факторы:

- во-первых, растущая популярность и привлекательность новых технологий, в особенности использование возобновляемых источников энергии, в том числе использования энергии Солнца;
- во-вторых, постоянный рост тарифов на энергоресурсы;
- в-третьих, низкое качество поставляемой электроэнергии потребителям, вплоть до её отсутствия.

Сегодня в основу надёжного и бесперебойного снабжения потребителей электроэнергией положены технологии производства электрической и тепловой энергий за счёт сжигания органического топлива. Но за счёт интенсивного развития науки, технологий и техники увеличивается и потребление электрической энергии. Поэтому одной из важнейших задач развития энергетики является поиск полной или частичной замены традиционного органического топлива на альтернативные источники энергии. Увеличение количества потребления электрической энергии приводит к увеличению расхода традиционных первичных энергетических ресурсов, которые обладают конечным запасом природных ископаемых, а, соответственно, значительно вырастают выбросы продуктов сгорания в окружающую среду. В том числе в ряде мест существующие энергетические установки не всегда могут справиться с возлагаемыми на них высокими надеждами, в особенности в часы пика энергопотребления, что приводит к перебоям в электроснабжении.

При решении задач по прогнозированию дальнейшего развития энергетики следует учитывать многопараметрическую взаимозависимую систему факторов: технический, экономический, социальный и экологический.

Всё чаще обращается внимание на природные ресурсы окружающей среды. Ведь практически каждая технология, решаю ту или иную задачу, взаимодействует с окружающей средой.

На сегодняшний день существует большое множество различных технологий с использованием возобновляемых источников энергии, в том числе апробированных технологий использования энергии Солнца.

Солнечное излучение относительно легко преобразовывается в другие виды энергии: тепловая, механическая, электрическая, а также находят ему его применение в различных химических и биологических процессах.

Как правило, солнечные электростанции вырабатывают электрическую энергию в светлое время суток в часы стояния Солнца. Основные пики потребности в электрической энергии возникают, как правило, в вечерние часы, когда эффективность солнечного излучения стремится к нулю. Следовательно, практическая применимость солнечных электростанций (далее – СЭС) без аккумуляторов (далее – АКБ) ничтожно мала. Число рабочих циклов, например, кислотно-свинцовых аккумуляторов, мало (1500 – 2000 циклов зарядки) из-за чего требуется частая замена на новые. Применение более дорогих аналогов повлечет за собой гораздо большие капиталовложения.

Если использовать в качестве основного генерирующего источника, покрывающего базовую часть нагрузки электроснабжения, например, газопоршневую установку на промплощадке потребителя, а пики потребления покрывать за счёт солнечной энергетической установки, то режим работы газопоршневой установки станет равномерным и расход органического топлива снизится.

Произведем оценочный расчёт экономической целесообразности эксплуатации такой комбинированной установки (Рисунок 1).

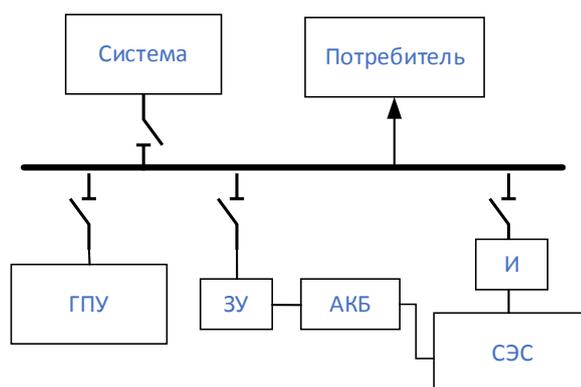


Рисунок 1 - Комбинированная установка:

ГПУ – Газопоршневые установки; СЭС – солнечные электростанции; АКБ – аккумуляторная батарея; ЗУ – зарядное устройство; И – инвертор

Исходя из карты инсоляции, наиболее выгодным для расположения СЭС является местность с продолжительностью солнечного сияния более 2000 часов/год. Так же можно считать, что такие установки необходимо устанавливать в местах, где существуют проблемы с классическим способом электроснабжения.

Произведем расчет для экономической оценки комбинированной установки в городе Сочи для промышленного предприятия. Для расчета примем

потребителем предприятие, потребляющее $P = 85$ кВт·ч и $Q = 27,5$ кВт·ч в час.

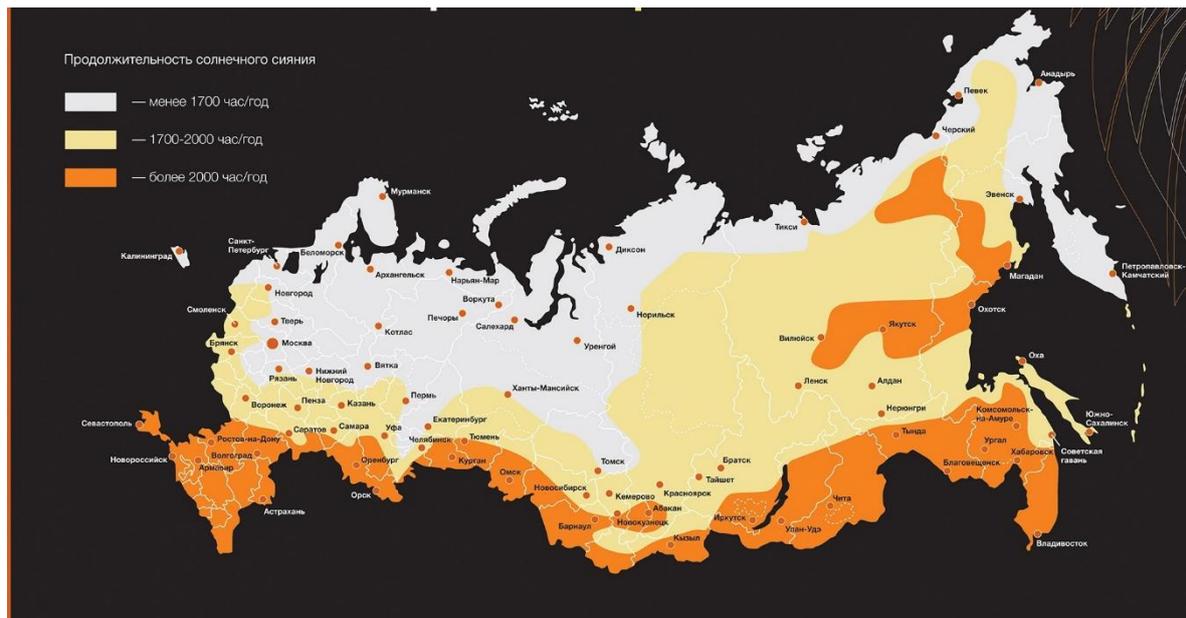


Рисунок 2 - Карта инсоляции Российской Федерации

Определим суточный расход электроэнергии:

$$W_r = P \cdot t \cdot N \cdot (\beta_{см1} + \beta_{см2} + \beta_{см3}) = 85 \cdot 8 \cdot (0,75 + 1,0 + 0,25) = 1360 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где P - потребляемая активная мощность, кВт; t – продолжительность смены, ч; N – нормируемое кол-во рабочих дней (365 дней); $\beta_{см1}, \beta_{см2}, \beta_{см3}$ – загрузка смен.

Выберем для установки панели:

- размеры подходящих панелей - 1662x990x6 мм;
- количество – 56 шт.;
- стоимость – 504000 рублей.

Выберем аккумуляторные батареи:

Аккумулятор на 100 А·ч. запасает:

$$P = I \cdot U = 100 \cdot 12 = 1200 \text{ Вт} \cdot \text{ч}.$$

Примем установку 15 АКБ по 200 А·ч каждая для покрытия пика нагрузки в самую нагруженную смену остальную часть будет «покрывать» ГПУ (При максимальной мощности СЭС покрыть 15,7 кВт·ч). Стоимость AGM аккумулятор SunStonePower ML12-200 29465 руб. тогда за 15 шт. будет 441975 руб.

Выберем инвертор-преобразователь:

Нам подходит инвертор-преобразователь SOFAR 20000KTLX-G3 мощностью $W_{max} = 20$ кВт, стоимостью 210760 руб. Общая сумма затраченная на оборудование СЭС составляет 1156735 руб.

Среднегодовая выработка электроэнергии в сутки: 63,23 кВт·ч. Суммарная выработка электроэнергии за год: 23066,16 кВт·ч. Тогда срок окупаемости батарей:

Стоимость вырабатываемой энергии в год:

$$C_{\text{СЭС}} = 23066,16 \cdot 5,931 = 136805,4 \text{ рубля,}$$

где 5,931 рублей за кВт·ч - тариф в г. Сочи по состоянию на 09.2023 г.

Срок окупаемости такой станции составит 8,46 года.

Рассчитаем стоимость установки ГПУ. Примем к установке ГПЭС 100-MAN производства ПРО Энергоцентр. Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные для расчета

№ п/п	Наименование параметра	Обозна-чение	Единица измерения	Параметр
1	Расход газа	V _т	м ³ /ч	27,7
2	Тариф на газ	C _г	руб./м ³	6,23
3	Объём масла	V _м	л	34
4	Стоимость масла	C _м	руб./л	320
5	Угар масла	V _{уг}	мл	0,22
6	Мощность ГПУ	P _{ГПУ}	кВт	100
7	Капитальные затраты	C _{стр}	тыс. руб.	8 000
8	Число часов работы в год	T _{год}	моточас	8 000
9	Время выработки ресурса ГПУ	T _{выб}	моточас	240 000

Затраты на 1 кВт·ч определяются по формуле:

$$C_{1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}} = \frac{V_{\text{т}} \cdot C_{\text{г}}}{P_{\text{ГПУ}}} = \frac{27,7 \cdot 6,23}{100} = 1,73 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч,}$$

где V_т - расход газа, $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$; C_г - стоимость газа, $\frac{\text{руб}}{\text{м}^3}$; P_{ГПУ} – мощность ГПУ, кВт.

Замену масла нужно проводить каждые 3000 моточасов, или реже, в зависимости от условий эксплуатации. Для расчетов применим самый частый период замены T_м = 3000 часов. Если же в процессе эксплуатации интервал будет увеличен, то это только снизит себестоимость электроэнергии.

Затраты на замену масла определяются по формуле:

$$C_{\text{зм}} = \frac{V_{\text{м}} \cdot C_{\text{м}}}{T_{\text{м}} \cdot P_{\text{ГПУ}}} = \frac{34 \cdot 320}{3000 \cdot 100} = 0,036 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч,}$$

где V_м - объём меняемого масла, л; C_м - стоимость одного литра, руб/л; T_м - регулярность замены масла, ч.

Газопоршневая электростанция при своей работе сталкивается с необходимостью пополнения масла, потраченного за счет его угара в камере сгорания газового двигателя.

Затраты на угар масла рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{уг}} = \frac{V_{\text{уг}} \cdot C_{\text{м}}}{1000} = \frac{0,22 \cdot 320}{1000} = 0,07 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч,}$$

где V_{уг} - объём масла на угар, мл.

Включение затрат необходимо для того, чтобы после выработки ресурса ГПУ были средства на обновление (3-4 капитальных ремонта, 240 000 – 300 000 моточасов).

Затраты на амортизацию определяются по формуле:

$$C_a = \frac{C_{\text{стр}}}{T_{\text{выб}} \cdot P_{\text{ГПУ}}} = \frac{8000000}{240000 \cdot 100} = 0,33 \text{ руб/кВт} \cdot \text{ч},$$

где $C_{\text{стр}}$ - стоимость строительства, руб; $T_{\text{выб}}$ - время выработки ресурса ГПУ, моточас.

На ряду с выработкой электрической энергии с ГПУ снимается ещё и тепловая энергия, но в данном расчете это не учитывается.

Итоговая себестоимость производства электрической энергии складывается из суммы всех затрат на производство электроэнергии.

$$C_{\text{ГПУ}} = C_{1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}} + C_{\text{зм}} + C_{\text{уг}} + C_a = 1,73 + 0,036 + 0,07 + 0,33 = 2,166 \text{ руб/кВт} \cdot \text{ч}$$

Затраты на выработку энергии ГПУ в сутки:

$$C_{\text{ГПУ}} = (1360 - 63,23) \cdot 2,166 = 2808,8 \text{ руб.}$$

Затраты на расходы потребленной энергии из сети в сутки:

$$C_{\text{СЕТЬ}} = (1360 - 63,23) \cdot 5,931 = 7691,14 \text{ руб.}$$

Экономия от установки ГПУ:

$$\mathcal{E} = C_{\text{СЕТЬ}} - C_{\text{ГПУ}} = 7691,14 - 2808,8 = 4882,34 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости:

$$\frac{C_{\text{стр}}}{\mathcal{E} \cdot 365} = \frac{8000000}{4882,34 \cdot 365} = 4,49 \text{ года.}$$

Исходя из произведенных расчетов, можно сделать вывод, что совместное использование комбинированных установок позволит не только снизить затраты на производство электрической энергии за счет использования СЭС, но и обеспечить бесперебойность работы, когда мощности ГПУ не хватает без потребления электроэнергии из сети.

Использование экологически чистых, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии позволит улучшить структуру потребляемых топливно-энергетических ресурсов. Но достичь этой цели не возможно без разработки и применения принимающих поверхностей высокой эффективности и без сложных систем преобразования и накопления энергии.

Нетрадиционные возобновляемые источники энергии помогут человечеству решить экологические проблемы, возникающие в связи с использованием углеродосодержащих полезных ископаемых, а также перейти к бережному расходованию запасов природных ископаемых.

Литература

1. В. Германович, А. Турилина Альтернативные источники энергии и электросбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы. – СПб: Наука и Техника, 2014. – 320 с.
2. Водяников В.Т. Экономическая оценка энергетики АПК: Учеб. пособие для студентов ВУЗов/ В.Т. Водяников. - М.: ИКФ "ЭКМОС", 2002. - 384 с.

*А.А. Назаров, к.т.н., ст. пр., В.П. Кавченков, д. т. н., проф.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ И РАНЖИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕЖИМОМ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

В настоящее время электроэнергетические системы (ЭЭС) обладают необходимыми средствами наблюдения и получения достоверной информации о режимах работы сети и состоянии оборудования в реальном времени на основании телеметрической информации от различных компонентов. Разрабатываются и широко используются новые методы оценки параметров режима работы электрической сети и надёжности оборудования, например, определяется индекс его технического состояния (ИТС) и вероятность отключения при постепенных отказах вследствие процессов старения и износа [1]. Также одним из общих методов, используемых для решения данной задачи в технических системах, является метод анализа видов и последствий отказов (Analysis techniques for system reliability — Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA), который позволяет определить влияние отказов на функционирование системы в целом или ее компонентов (процессов) [2]. С его помощью можно идентифицировать тяжесть последствий различных видов потенциальных отказов и обеспечить меры по снижению риска их возникновения. Следует также учитывать разные подходы к независимым и зависимым видам отказов, являющихся следствием последовательности нескольких событий, что характерно для электроэнергетического оборудования ЭЭС.

Алгоритм использования FMEA включает следующие этапы решения задачи: 1) определение системы; 2) определение основных правил и предположений; 3) определение видов отказов; 4) анализ причин и последствий отказов.

Кроме того, для ранжирования последствий отказа по важности («тяжести») необходимо: 1) рассчитать и ранжировать критичности режима отказа; 2) определить наиболее критические элементы; 3) выполнить анализ ремонтно-пригодности; 4) задокументировать результаты анализа и определить области, которые нельзя исправить, определить мероприятия, которые могут снизить риск отказа; 5) выдать рекомендации.

Рассмотрим оценку последствий от аварийного отключения линий электропередачи (ЛЭП) и электрооборудования ЭЭС при управлении режимом работы энергосистемы с точки зрения оперативно-диспетчерского управления. Она гораздо шире и существенно отличается, например, от традиционной методики определения ущерба для потребителей, который в основном связан с экономическими последствиями от недопоставки электроэнергии.

При оперативно-диспетчерском управлении в ведении диспетчерского центра находятся ЛЭП и оборудование подстанций, отключение которых зачастую не приводит к обесточиванию потребителей, но может приводить к ухуд-

шению параметров режима. Это связано с выходом параметров режима из области допустимых значений: к перегрузкам оборудования и контролируемых сечений, превышению максимально допустимых перетоков мощности, к недопустимому снижению (повышению) напряжения, отклонениям частоты и т. д. При этом ухудшаются показатели технико-экономической эффективности функционирования ЭЭС.

На рис.1, в качестве примера, приведен перечень возможных негативных последствий при аварийном отключении k -го элемента для электроэнергетического режима ЭЭС и показателей её технико-экономической эффективности. Указанный перечень имеет свои региональные особенности построения, зависящие от мест размещения генерации, количества внешних и внутренних связей и плотности электрических нагрузок и т.д.



Рис. 1. Перечень возможных негативных последствий при аварийном отключении k -го элемента для электроэнергетического режима ЭЭС.

Негативные последствия режима при отключении ЛЭП (оборудования), наиболее актуальные для региональной (объединенной) энергосистемы, могут быть выбраны службами диспетчерского центра на основе расчета параметров электрического режима при анализе возможных аварийных отключений оборудования в нормальных и ремонтных схемах.

Произведем классификацию «тяжести отказа», которая является оценкой влияния последствий вида отказа на функционирование ЭЭС. Классификация тяжести отказа, зависящая от особенностей применения ФМЕА, разработана с учетом нескольких факторов:

- характеристики выхода параметров электроэнергетического режима за пределы допустимых значений в соответствии с возможными отказами;
- влияния степени выхода параметров режима на технико-экономические показатели энергосистемы;

- приоритетности применения мероприятий по приведению параметров электроэнергетического режима в область допустимых значений;
- законодательных требований к качеству электроэнергии и требований безопасности объектов энергосистем.

Для ранжирования возможных негативных последствий при аварийном отключении k -го элемента для электроэнергетического режима ЭЭС используем тестовую схему ЭЭС IEEE-14 и метод анализа иерархий [3]. В таблице 1 представлена матрица попарных сравнений негативных последствий послеаварийного режима, где a_{ij} – отношение фактора i к фактору j (по девятибалльной шкале), $a_{ji} = 1/a_{ij}$, $a_{ii} = 1$. Попарное сравнение проведено по качественной шкале с последующим преобразованием в баллы.

Если негативные последствия (факторы) послеаварийного режима: равны или неразличимы используем 1; немного лучше (хуже) - 3 (1/3, или 0,33); лучше (хуже) - 5 (1/5, или 0,2); значительно лучше (хуже) - 7 (1/7, или 0,14); принципиально лучше (хуже) - 9 (1/9, или 0,11).

Баллы определены методом экспертного опроса специалистов диспетчерского центра с учетом тяжести негативных последствий послеаварийного режима и приоритетности ликвидации аварии. Тяжесть

Таблица 1 – Матрица попарных сравнений негативных последствий послеаварийного режима ЭЭС

Обозначение негативного последствия послеаварийного режима	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	Средние значения (удельный вес, γ_i) негативных последствий в о.е.
<i>A</i>	1,00	0,17	0,13	0,33	0,11	0,25	0,033
<i>B</i>	6,00	1,00	0,75	0,33	0,67	1,50	0,168
<i>C</i>	8,00	1,33	1,00	2,67	0,89	2,00	0,266
<i>D</i>	3,00	0,50	0,38	1,00	0,33	0,75	0,100
<i>E</i>	9,00	1,50	1,13	3,00	1,00	2,25	0,300
<i>F</i>	4,00	0,67	0,50	1,33	0,44	1,00	0,133
Сумма, <i>S</i>	31,00	5,17	3,88	8,67	3,44	7,75	1

послеаварийного режима при отключении ЛЭП учитывалась степень выхода параметров режима за пределы допустимых значений. Например, «перегрузка в контролируемых сечениях и/или ЛЭП (оборудования) выше аварийно-допустимых величин» может привести к повреждению оборудования и должна ликвидироваться незамедлительно, поэтому экспертами ей присвоен высший балл «9» в сравнение с другими возможными негативными последствиями. При экспертизе также учитывалась приоритетность действий диспетчерского персонала по ликвидации нарушений нормального режима.

В результате расчетов выполнено ранжирование негативных последствий при аварийном заданного k -го элемента для электроэнергетического режима

ЭЭС. Показано, что наиболее существенным негативным последствием аварийного отключения ЛЭП (оборудования) в послеаварийном режиме являются «перегрузка в контролируемых сечениях и/или ЛЭП (оборудования) свыше длительно допустимой кратности». На втором месте по тяжести последствий находится «Снижение напряжения в контрольных пунктах или отдельных частях энергосистемы ниже аварийно-допустимого», которые могут привести к повреждению оборудования или нарушением устойчивой работы двигательной нагрузки.

Использование предложенной методики ранжирования целесообразно при анализе возможных рисков аварийного отключения элементов. При этом приоритетность в ремонте, при прочих равных условиях, должна быть у тех элементов ЭЭС, которые при аварийном отключении создают наибольшие проблемы для ЭЭС в послеаварийном режиме и имеют наихудшее техническое состояние.

Литература

1. Методика оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей. Приказ Минэнерго РФ от 26.07.2017. – М. Минюст РФ. 2017. – 244 с.
2. ГОСТ Р 51901.12-2007. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов. М. Стандартинформ. 2008 – 36 с.
3. Саати, Т., Керис К. Аналитическое планирование. Организация систем. – М. Радио и связь. 1991. – 224 с.

*Р.В. Солопов, к.т.н., доц.; В.О. Захаров, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMINTECH

В электроэнергетике все большее внимание уделяют активно развивающимся направлениям интеллектуализации и цифровизации энергосистем. Цифровые модели объектов электроэнергетики, основанные на анализе большого объема данных, позволяют повысить эффективность технологических и управленческих процессов. Использование цифровых моделей позволяет спланировать режим работы электрической сети и на основании полученной информации и принимать обоснованные оперативные решения.

В данной работе рассмотрен вопрос о создании автоматизированной модели кольцевой сети 110 кВ Смоленского района в российской программе SimInTech. Рассматриваемый участок сети находится между двумя источниками электроэнергии: Смоленская ТЭЦ-2 и ПС 220 кВ Смоленск 1. Данный участок является кольцевым и имеет четыре ответвлений (Южная, Центральная, Восточная, Смоленск-2). Между собой подстанция и электростанция соединены двухцепными линиями 110 кВ, общая протяженностью без учета ответвлений составляет 65,52 км, с учетом ответвлений 78,32 км.

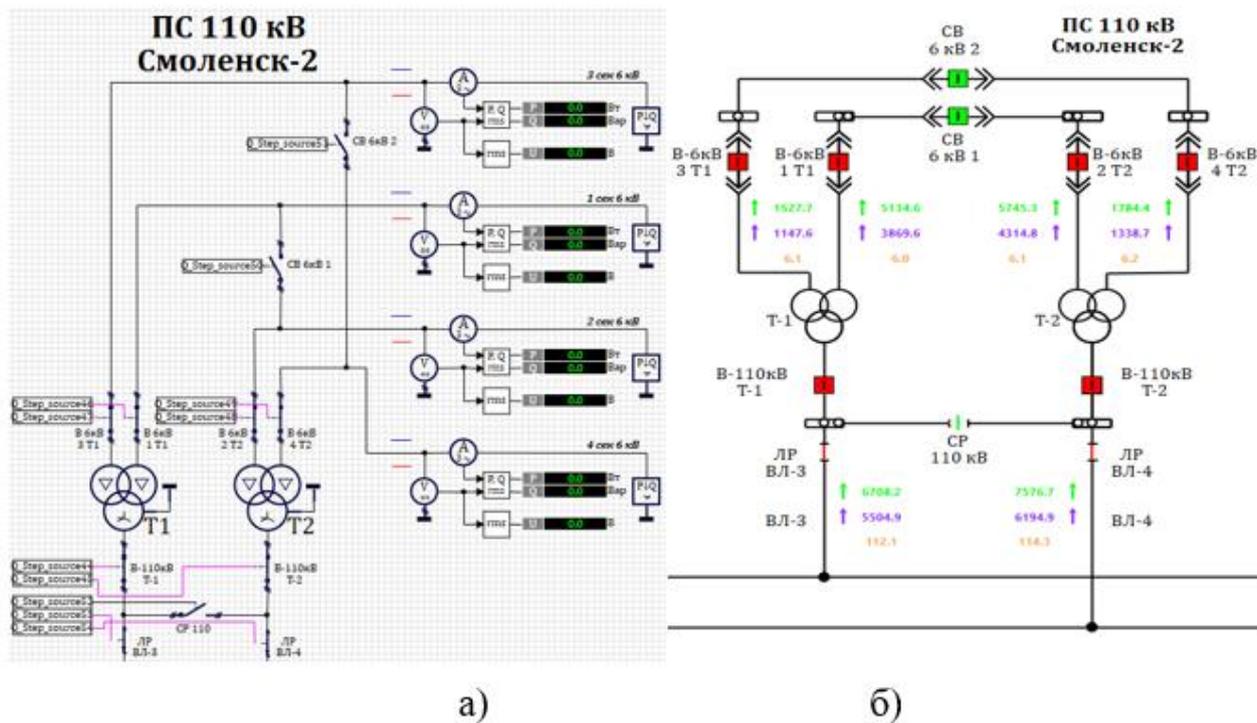


Рисунок 1– Фрагмент модели ПС «Смоленск-2»: а) Модель сети; б) Модель диспетчерского щита

Данная электрическая схема моделируется на базе библиотеки блоков ЭЦ-Динамика (ЭЦД) 2.0. с линиями связи, являющимися активными элементами схемы. Для вывода на экран значений: активной, реактивной мощности, а также напряжение используется блок датчик, который позволяет отображать измеряемые величины. Результат смоделированной фрагмента подстанции показан на рисунке 1 а). Потоки активной мощности P на имитационной модели показан синим указателем, а реактивной мощности Q – красным указателем.

На основании предоставленных исходных данных смоделировано 3 установившихся режима работы рассматриваемой сети: нормальный режим работы осуществляющего питания от обоих источников питания (ПС Смоленск-1 и Смоленская ТЭЦ-2) и два ремонтных режима, заключающиеся в плановом выводе в ремонт некоторой части электрооборудования. С целью проверки достоверности модели, по результатам моделирования режимов была произведена верификация работы модели по алгоритму, представленному на рисунке 2. Реальные показания системы АСКУЭ и с помощью алгоритма сопоставлены с расчетными значениями модели с оценкой погрешности:

$$\varepsilon = \frac{|U_{АСКУЭ} - U_{SimInTech}|}{U_{АСКУЭ}} \cdot 100, \%$$

где: $U_{АСКУЭ}$ – снятое значение напряжение в АСКУЭ, кВ;

$U_{SimInTech}$ – снятое значение напряжение в программе **SimInTech**, кВ.

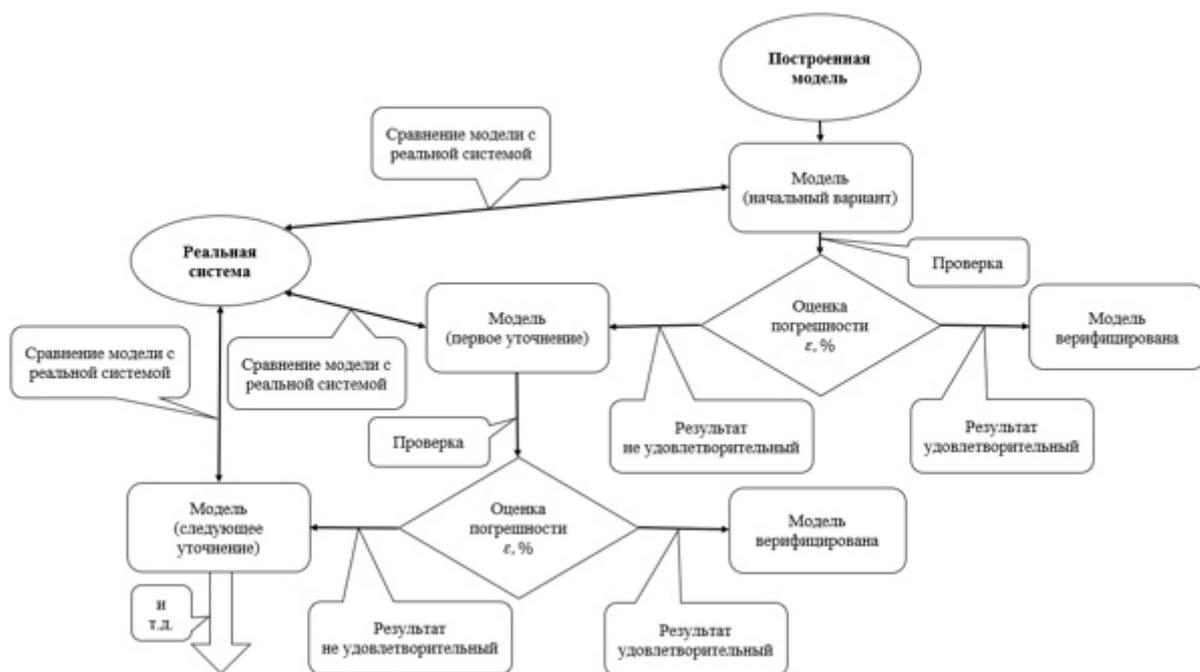


Рисунок 2 – Обобщенная структура процесса верификации.

Результаты верификации по предложенному алгоритму для различных режимов показаны в таблицах 1-3.

Таблица 1 – Результаты верификации для нормального установившегося режима.

Узел	$U_{SimInTech}$, кВ	$U_{АСКУЭ}$, кВ	ϵ , %	Узел	$U_{SimInTech}$, кВ	$U_{АСКУЭ}$, кВ	ϵ , %
1	113,819	114,57	0,655	21	10,569	10,33	2,314
2	113,661	114,03	0,324	22	10,632	10,47	1,547
3	113,661	113,9	0,21	23	6,299	6,17	2,091
4	113,507	113,5	0,006	24	6,333	6,23	1,653
5	113,507	113,7	0,17	17	6,29	6,3	0,159
6	113,716	114,77	0,918	18	6,224	6,3	1,206

Продолжение таблицы 1.

7	113,716	114,83	0,97	27	6,246	6,2	0,742
8	113,709	114,17	0,404	28	6,343	6,23	1,814
9	113,709	114,1	0,343	29	6,265	6,2	1,048
10	114,428	115,33	0,782	30	6,315	6,2	1,855
11	114,419	114,87	0,393	31	6,28	6,2	1,29
12	36,706	36,53	0,482	32	6,124	6,3	2,794
13	36,565	36,17	1,092	33	6,409	6,3	1,73
14	36,919	36,33	1,621	34	6,409	6,3	1,73
15	36,451	37,2	2,013	35	6,243	6,3	0,905
16	36,706	36,53	0,482	36	6,18	6,27	1,435

25	10,566	10,4	1,596	37	6,088	6,2	1,806
26	10,644	10,43	2,052	38	6,029	6,2	2,758
19	10,66	10,3	3,495	39	6,119	6,2	1,306
20	10,35	10,27	0,779	40	6,202	6,27	1,085

Таблица 2 – Результаты верификации для ремонтного режима работы сети I.

Узел	$U_{SimInTech}$, кВ	$U_{АСКУЭ}$, кВ	ϵ , %	Узел	$U_{SimInTech}$, кВ	$U_{АСКУЭ}$, кВ	ϵ , %
1	113,826	114,63	0,701	25	10,519	10,6	0,764
2	113,705	114,53	0,72	26	10,662	10,5	1,543
3	113,705	114,67	0,842	17	5,861	6,3	6,968
4	113,103	113,63	0,464	18	5,892	6,3	6,476
5	113,103	114	0,787	23	6,269	6,27	0,016
6	113,886	114,9	0,883	24	6,3	6,33	0,474
7	113,886	114,9	0,883	27	6,212	6,27	0,925
8	113,733	114,3	0,496	28	6,355	6,27	1,356
9	113,734	114,6	0,756	29	6,236	6,2	0,581
10	114,924	115,67	0,645	30	6,297	6,2	1,565
11	114,925	115,27	0,299	31	6,24	6,2	0,645
12	35,533	36,83	3,522	32	6,172	6,4	3,563
13	35,533	36,77	3,364	33	6,408	6,3	1,714
14	36,74	36,33	1,129	34	6,408	6,3	1,714
15	36,592	37,13	1,449	35	6,264	6,3	0,571
16	35,533	36,83	3,522	36	6,202	6,3	1,556
19	10,657	10,37	2,768	37	6,089	6,2	1,79
20	10,099	10,3	1,951	38	6,018	6,2	2,935
21	10,524	10,5	0,229	39	6,2	6,23	0,482
22	10,586	10,63	0,414	40	6,214	6,3	1,365

Таблица 3 – Результаты верификации для ремонтного режима работы сети II.

Узел	$U_{SimInTech}$, кВ	$U_{АСКУЭ}$, кВ	ϵ , %	Узел	$U_{SimInTech}$, кВ	$U_{АСКУЭ}$, кВ	ϵ , %
1	113,757	114,67	0,796	21	10,58	10,33	2,42
2	113,554	114,4	0,74	22	10,625	10,5	1,19
3	113,553	114,17	0,54	23	6,314	6,17	2,334
4	113,341	113,37	0,026	24	6,326	6,23	1,541
5	113,341	113,53	0,166	17	6,279	6,2	1,274
6	113,535	114,43	0,782	18	6,229	6,3	1,127
7	113,535	114,4	0,756	27	6,257	6,2	0,919
8	113,321	113,83	0,447	28	6,332	6,2	2,129
9	113,341	113,97	0,552	29	6,233	6,2	0,532
10	114,317	114,93	0,533	30	6,286	6,2	1,387

11	114,304	114,53	0,197	31	5,583	6	6,95
12	36,75	36,43	0,878	32	5,582	6	6,967
13	36,56	36,33	0,633	33	6,157	6	2,617
14	33,743	35,4	4,681	34	6,157	6	2,617
15	33,743	35,47	4,869	35	6,157	6	2,617
16	36,75	36,43	0,878	36	6,157	6	2,617
25	10,572	10,4	1,654	37	6,081	6,23	2,392
26	10,628	10,4	2,192	38	6,01	6,2	3,065
19	10,645	10,3	3,35	39	6,086	6,2	1,839
20	10,351	10,3	0,495	40	6,188	6,27	1,308

Для модели разработан интерфейс для автоматизированного управления коммутационными аппаратами с отображением их состояния. Блок управления связан с динамической моделью и виртуальным диспетчерским щитом. Фрагмент блока управления показан на рисунке 3. Как видно блок управления состоит из отдельного окна для каждой подстанции и электростанции, в которой содержится следующая информация: наименование энергетического объекта, состояние коммутационного аппарата (включен или отключен), наименования коммутационного аппарата (выключатель или разъединитель), кнопка для подачи внешнего сигнала на коммутационный аппарат, обозначение под кнопкой, соответствующей отключаемой или включаемой цепи.

Для удобства и визуального отображение состояние коммутационных аппаратов в данной работе смоделирован «Диспетчерский щит», на котором представлена структурная схема динамической модели кольцевой сети с отображением состояния выключателей и разъединителей. Фрагмента смоделированного диспетчерского щита показан на рисунке 1 б) и содержится следующая информация: наименования энергетического объекта, состояния коммутационного аппарата, наименования коммутационного аппарата (выключатель или разъединитель).

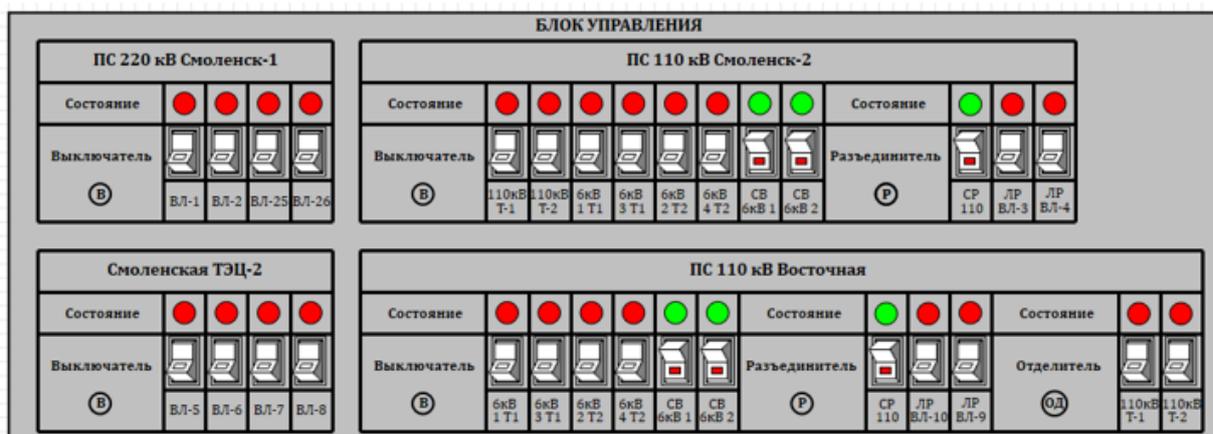


Рисунок 3 – Модель блока управления в программе SimInTech.

В данной статье рассмотрен процесс создания динамической модели кольцевой сети 110 кВ в программном комплексе SimInTech, показана принципиальная возможность использования полученной модели для анализа статических и динамических режимов работы электрической сети. Погрешность моделирования в нормальном режиме не превышает 3,4%, а в аварийных 6,9%. Система автоматического управления, позволяет осуществлять оперативные переключения в схеме и в реальном расчетном времени отображать информацию на диспетчерском щите, связанным с моделью. Таким образом разработанная модель может использоваться для анализа режимов рассмотренной сети с высокой точностью расчета параметров.

Литература

- 1) Идельчик И.В. Расчеты установившихся режимов электрических систем / В.И. Идельчик. – М.: Энергия, 1977. – 192 с.
- 2) Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем: учебник для вузов / В.П. Тарасик. – Мн.: ДизайнПРО, 1997. – 640 с.
- 3) Справочная система SimInTech [Электронный ресурс]. URL: https://help.simintech.ru/#1_spravocnaya_sistema_i_ee_nastrojka/DIR_spravocnaya_sistema_i_ee_nastrojka.html (дата обращения: 26.09.2023).
- 4) Кузнецов И.С. Проведение валидации и верификации на примере имитационной модели телефонной станции [Электронный ресурс]. URL: <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2021/RM21/pages/Articles/031605.pdf> (дата обращения: 26.09.2023).

*Р.В. Солопов, к.т.н, доцент; В.П. Кавченков, д.т.н., проф.
И.Н. Соколов, асп. (филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СТАНДАРТОВ ВИБРАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Одним из наиболее актуальных аспектов функционирования любого предприятия является поддержание парка используемого оборудования в рабочем состоянии и своевременное, превентивное, выявление дефектов до окончательного выхода оборудования из строя. Особенно это относится к предприятиям электроэнергетики, от работы которых зависит функционирование всех остальных систем современного социума. Одним из методов превентивного обнаружения дефектов является проведение вибродиагностического обследования, которое позволяет выявить дефекты, например дисбаланс, различные дефекты и износ подшипников, дефекты крепления (механические ослабления, разболтанность креплений), несоосность механических соединений, дефекты зубчатых передач, дефекты электродвигателей, проблемы, вызванные повышенным трением, на самых ранних стадиях их развития.

Как и любая другая технически сложная область, вибрационная диагностика регламентируется рядом стандартов, как отечественных, так и зарубежных. При этом отечественные стандарты по большей части являются переводными со стандартов ISO и IEC.

Одним из наиболее важных стандартов области является ГОСТ Р ИСО 20816-1-2021. Вибрация. ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ И ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН. Часть 1. Общее руководство (ISO 20816-1:2016, IDT) [1].

Основные положения ГОСТ Р ИСО 20816-1-2021 составлены исходя из того, что вибрационный мониторинг производится непрерывно, начиная от ввода оборудования в эксплуатацию. Стандарт выделяет 4 зоны состояния оборудования:

- Зона А — соответствует новому оборудованию, введенному в эксплуатацию относительно недавно;
- Зона В — соответствует оборудованию, которое считается пригодным для эксплуатации без ограничения сроков, ремонт или диагностика такого оборудования не считаются необходимыми;
- Зона С — соответствует оборудованию, которое является непригодным для длительной работы, так как велика вероятность выхода его из строя. Однако такое оборудование может эксплуатироваться непродолжительное время, пока не будет найдена возможность ремонта;
- Зона D — соответствует оборудованию, которое должно быть остановлено незамедлительно, так как текущий уровень вибрации может вызвать серьезные повреждения.

ГОСТ Р ИСО 20816-1-2021 требует, чтобы в случае перехода оборудования из зон А и В в зону С проводился дополнительный анализ (например, спектральный анализ для выявления дисбаланса, смещения, нестабильности масла и т. д., анализ орбиты вала, анализ смещения осевой линии вала, проверка температуры подшипников, визуальный осмотр и т. д.).

При переходе из зоны С в зону D стандарт требует либо отключения оборудования, либо снижения нагрузки, при этом обязательна полная проверка оборудования (визуальный осмотр, затяжка всех монтажных болтов, оценка напряжений, проведения при необходимости модального анализа, неразрушающего контроля и т. д.).

Рассматриваемый стандарт дает лишь основные рекомендации для разработки процедур и руководящих документов по измерению вибрации механизмов и оценке их состояния. Критерии оценки состояния агрегатов конкретных типов устанавливаются в отдельных стандартах, определенным образом являющихся продолжением ГОСТ Р ИСО 20816-1-2021. Например, ISO 20816-5:2018 определяет критерии для оборудования гидроэлектростанций [2]. ГОСТ Р ИСО 20816-2-2022 Вибрация. ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ И ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН. Часть 2. Стационарные газовые турбины, паровые турбины и генераторы с гидравлическими подшипниками мощностью свыше 40 МВт и частотами вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин⁻¹ (ISO 20816-2:2017, IDT) — определяет значения границ зон вибрационного состояния для среднеквадратичного значения виброскорости, измеренной на корпусах или опорах подшипников паровых турбин или генераторов [3].

Необходимо отметить, что стандарты на нормы вибрации разделяют оборудование не только по типу и сфере применения, но также и по размерам, массе и мощности машин. Последний критерий считается весьма критичным, так как для машин разной мощности критерии вибрационного состояния регламентируются разными ГОСТ.

В общем случае структура стандартов, устанавливающих требования по вибрации к конкретному виду оборудования одинакова и может быть рассмотрена на примере ГОСТ Р ИСО 20816-2-2022. Стандарт содержит пять глав, первые три из которых определяют область применения документа, а также содержат некоторую общую информацию. Наибольший интерес представляют четвертая и пятая главы стандарта.

В четвертой главе даются рекомендации по способам измерения вибрации с учетом различных факторов, которые могут повлиять на точность измерений. К ним относятся такие факторы, как:

- a. изменение температуры;
- b. электромагнитные поля;
- c. акустический шум и посторонняя вибрация, например от соседних машин;
- d. изменения питания преобразователей;
- e. импеданс и длина соединительных кабелей;
- f. частотный диапазон измерения вибрации (от 10 Гц до как минимум 500 Гц, предпочтительно 1000 Гц);
- g. места установки датчиков (акселерометров или датчиков виброперемещения/виброскорости) и т.д..

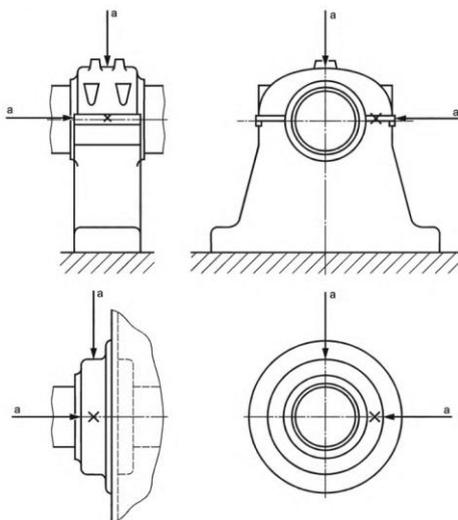


Рисунок 1 – рекомендованные места установки датчиков на крышках или корпусах опорных подшипников согласно ГОСТ Р ИСО 20816-2-2022

Пример рекомендованных мест установки показан на рис.1. В пятой главе стандарта приводятся критерии оценки вибрационного состояния механизма. ГОСТ выделяет два критерия: один критерий (критерий I) применяют для абсолютного значения контролируемого параметра вибрации в широкой полосе

частот, другой (критерий II) — для изменений этого значения (безотносительно к направлению этих изменений — в большую или меньшую сторону).

Первый из упомянутых критериев устанавливает значения вибрации, которые можно считать приемлемыми с точки зрения динамических нагрузок на подшипники, радиальные зазоры в подшипниках и вибрации, передаваемой машиной на опорную конструкцию и фундамент. Именно по этому критерию выделяют зоны А, В, С и D. Например, в Приложении А ГОСТ Р ИСО 20816-2-2022 определены границы зон, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 — Границы зон вибрационного состояния, выраженные через СКЗ скорости вибрации на корпусах и опорах подшипников

Вид машины	Номинальная частота вращения вала, мин ⁻¹	Среднеквадратичное значение скорости вибрации корпусов и стоек подшипника на границах зон вибрационного состояния, мм/с		
		A/B	B/C	C/D
Паровая турбина или генератор	1500 или 1800	2,8	5,3	8,5
	3000 или 3600	3,8	7,5	11,8
Газовая турбина	3000 или 3600	4,5	9,3	14,7

Критерий II предполагает сравнение текущего уровня контролируемого параметра вибрации с некоторым опорным значением, соответствующим конкретному режиму работы. Это опорное значение может быть взято из нормативной документации производителя оборудования или являться средним значением, вычисленным за значительный промежуток времени. Значительное изменение вибрации от некоторого установившегося значения — вне зависимости от того, было ли отклонение в большую или меньшую сторону, может свидетельствовать о механических повреждениях и других неполадках. Можно утверждать, что согласно рассматриваемому стандарту критерий II предполагает контроль оборудования функционирующего без значительных изменений рабочих параметров, таких как мощность. В приложениях ГОСТ приведены значения критериев для различных случаев.

К недостаткам рассматриваемых стандартов можно отнести использование исключительно обобщенных значений вибрации — среднеквадратических значений виброскорости в полосе частот или же размаха виброперемещения. Данные параметры позволяют оценить состояние оборудования, но не позволяют определить конкретный дефект, что вынуждает проводить дополнительное обследование при переходе машины в зону С или D. Более того, несмотря на то, что подобное обследование предусмотрено при переходе в зону С, стандарт не содержит подробного описания диагностических инструментов, которые должны быть использованы при проведении подробного обследования.

Таким образом, можно сделать вывод, что в настоящее время имеется серия стандартов, описывающих как общие принципы вибрационного мониторинга и диагностики, так и дающих конкретные рекомендации по проведению данных процедур для конкретных типов машин и механизмов. Стандарты содержат также критерии оценки состояния оборудования. В качестве критериев

выдвигается как сравнение значений вибрации с некоторым пределом, так сравнение относительных изменений вибрации с заданным пределом.

Проведенный анализ нормативной документации в области вибрационного мониторинга и диагностики показывает необходимость проведения дополнительных исследований и разработки дополнительных методов для получения информации о неисправности исследуемого объекта.

Для расширения информативности вибрационной диагностики и вибрационного мониторинга в дополнение к методам, описанным в ГОСТ, целесообразно использовать:

- методы спектрального анализа вибрации, позволяющие определить тип механической неисправности;
- различные методы определения остаточного ресурса оборудования, например анализ трендов с помощью линейной или параметрической аппроксимации.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 20816-1-2021. Вибрация. ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ И ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН. Часть 1. Общее руководство (ISO 20816-1:2016, IDT). М.:Российский институт стандартизации, 2022.
2. ISO 20816-5:2018 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pump-storage plants. Geneva:ISO,2018
3. ГОСТ Р ИСО 20816-2—2022 Вибрация ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ И ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН Часть 2 Стационарные газовые турбины, паровые турбины и генераторы с гидравлическими подшипниками мощностью свыше 40 МВт и частотами вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 мин⁻¹ (ISO 20816-2:2017, IDT). М.:Российский институт стандартизации, 2022.

*С.А. Шунаев, ст. пр.; Д.А. Иванов, маг.; С.Е. Алексеев, асп.; К.Ю. Лебедев, асп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ НЕЯВНОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ТВЁРДОЙ ИЗОЛЯЦИИ

В настоящее время всеобщая цифровизация энергетики является одним из главных направлений развития отрасли. Применение систем непрерывного контроля является необходимым условием для обеспечения безопасности и эффективности работы энергетических объектов. В свете увеличивающихся рисков техногенных катастроф и угроз кибербезопасности, важность таких систем только усиливается. Преимущества применения систем непрерывного контроля включают повышение надежности и эффективности работы энергетических объектов, снижение рисков аварийных ситуаций, оптимизацию процессов управления и экономическую выгоду. В связи с этим, исследование данной темы имеет большую актуальность для научного сообщества и практических работников в области энергетики.

Проанализировав деятельность организаций электроэнергетики, было выявлено, что в данной отрасли методы интеллектуального анализа данных (ИАД) реализованы не в полной мере. Следовательно, необходимо доработать имеющиеся способы, например, применить нечеткую экспертную систему, что позволит улучшить проводимые работы по диагностике изоляции высоковольтного ввода. Внедрение и доработка данных способов под

особенности электроэнергетики позволит организациям данной сферы осуществлять бесперебойную доставку энергии до потребителей, а также своевременный ремонт оборудования.

Система нечеткого вывода представляет собой процесс получения нечетких заключений о правильном управлении объектом на основе нечетких условий, которые содержат информацию о текущем состоянии объекта. В этот процесс входят все основные концепции теории нечетких множеств, включая лингвистические переменные, функции принадлежности, методы нечеткой импликации и другие.

Разработка и использование таких систем включает в себя несколько этапов: создание базы правил, фаззификация, агрегирование подусловий, активация подзаключений и дефаззификация. Эти шаги позволяют повысить эффективность системы и получить более точные результаты.

Существует большое количество инструментов для разработки программных продуктов, которые позволяют проводить интеллектуальный анализ данных. Среди них можно выделить R-программирование и MatLab. Однако, был выбран MatLab, так как его современные версии обладают мощными средствами, включая возможность визуализации (начиная с версии 2018 года). Для решения проблемы покупки лицензионной версии MatLab можно воспользоваться пробной версией, доступной на официальном сайте разработчиков, а также использовать онлайн-примеры.

В качестве предмета исследования было выбрано применение НЭС для диагностики состояния твердой изоляции высоковольтного ввода трансформатора. Проведение этой диагностики подразумевает оценку функционирования диагностируемого оборудования путем замера и расчета его показателей. Основными и наиболее важными показателями для оценки состояния являются емкость C и тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$.

По полученным значениям этих показателей определяется их бальная оценка в соответствии с приложением №2 Приказа Министерства энергетики РФ от 26 июля 2017 года N 676 «Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей» [1]. Далее вычисляется индекс техсостояния оборудования (ИТС):

$$\text{ИТС} = \sum(\text{КВУ}_i \times \text{ИТСУ}_i), \quad (1)$$

где КВУ_i - значение весового коэффициента для i -го функционального узла или обобщенного узла; ИТСУ_i – индекс техсостояния i -го функционального узла или обобщенного узла.

После чего по полученному значению ИТС из таблицы 1 берутся данные, на основании которых формируется вывод по результатам проведенной диагностики высоковольтного ввода, который включает в себя состояние, цветовой индикатор и рекомендации.

Таблица 1 – Диапазоны ИТС и их интерпретация

Диапазон индекса техсостояния	Вид техсостояния	Визуализация (цвет)	Вид технического воздействия
$85 < \text{и} \leq 100$	Очень хорошее	Темно-зеленый	Плановое диагностирование
$70 < \text{и} \leq 85$	Хорошее	Зеленый	По результатам планового диагностирования
$50 < \text{и} \leq 70$	Удовлетворительное	Желтый	Капитальный ремонт, реконструкция, усиленный контроль техсостояния
$25 < \text{и} \leq 50$	Неудовлетворительное	Оранжевый	Техническое перевооружение, усиленный контроль техсостояния, дополнительное техническое обслуживание и ремонт
≤ 25	Аварийное	Красный	Вывод из эксплуатации, реконструкция и техническое перевооружение

Рассмотренный выше метод проведения диагностики высоковольтного ввода лучше использовать в виде нечеткой экспертной системы (НЭС), которая будет сама определять вид технического состояния оборудования, визуализацию и вид технического воздействия в зависимости от вводимых показателей. Для реализации данной методики была разработана схема НЭС, которая выглядит следующим образом (рисунок 1). На данном рисунке БНВ – блок нечеткого вывода.

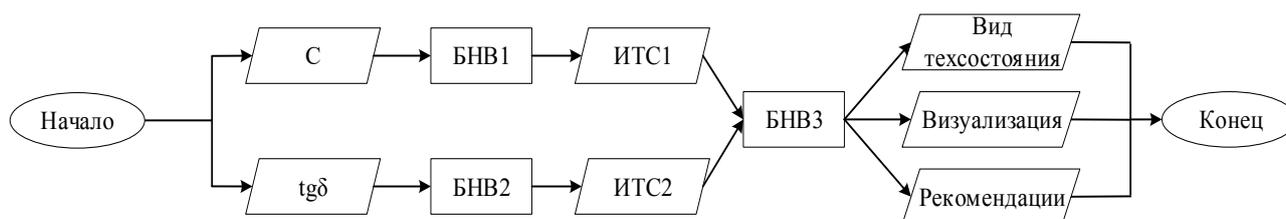


Рисунок 1 – Схема нечеткой экспертной системы

Приведем описание принципа работы предлагаемой нечеткой экспертной системы на примере БНВ3. Данный блок осуществляет оценку технического состояния оборудования на основе получаемых параметров из БНВ1 (Балл1) и БНВ2 (Балл2), которые лежат в диапазоне от 0 до 4 баллов.

Для лингвистической оценки переменной «Балл1» в диапазоне от 0 до 4 будем применять пять термов: очень плохое, плохое, среднее, хорошее, отличное. Аналогично задана входная переменная «Балл2». В системах, которые мы рассматриваем, в качестве входных данных используются лингвистические переменные, которые могут принимать как числовые значения, так и словесные значения, которые представляют неформальную оценку количества или интенсивности [2].

На основе этого были разработаны правила для корректной работы нашей НЭС. Для формального представления эмпирических знаний специалистов в форме нечетких продукционных правил необходима база правил систем нечеткого вывода [3].

Реализация разработанной логики НЭС в программной среде позволит оценить состояние высоковольтного ввода на основе замеряемых показателей. Таким образом, используя указанный метод интеллектуального анализа данных для проведения диагностики высоковольтного ввода силового трансформатора и представленную схему НЭС, можно значительно повысить качество проводимой диагностики, что позволит увеличить время работоспособности диагностируемого ввода, а также будет обеспечиваться своевременность ремонта данного оборудования.

Литература

1. Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей (с изменениями на 17 марта 2020 года) [Электронный ресурс] : Приказ Минэнерго РФ от 26 июля 2017 года №676. Доступ из справ. - правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Astachova I. F., Kiseleva E. I. Using fuzzy logic methods for predicting difficulties of the hybrid learning system users // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019. №8. 586-589 pp.
3. Sujamol S., Sreeja Ashok, U Krishna Kumar. Fuzzy based machine learning: a promising approach. // CSI Communications. 2017. №41. 21-24 pp.

СЕКЦИЯ 2 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

*Д.И. Баловнев к.т.н, доц., В.С. Фролов маг., Е.С. Арчакова маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ НА ВИХРЕВЫЕ ТОКИ В МАГНИТЕ И ЭФФЕКТ РАЗМАГНИЧИВАНИЯ

В настоящее время применение синхронных генераторов с постоянными магнитами очень актуально, так как они обладают важными преимуществами в производстве электроэнергии. Такие генераторы имеют более высокий КПД, который может достигать 98%, не требуется схема возбуждения, более надежны в работе и менее чувствительны к действию реакции якоря.

Синхронный генератор с постоянными магнитами – это генератор, в котором используются постоянные магниты в качестве источника магнитного поля.

Применение электрических машин с постоянными магнитами может быть разнообразным. Они также могут использоваться для обеспечения резервного источника электропитания. Благодаря низкому уровню шума и вибрации синхронные генераторы с постоянными магнитами используются в различных медицинских устройствах, где высокий уровень шума может негативно повлиять на работу медицинского оборудования.

Применяются также в электромобилях, так как обладают большим крутящим, особенно по сравнению с асинхронными двигателями, а отсутствие скользящих контактов значительно повышает надёжность. Также применяются в морской технике, такой как подводные лодки, надводные суда и плавучие платформы, для генерации электрической энергии. В автономных системах, таких как датчики, маяки, телекоммуникационное оборудование и другие автономные устройства, где требуется надежная и эффективная генерация электрической энергии.

Таким образом, синхронные генераторы с постоянными магнитами актуальны и нашли широкое применение в различных областях, где требуется высокая надежность, компактность и эффективность.

В данной статье исследовался синхронный трёхфазный генератор, данные которого представлены в таблице 1 с постоянными магнитами, характеристики которых представлены в таблице 2. Как говорилось выше, данный тип генератора имеет преимущества перед генераторами с обмоткой возбуждения. Данный генератор применяется для ветрогенераторов, но принцип расчёта и оптимизации справедлив и для других областей применения.

Проектирование данного типа генератора по обычной методике [1] достаточно трудоёмкое и сложно учесть эффекты вихревых токов и размагничивания магнитов.

Таблица 1 – Данные синхронного генератора с постоянными магнитами

Параметр генератора	Значение	Единица измерения
Внешний диаметр статора	510	мм
Внутренний диаметр статора	380	мм
Длина	60	мм
Коэффициент заполнения паза	0.95	–
Тип стали	DW310_35	–
Число полюсов	34	шт
Тип ротора	Внешний	–
Механические потери	12	Вт
Число проводников в пазу	24	шт
Мощность электрическая	3000	ВА
Номинальное линейное напряжение	220	В
Номинальная частота вращения	250	об/мин
Рабочая температура	75	С

Мощные магниты из редкоземельных материалов, имеют высокую стоимость, сложны в производстве и не могут быть изготовлены как сталь магнитопроводов из шихтовки, поэтому в них возникают вихревые токи. Так же магнитное поле таких магнитов подвергается воздействию размагничивающего поля созданного обмотками статора [2]. И при определённом значении размагничивающего поля собственное поле магнита может быть ослаблено и больше не восстановится, до исходного значения даже при отсутствии внешнего поля. Ещё постоянные магниты очень чувствительны к высоким температурам. Таким образом, все эти факторы при проектировании электрических машин с ПМ необходимо учитывать. Для исследования вихревых токов в выбранном генераторе, был выбран программный комплекс Ansys, так методика, заложенная в данном программном комплексе, позволяет учесть эффект появления вихревых токов. Для оптимизации данного генератора было рассчитано несколько вариантов с разными размерами магнитов, представленных в таблице 3.

Таблица 2 – Характеристики магнитов синхронного генератора

Характеристика магнита	Значение	Единица измерения
Тангенциальный коэффициент заполнения магнитом ротора	0.9	–
Материал магнита	XG196/96	–
Толщина магнита	10	мм
Проводимость	650000	сименс/м

Важными показателями являются значения вихревых токов в магните и ток в обмотке статора, так как эти токи вызывают нагрев магнитов, а также значение напряжённости магнитного поля, так как приложенное противоположное поле со стороны обмотки статора размагничивает магниты и при достижении порогового значения магнит частично размагнитится и потеряет свои магнитные свойства.

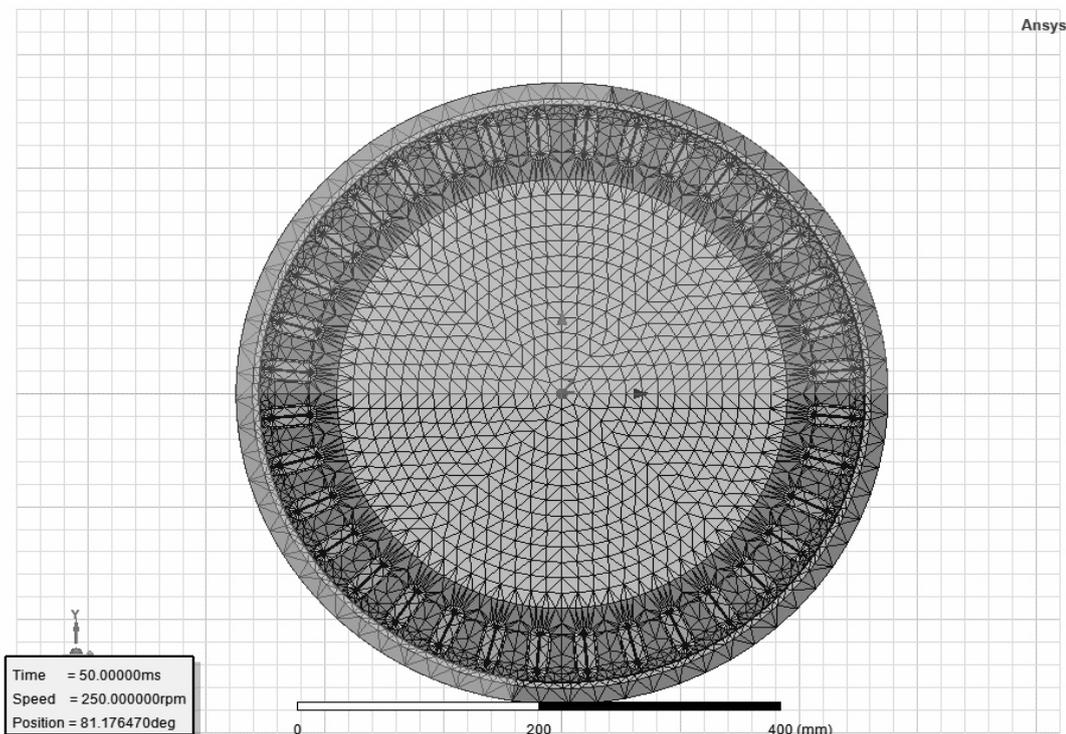


Рисунок 1–Сетка конечных элементов для исследуемой модели синхронного генератора

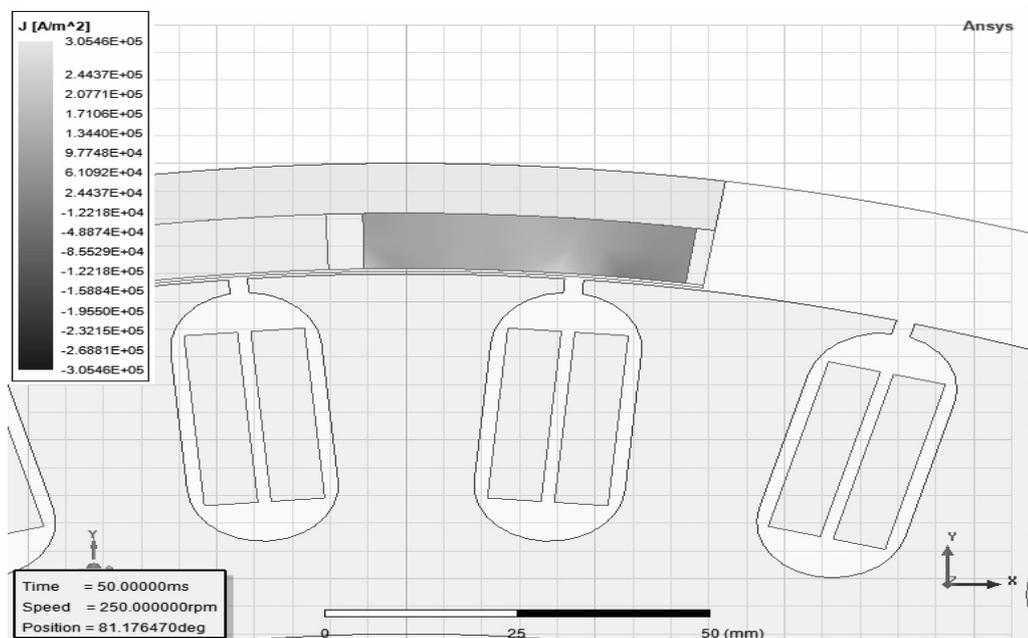


Рисунок 2 – Распределение плотности вихревых токов для магнита

Таблица 3 – Параметры генератора в зависимости от тангенциального размера магнита

Размер магнита	Максимальный вихревой ток в магните, А/м ²	Фазное напряжение, В	Активное сопротивление фазы нагрузки, Ом	Ток фазы, А	Пиковая напряжённость в магните Н, А/м
0,9	3,05	38,41	1,466	25,96	3,13
0,8	2,9774	38,09	1,442	26,28	2,81
0,7	2,9354	36,57	1,34	27,27	3,06
0,6	3,042	33,77	1,14	29,57	2,22
0,55	3,5542	31,85	1	31,63	2,52
0,5	4,0997	29,7	0,87	33,6	2,76

Таблица 4 – Параметры генератора в зависимости от радиального размера магнита

Высота магнита	Максимальный вихревой ток в магните, А/м ²	Фазное напряжение, В	Активное сопротивление фазы нагрузки, Ом	Ток фазы, А	Пиковая напряжённость в магните Н, А/м
10	2,9354	36,57	1,34	27,27	2,52
5	4,445	33,66	1,157	29,06	3,977

Данные снимались таким образом, что мощность и частота вращения оставались неизменными. Размер магнита по таблице 3 в тангенциальном направлении задавался с помощью коэффициента, который показывает, насколько заполнен ротор магнитами. При 1 весь статор состоит из магнитов и между ними отсутствует зазор, при 0 магниты отсутствуют.

По исследованным характеристикам можно сказать следующее: при уменьшении тангенциального размера магнита с 0,9 до 0,7 снижает значения вихревых токов в самом магните, незначительно увеличивается ток статора, а также незначительно снижается напряжённость поля. Из этого можно сделать вывод, что данный вариант является оптимальным, так как для производства генератора потребуется использование меньшего количества редкоземельных элементов при схожих характеристиках. Остальные варианты имеют либо большую стоимость производства, либо большие значения вихревых токов и токов статора, а также меньшую напряжённость поля, что может привести к безвозвратной потере свойств магнита.

Литература

1. Копылов, И. П. Проектирование электрических машин : учебник для бакалавров /— 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 767 с.
2. В. А. Балагуров, Ф. Ф. Галтеев. Электрические генераторы с постоянными магнитами. — М: Энергоатомиздат, 1988. — 220 с.: ил. ISBN 5-283-00556-9.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАСТРОЕК СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА

В современном мире очевиден упор на переход к цифровым технологиям. Во многих системах реализована возможность дистанционного управления и обмена данными. Однако, помимо перспектив, цифровизация представляет высокий уровень рисков, поскольку сфера находится на пике технологий и постоянно развивается.

Прогресс не стоит на месте, каждый год появляется большое число нововведений, вызванных внедрением микропроцессоров в системы безопасности, автоматизации и управления подстанций [1]. Следовательно, вопрос защиты установок от повреждений по-прежнему остается актуальным и требует новых решений.

Для быстрого определения и отключения поврежденных участков электроустановки применяется релейная защита и автоматика (РЗА). Она осуществляет постоянный контроль определенного участка. Для индикации срабатывания определенной защиты служит реле.

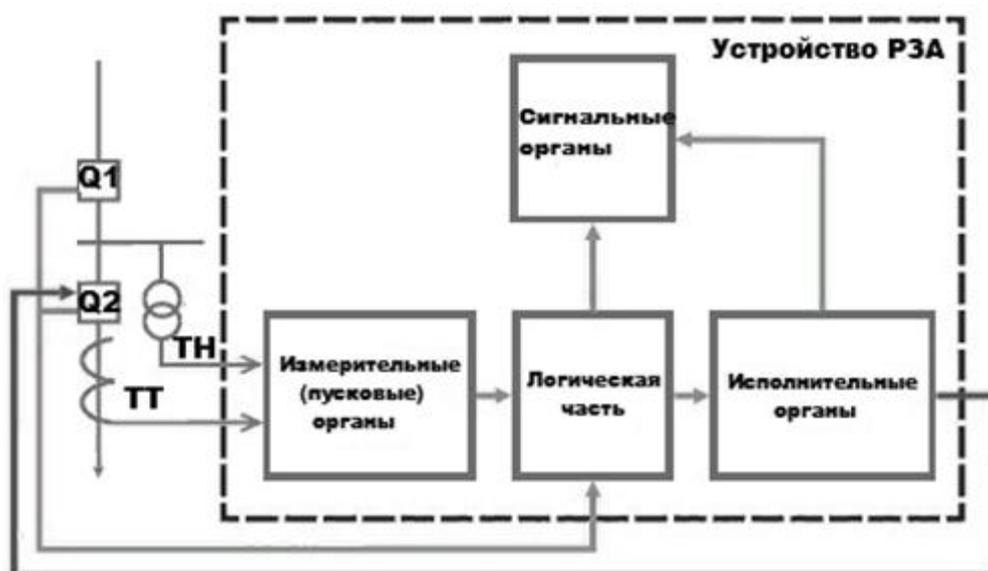


Рисунок 1 – Схема работы РЗА

Существует и такой вид защиты, как защита на микроконтроллерах. Такие устройства в настоящее время являются следующим этапом в развитии защит и позволяют реализовать в одном устройстве дополнительные функции и режимы [2]. Однако, у подобных приборов есть существенный недостаток: даже при сравнительно небольших неисправностях терминал требует полной замены. Также его отличает более высокая стоимость.

Для работы с установкой персонал должен уточнить настройки системы защиты. Это можно сделать следующим образом: провести измерения на ре-

альном оборудовании. При этом может получиться, что устройство войдет в режим короткого замыкания, которое является опасным для трансформатора, что приведет к дальнейшей аварии.

Другой способ – расчетный. Его можно осуществить с помощью математических моделей.

Математическая модель – приближенное отображение какого-либо класса явлений реального мира, выполненное средствами математической символики.

Рассмотрим математическую модель трехфазного трансформатора в режиме короткого замыкания. Модель выполнена в пакете Maple.

Maple – программный пакет, система компьютерной математики. Система Maple подходит для символьных вычислений, хотя имеет ряд средств и для численного решения дифференциальных уравнений и нахождения интегралов. Имеет развитые теоретически механические средства и собственный интерпретируемый язык программирования.

```

> ode1:=diff(psiS(t),t)-I*exp(I*t)-r[S]/sigma/x[S]*psiS(t)+(1-sigma)*r[S]/
sigma/x[m]*psiR(t);# Первичная обмотка
>ode2:=diff(psiR(t),t)-(r[r]+r[n])/sigma/x[r]*psiR(t)+(1-sigma)*(r[r]+r[n])/
sigma/x[m]*psiS(t);# Вторичная обмотка
> u[r]:=r[n]*i[r];# Вторичное напряжение
> i[S]:=-1/sigma/x[S]*psiS-(1-sigma)*1/sigma/x[m]*psiR;# Первичный ток
> i[r]:=-1/sigma/x[r]*psiR-(1-sigma)*1/sigma/x[m]*psiS;# Вторичный ток
ПАРАМЕТРЫ ТРАНСФОРМАТОРА И НАГРУЗКИ
>r[S]:=0.012;r[r]:=0.012;x[m]:=33.5;x[S]:=33.725;x[r]:=33.725;sigma:=1-
x[m]^2/x[S]/x[r];# Задаём параметры трансформатора и нагрузки в
относительных единицах
>r[n]:=piecewise(t>=0 and t<=12,1,t>=12 and t<=150,0,1);plot(r[n],t=0..170,
y=0..1.2,color=black,thickness=0,axes=frame,axesfont=[COURIER,BOLD,10,
labels=["", ""]);
РЕШЕНИЕ
> Ins:=psiS(0)=0,psiR(0)=0:#Задаём начальные условия (до подключения
>plot([abs(i[r](t))],t=0..200, color=[black],thickness=[1,2]);# МОДУЛЬ ВТО-
РИЧНОГО ТОКА. Строим график модуля тока.
Напряжения
> u[S]:=I*exp(t*I);# Вектор первичного напряжения
>u[r]:=-r[n]*i[r];# Вектор вторичного напряжения
>plot([abs(u[r](t))],t=0..170, color=[black],thickness=[1,1]);#МОДУЛЬ НА-
ПРЯЖЕНИЯ. Строим график модуля напряжения.

```

Рисунок 2 – Текст математической модели

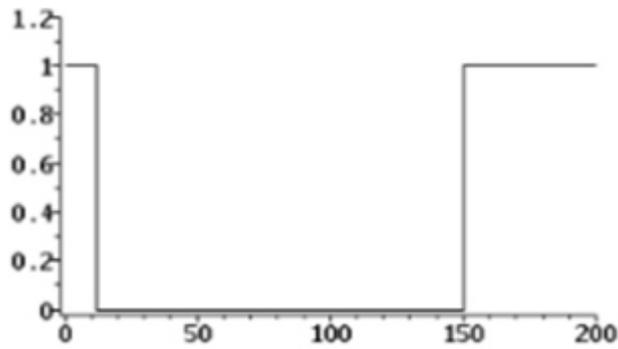


Рисунок 3 – График сопротивления нагрузки

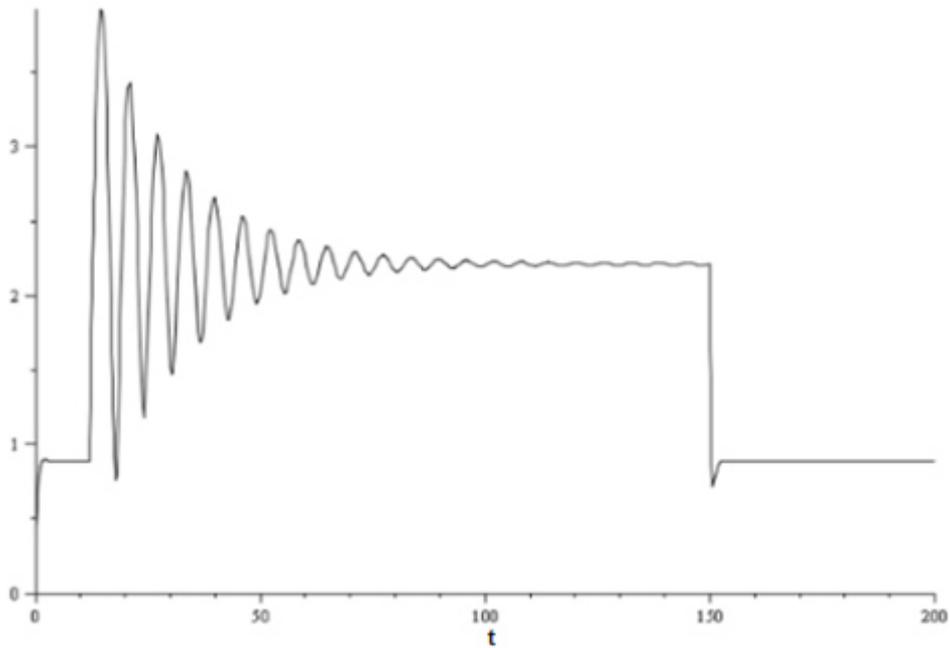


Рисунок 4 – График тока

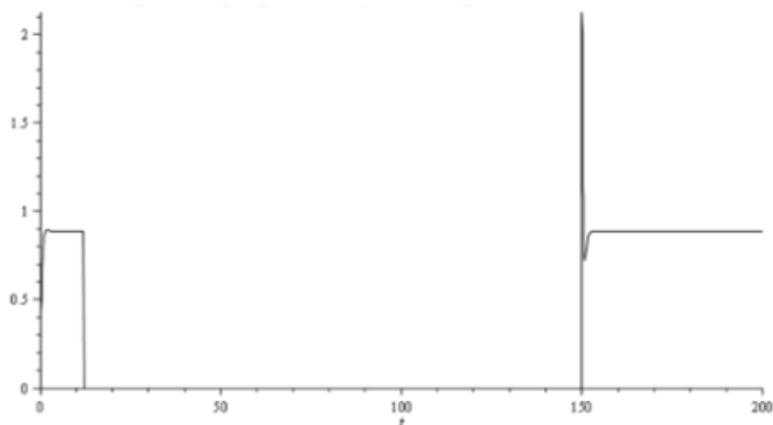


Рисунок 5 – График напряжения

Была создана математическая модель трансформатора, рассчитан режим короткого замыкания, по результатам математической модели получены установившиеся значения для режима короткого замыкания ($R_n=0$): $I_k=2,2$ А; $U_k=0,9$

В. Результаты могут быть использованы в дальнейших исследованиях, в том числе в магистерской диссертации.

Удобство математической модели – не прибегая к реальным экспериментам можно изменять различные параметры устройства, даже перегружая его и выдерживать длительное время некоторые процессы, что нельзя сделать в реальности.

Литература

1. Курилин С.П., Заводянская Е.А. Математическое моделирование электроме-ханических систем: лабораторный практикум: учебное пособие – Смоленск: 2019.-70с.

2. И. П. Копылов. Проектирование электрических машин: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. - 828 с.

*Д.И. Баловнев к.т.н, доц.; Е.С. Арчакова маг., В.С. Фролов маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ПРОГРАММЕ ANSYS

Электродвигатели переменного тока делятся на асинхронные и синхронные. Важное значение для таких двигателей имеют их пусковые свойства. Улучшение пусковых параметров электродвигателей в настоящее время является актуальной задачей, так как пуск двигателя является начальным этапом его работы.

Пусковые параметры синхронных двигателей является важным этапом при выборе и эксплуатации данного типа электрических машин. Они позволяют определить возможности и ограничения синхронного двигателя в конкретных условиях эксплуатации и выбрать наиболее подходящий синхронный двигатель для решения определенной задачи, наиболее подходящий для достижения максимальной производительности и долговечности оборудования.

Для исследования пусковых параметров был выбран синхронный двигатель типа СД2–85/29–12У3. Для пусковой обмотки были выбраны 7 круглых медных стержней. При проектировании двигателя классическим методом проведенный расчет пусковых характеристик показал, что в этом случае получается низкий пусковой момент ($M_{п*} = 0,63$) [1].

С целью улучшения пусковых параметров будем изменять активное сопротивление в пусковой обмотке. Рассмотрим, как изменяется момент и ток при замене медных стержней на латунные, данные расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Пусковые параметры СД при замене числа стержней

Число замененных стержней, N_c	$M_{п}, (s = 1)$ о.е	$M_{вх}, (s = 0.05)$ о.е	$I_{п}, (s = 1)$ о.е
7 медных	0,63	0,801	4,15
1 латунь, 6 медь	0,688	0,738	4,14
2 латунь, 5 медь	0,744	0,667	4,12
3 латунь, 4 медь	0,819	0,6	4,09
4 латунь, 3 медь	0,914	0,522	4,05

5 латунь, 2 медь	1,04	0,441	3,97
6 латунь, 1 медь	1,2	0,351	3,86
7 латунных	1,38	0,254	3,61

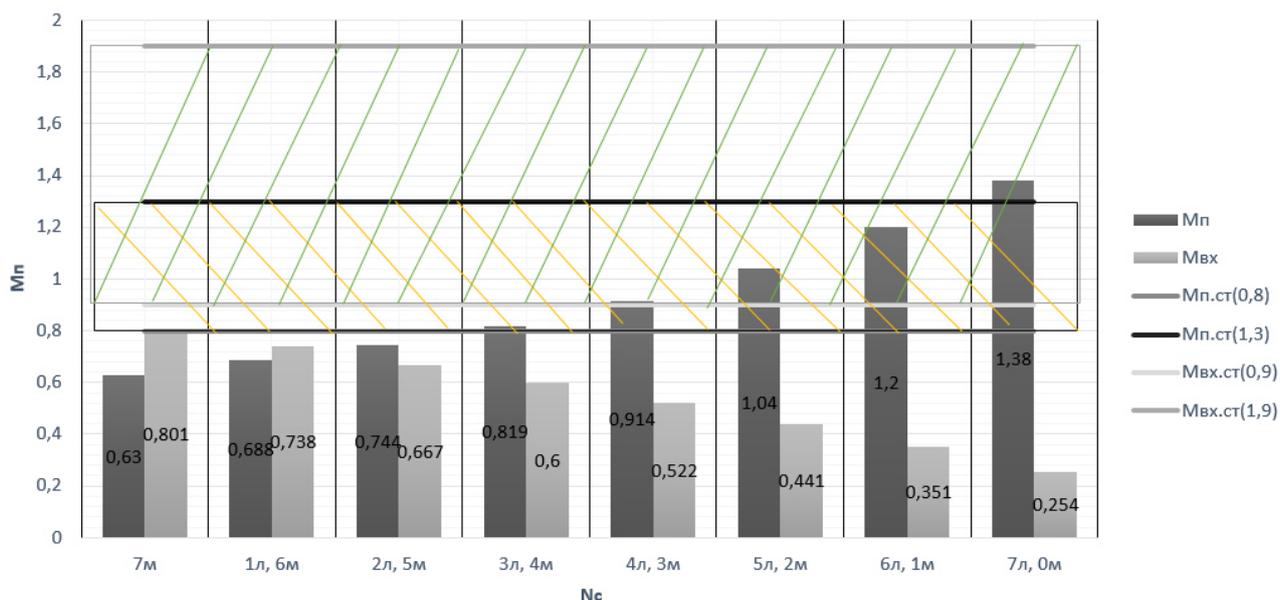


Рисунок 1– Гистограмма моментов

На гистограмме моментов рисунок 1 черным цветом показан диапазон рекомендуемых значений для пускового момента, серым цветом рекомендуемый диапазон для момента входения в синхронизм. Как видно из гистограммы рекомендуемому диапазону для пускового момента удовлетворяют 5 вариантов. А удовлетворяемым для входного момента будет один вариант с 7 медными стержнями. Из всех этих вариантов самым оптимальным вариантом, который бы удовлетворял рекомендуемому диапазону пускового момента и рекомендуемому диапазону входного момента, является вариант с заменой 3 стержней из 7 на латунные так, как входной момент среди этих 5 вариантов самый наибольший.

Проведем исследование пусковых параметров двигателя типа СД2–85/29–12У3 в программном комплексе Ansys [1]. Номинальные данные двигателя приведены в таблице 2.

Программный комплекс ANSYS предоставляет возможность создания и модификации геометрии объектов, задания материальных свойств, наложения граничных условий и выполнения расчетов.

Таблица 2 – Данные синхронного двигателя

Тип двигателя	$P_{2н}$, кВт	$n_{ном}$, об/мин	КПД, %	$\cos\phi$	I_n/I_H	M_n/M_H	M_{max}/M_H
СД2–85/29–12У3	200	500	92,4	0,9	4.5	1.1	1.8

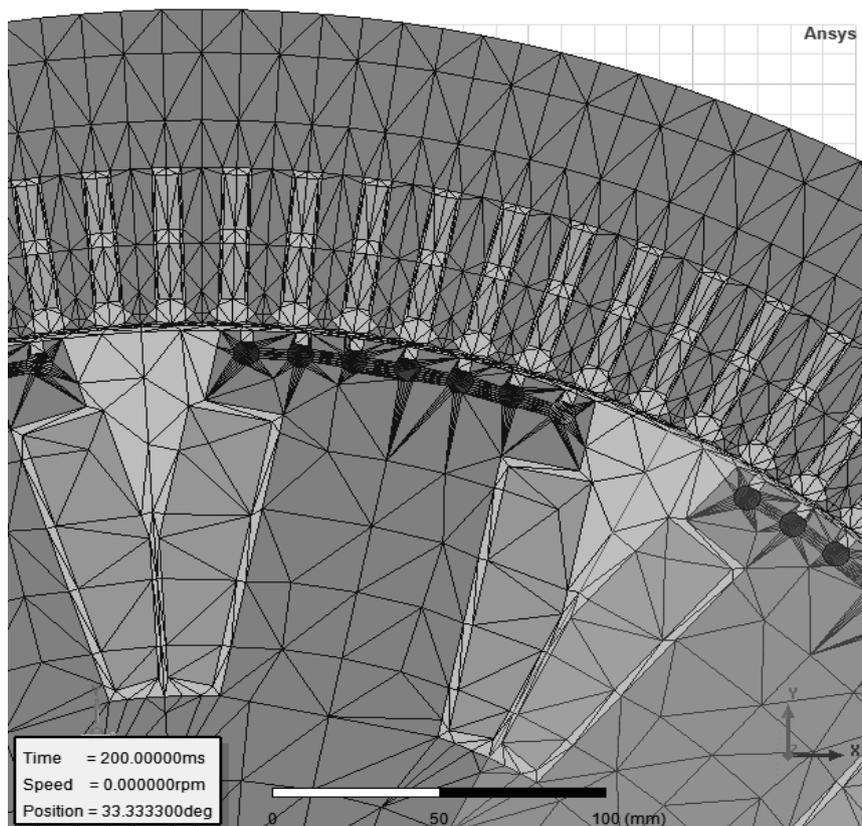


Рисунок 2 – Модель в Ansys

Путем разбиения объекта на конечные элементы и применения соответствующих уравнений и граничных условий, ANSYS позволяет моделировать и анализировать различные физические явления и инженерные системы, что позволяет более точно провести расчет, что невозможно в полной мере выполнить по классической методике проектирования Копылова [2].

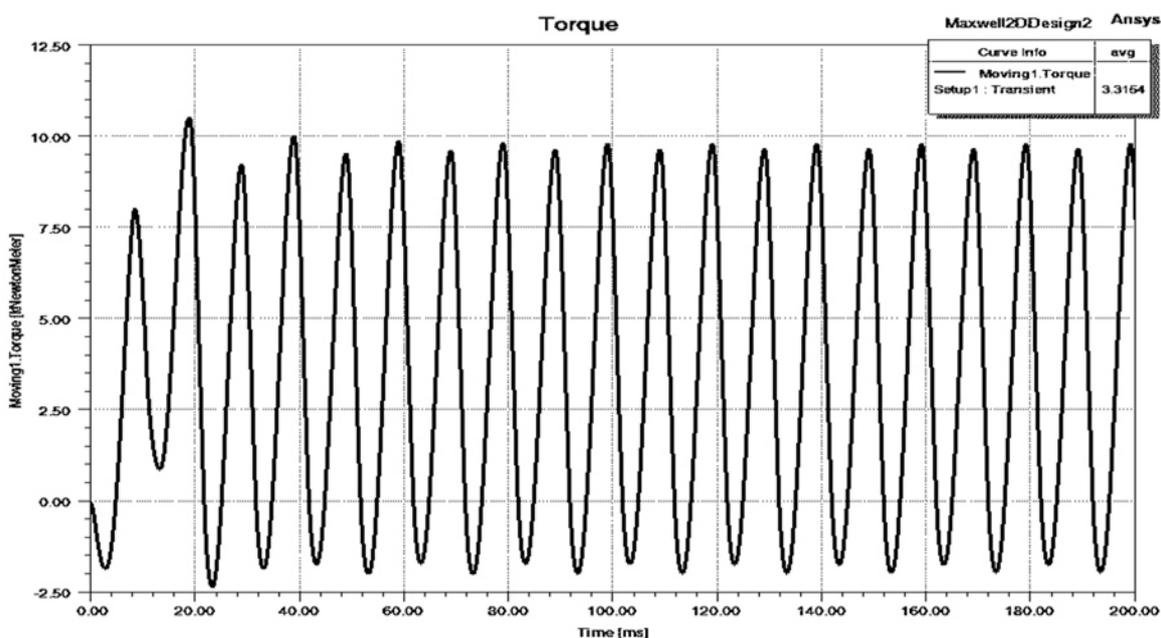


Рисунок 3 – Пусковой момент для 7 медных стержней

По рисунку 3 видно, что пусковой момент двигателя для 7 медных стержней равен 3,3154 кН (0.86 о.е).

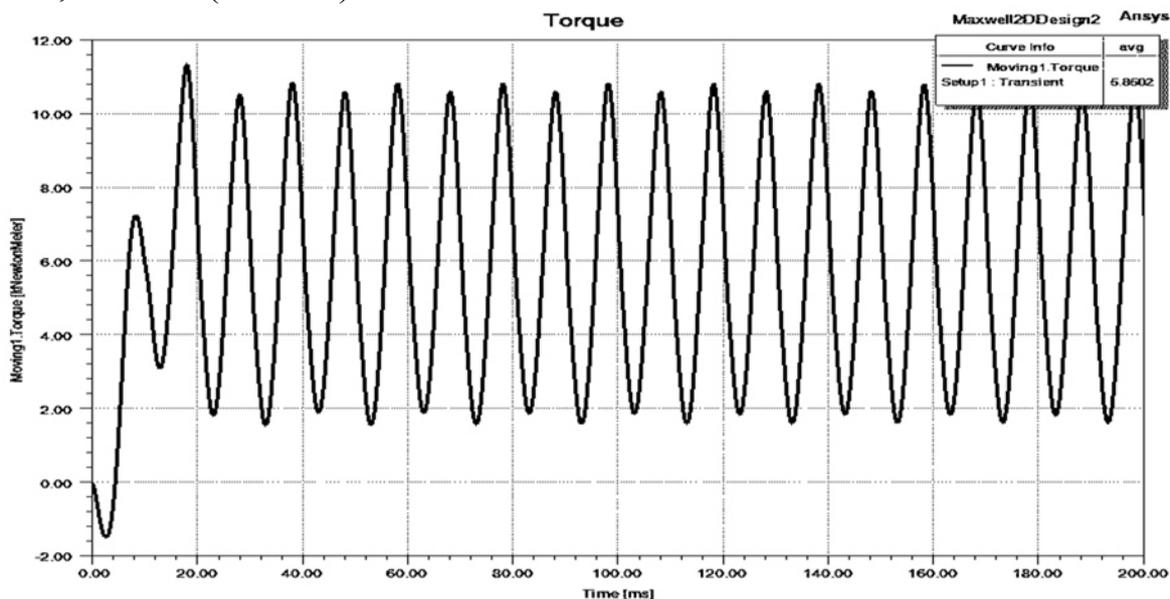


Рисунок 4 – Пусковой момент для 7 латунных стержней

По рисунку 4 видно, что при использовании латунных стержней пусковой момент равен 5,8502 кН (1.53 о.е).

В представленной статье были проведены исследования улучшения пусковых параметров синхронного двигателя. Одним из вариантов улучшения пусковых параметров электрической машины является вариант замены медных стержней пусковой обмотки на латунные. Программный комплекс ANSYS, в основе которого заложен метод конечных элементов, позволяет задать любой объект или модель, решить различные задачи и более точно производить расчет [3]. Методика расчета пусковых параметров в программе ANSYS может быть использована не только для синхронного двигателя, но и для всех типов электрических машин.

Литература

1. Копылов, И. П. Проектирование электрических машин : учебник для бакалавров /— 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 767 с.
2. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Программа ANSYS: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О. Б. Буль. — М. :Издательский центр «Академия», 2006. — 288 с.

В.А. Барышников, к.т.н., доц.

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

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ТРЕХ-ФАЗНЫМ МОСТОВЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ В РОТОРНОЙ ЦЕПИ

Для асинхронных электроприводов с фазовым и импульсным регулированием, которые имеют в роторной цепи соответственно управляемые и неуправляемые трехфазные мостовые выпрямители [1], проведено сравнение результатов, полученных на экспериментальной установке и при

моделировании. Экспериментальная установка, созданная на кафедре Электромеханические системы филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске при участии автора, предназначена для исследования динамических и установившихся режимов работы рассматриваемых электроприводов. Для моделирования была разработана модель в среде *MATLAB/Simulink* [2]. В качестве электрической машины использовался асинхронный двигатель краново-металлургической серии *MTH311-6* с номинальной мощностью 11 кВт.

В ходе такого сравнения изучалось влияние на характер переходных процессов электромагнитной инерции и насыщения асинхронной машины, а также способы формирования её момента при пуске в разомкнутой системе.

На рис.1,а и рис.2,а приведены экспериментальные осциллограммы фазного и выпрямленного тока ротора, скорости и электромагнитного момента в при пуске вхолостую двигателя, соответственно, с короткозамкнутым ротором и короткозамкнутым мостовым выпрямителем. На этих осциллограммах электромагнитный момент регистрировался с помощью электромагнитного датчика ускорения, который представляет собой асинхронную микромашину с полым ротором типа АДП 362. Сравнение кривых электромагнитного момента на рис.1,а и рис.2,а показывает их хорошее совпадение. Такое соответствие косвенно указывает на то, что включение в роторную цепь мостового выпрямителя практически не оказывает влияния на естественную характеристику двигателя, то есть не снижает его критический момент на 17%, как это утверждается в [1].

Результаты моделирования пуска того же двигателя при соответствующих условиях представлены на рис.1,б и рис.2,б. На рис.1 и рис.2 координаты, за исключением осциллограмм скорости на рис.1,а и рис.2,а, даны в относительных единицах: $M^*=M/M_n$ – относительный момент; $\omega^*=\omega/\omega_c$ – относительная скорость; $I_r^*=I_r/I_{r0}$ – относительный фазный ток ротора; $I_d^*=I_d/I_{r0}$ – относительный выпрямленный ток ротора; $I_m^*=|I_m|/I_{m0}$ – относительный модуль тока намагничивания, где M_n – номинальный момент; I_r , I_d , – мгновенные значения фазного и выпрямленного тока ротора; $|I_m|$ – модуль тока намагничивания; $I_{r0}=\sqrt{2} I_{2n}$ – базисный ток ротора, равный амплитудному значению номинального тока; $I_{m0}=\sqrt{2} I_0$ – базисный ток намагничивания, равный амплитудному значению тока холостого тока.

Как видно из экспериментальных осциллограмм, электромагнитный момент при пуске двигателя с короткозамкнутым ротором и короткозамкнутым выпрямителем отличаются незначительно. Можно лишь отметить, что пиковый момент при пуске с короткозамкнутым выпрямителем на 3-4% выше, чем с короткозамкнутым ротором. Сравнение кривых электромагнитного момента, снятых экспериментально и полученных при моделировании, также свидетельствует о хорошем качественном и количественном совпадении, ошибка которого не превышает 10%. Это в полной мере относится и к другим координатам: скорости вращения, фазного и выпрямленного тока ротора, который представляет собой огибающую положительных полуволн фазных токов.

Переходные процессы на рис.2,б получены при моделировании с учетом насыщения магнитной цепи асинхронной машины, а на рис.3 – без такого учета. Практически полное совпадение переходных процессов координат M^* , ω^* , I_r^* и I_d^* обусловлено несущественным влиянием насыщения машины при пуске с нулевыми начальными условиями. Об этом свидетельствуют кривые модуля тока намагничивания I_m^* , которые отличаются по форме и амплитуде лишь на первом периоде питающей сети, причем максимум I_m^* с учетом насыщения (рис.2,б) превышает значение без его учета (рис.2.13,б) всего в 1,3 раза.

Вывод о несущественном влиянии насыщения машины при пуске с нулевыми начальными условиями является важным, поскольку позволяет исследовать этот режим, не усложняя модель.

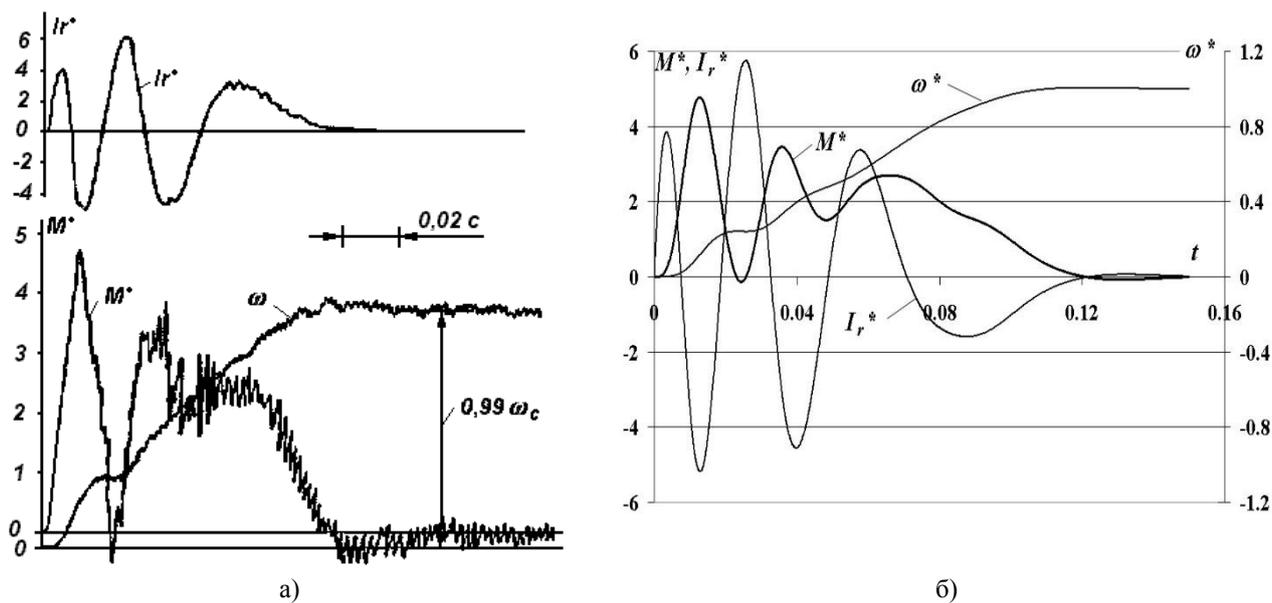


Рис.1. Осциллограммы пуска МТН311-6 с к.з. ротором: а) – экспериментальная; б) – при моделировании

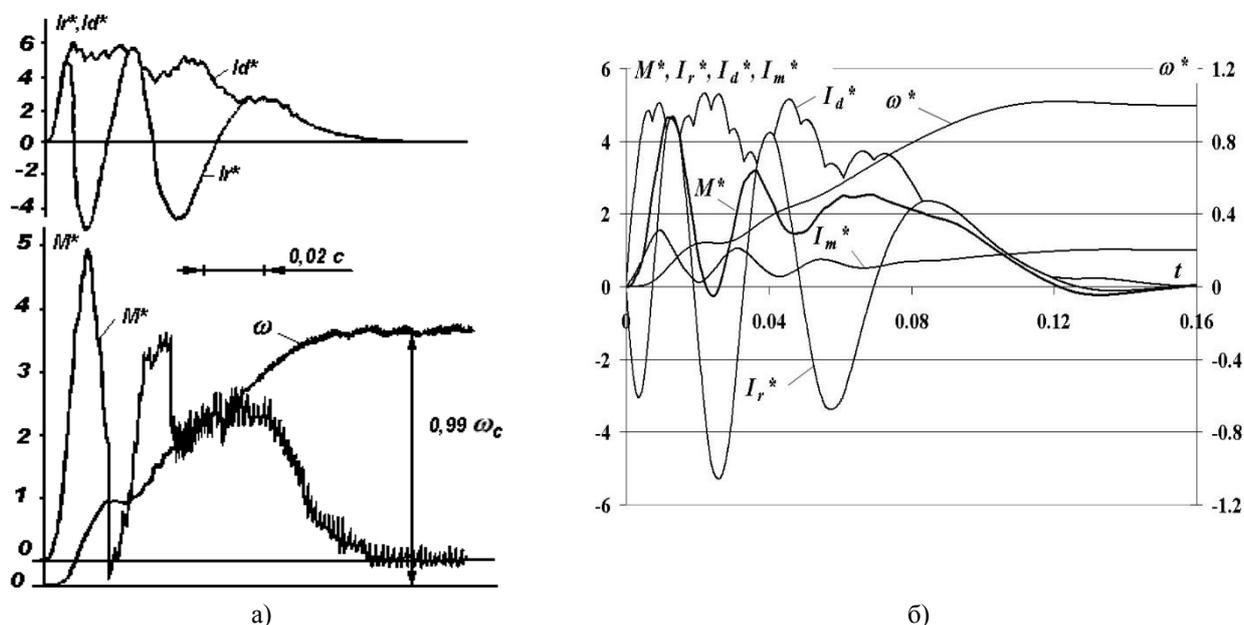


Рис.2. Осциллограммы пуска МТН311-6 с к.з. роторным выпрямителем: а) – экспериментальная; б) – при моделировании с учетом насыщения магнитной цепи асинхронного двигателя

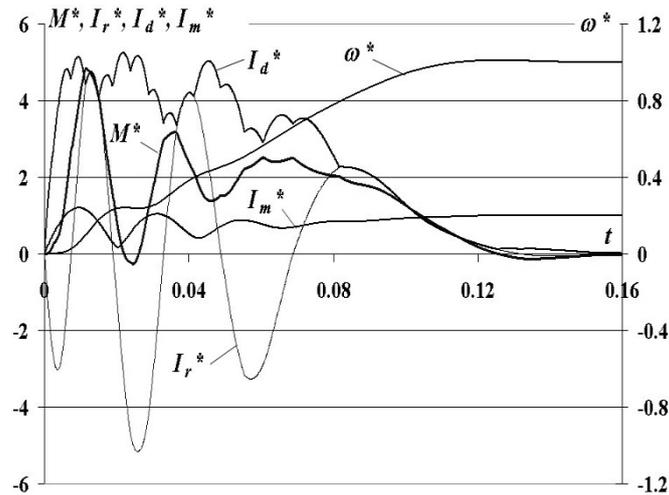


Рис.3. Осциллограммы пуска МТН311-6 с к.з. роторным выпрямителем: при моделировании без учета насыщения магнитной цепи асинхронного двигателя

Известно, что электромагнитная инерция в переходных процессах при пуске, торможении и реверсе асинхронного двигателя приводят к тому, что электромагнитный момент существенно отличается от его значений, рассчитанных по статическим зависимостям. Ударные пиковые значения момента в динамике могут привести к выходу из строя механической части привода, влияют на качество регулирования, поэтому формирование момента в пуско-тормозных режимах является актуальной задачей.

В ходе исследований установлено, что эффективным способом формирования момента асинхронного двигателя с фазным ротором при пуске является предвключение статора. Оно представляет собой предварительное подключение статора на напряжение питающей сети с последующим замыканием роторной цепи. Физическая сущность предвключения заключается в направленном использовании ненулевых начальных электромагнитных условий, возникающих в определенные моменты времени. В [3] указано на возможность таким образом уменьшить ударные моменты, но не доведено до конкретных рекомендаций. Нами установлено, что наиболее благоприятные условия начала пуска наступают, когда

- 1) модуль тока намагничивания и связанный с ним модуль потокосцепления статора имеют минимум;
- 2) модуль тока намагничивания принимает значение, которое соответствует установившемуся режиму короткого замыкания, т.е. такое же, как на статической характеристике.

На рис.4 представлены переходные процессы пуска двигателя с предвключением, полученные при моделировании с учетом (рис.4,а) и без учета (рис.4,б) насыщения магнитной цепи. Дополнительно к предыдущим координатам моделирования здесь дана кривая модуля относительного потокосцепления статора $\Psi_s^* = |\Psi_s| / \Psi_{s0}$, где $\Psi_{s0} = \sqrt{2} U_s / \omega_0$ — базисное потокосцепление. Опе-

рирование модулями переменных позволяет не зависеть от выбора координат вращения, в которых записываются уравнения электропривода.

На интервале предвключения в первом случае максимум модуля тока намагничивания превышает 6-кратное значение, а максимум модуля потокосцепления равен 1,5-кратному значению, во втором случае модули тока намагничивания и потокосцепления совпадают и не достигают 2-кратного значения. После замыкания роторной цепи, которое наступает в первом случае через период питающей сети, а во втором – через 3 периода, ток намагничивания плавно нарастает до единичного установившегося значения. Пуск протекает практически в соответствии со статической механической характеристикой, характеризуется плавным нарастанием скорости. Максимум момента в начале пуска в 2,8 раза больше номинального значения (в отличие от прямого пуска на рис.1 и рис.2, где он почти 5-кратный) и превышает момент короткого замыкания всего на 30%.

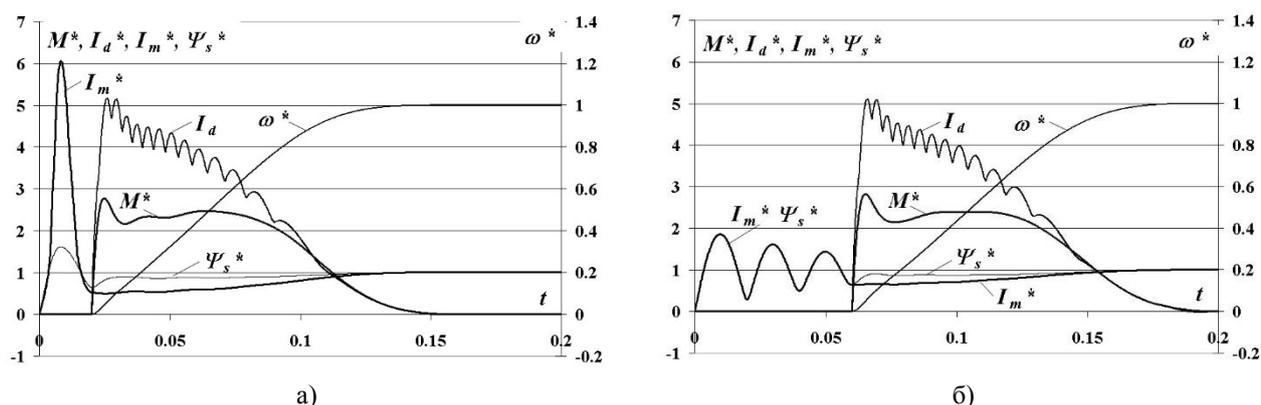


Рис.4. Переходные процессы моделирования пуска двигателя с предвключением: а) – с учетом насыщения магнитной цепи; б) – без учета насыщения

Таким образом, благоприятные условия замыкания роторной цепи, определяемые начальным значением модуля тока намагничивания, наступают в моменты времени, которые кратны периоду питающей сети. При учете насыщения время замыкания равно периоду (0,02 с), а без учета – трем периодам (0,06 с), причем эти условия инвариантны к фазе включения напряжения сети.

Пуск с предвключением статора естественным образом реализуется в электроприводах с управляемым роторным выпрямителем или импульсным коммутатором, шунтирующим активно-емкостную цепь. Замыкание цепи выпрямленного тока осуществляется в первом случае путем подачи на вентили управляющих импульсов, обеспечивающих минимальный угол управления, во втором – включением коммутатора с единичной скважностью. В других электроприводах с трехфазным мостовым выпрямителем предвключение статора с соблюдением благоприятных начальных условий принципиально может быть реализовано, если в цепь выпрямленного тока ротора последовательно включить управляемый ключ, например, тиристор.

Вышеизложенное позволяет сделать следующие выводы.

1. Сравнение результатов, полученных на экспериментальной установке и при моделировании, свидетельствует о хорошей степени достоверности модели,

которая дает картину квазиустановившихся и динамических режимов работы электропривода, наиболее приближенную к реальности.

2. Исходя из динамики показано, что включение в роторную цепь мостового выпрямителя практически не оказывает влияния на естественную характеристику двигателя, то есть не снижает его критический момент на 17%.

3. Продемонстрировано несущественное влияние насыщения магнитной цепи машины при пуске с нулевыми начальными условиями. Это служит обоснованием для моделирования таких процессов в дальнейшем с помощью среды компьютерной математики *MatLab*, используя ее расширение *Simulink*.

4. Установлено, что наиболее благоприятные условия пуска с ненулевыми начальными условиями наступают, когда модуль тока намагничивания имеет минимум и принимает значение, которое соответствует установившемуся режиму короткого замыкания. Эти условия, являясь инвариантными к фазе включения напряжения сети и к насыщению магнитной цепи двигателя, обеспечивают динамическую механическую характеристику, мало отличающуюся от статической.

Литература

1. Машиностроение. Энциклопедия/ред. совет: К.В.Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Электроприводы. Т. IV-2 / Л.Б. Масандилов, Ю.Н. Сергиевский, С.К. Козырев и др.; под общ. ред. Л.Б. Масандилова, 2012. 520 с.: ил.
2. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб: КОРОНА принт, 2011. 368 с.: ил.
3. Браславский И.Я. Асинхронный полупроводниковый электропривод с параметрическим управлением. – М.: Энергоатомиздат, 1988. 224 с.: ил

*Р.В. Исаков к.т.н., доц.; М.А. Широков студ.
(ВлГУ, г. Владимир)*

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

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИННОВАЦИОННОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОТЕЗА

Ампутация конечности ввиду различных обстоятельств является для человека серьезным испытанием. Согласно мировой статистике, число людей с ампутациями составляет до 10% от общего количества инвалидов. Доля России: 70 тыс. ампутаций в год [1].

Следовательно, создание устройства, способного заменить утраченную конечность, а вместе с тем и былую функциональность, является актуальной задачей.

Самым действенным на данный момент выходом из сложившейся ситуации является протезирование – замена утраченных или необратимо поврежденных частей тела искусственными заменителями - протезами.

Целью данной работы являлась разработка инновационного протеза, позволяющего значительно повысить удобство использования протеза.

Протезы можно разделить на 2 группы:

1. Косметические. Самые простые в исполнении. Служат для визуальной маскировки физического недостатка. Их преимуществами являются:

привлекательный внешний вид, вес (в сравнении с другими типами), стоимость, нет необходимости в техническом обслуживании. В тоже время у них существуют важные недостатки: отсутствие актинового захвата, функциональности, отсутствие управления мышцами.

2. Функциональные. Задача заключается в восстановлении утраченной функции конечности.

В свою очередь функциональные протезы делятся на 2 подгруппы:

1. Тяговые. Их преимуществами являются: отсутствие задержки реакции, осуществление функций, необходимых для выполнения поставленной задачи, стоимость, простота обслуживания технических элементов, устойчивость к влаге и перепадам температуры. В тоже время есть ряд недостатков: громоздкость конструкции, есть возможность нарушения осанки, мышцы культи не задействованы, ограниченный спектр возможностей.

2. Бионические. Их преимущества: отсутствие задержки реакции, осуществление функций, необходимых для выполнения поставленной задачи, задействованы мышцы культи. Присутствующие недостатки: стоимость, возможность нарушения осанки, сложность технического обслуживания [2].

Первая бионическая рука на массовый рынок была выпущена компанией TouchBionics (Великобритания). В данный момент распространены бионические протезы компаний Ossur (Исландия), Ottobock (Германия), VincentSystems (Германия), Streeper (Великобритания), Taska (Новая Зеландия).

В России бионическими протезами занимаются фирмы: MaxBionic, Моторика, Орто-Космос, Сколиолоджик.

Одним из самых дорогих протезов является протез компании Vincent-Systems модель VincentEvolution (многосхватный), конечная стоимость которого достигает 6 млн. рублей. Кисть «Микеланджело» Ottobock обойдётся примерно в 2,5 -3 млн. рублей [3].

Перечисленные выше модели протезов обладают современным дизайном, относительно малым весом, обширной функциональностью, позволяющей справляться с подавляющим количеством повседневных задач.

Но в то же время всех их объединяет одна нерешённая особенность: плавное управление электроприводом посредством сокращения мышц в реальном времени. В этой статье представлены возможные пути решения данной задачи.

Для реализации модели бионического протеза была разработана экспериментальная установка, показанная на рисунке 1.

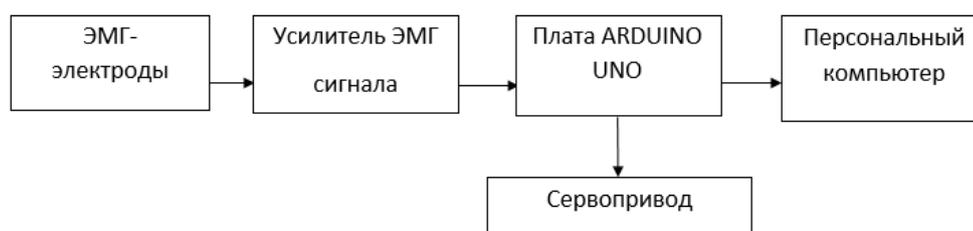


Рисунок 1 – Структурная схема модели бионического протеза.

Для проведения эксперимента измерительные электроды располагались вдоль мышцы (бицепса). Общий электрод по центру – снизу. Таким образом происходила локализация выбранной мышцы. (см. Рис.2).



Рисунок 2 – Наложение электродов на бицепс

В качестве контактной поверхности применялись хлорсеребряные электроды. Усилительный каскад реализован на базе инструментального усилителя AD620, который рекомендован производителем для медицинской техники. Для его настройки применяются два прецизионных потенциометра: регулировки смещения нуля и коэффициента усиления.

При проведении экспериментов были написаны программы для микроконтроллера платы Arduino UNO, реализующие следующие алгоритмы настройки модели бионического протеза:

1. Настройка аппаратного усиления и сдвига.
2. Выбор частоты дискретизации.
3. Выбор параметра высокочастотного фильтра.
4. Исследование алгоритма определения огибающей сигнала.
5. Тестирование алгоритма управления сервоприводом.

Результаты настройки усилительного каскада показан на рисунке 3.

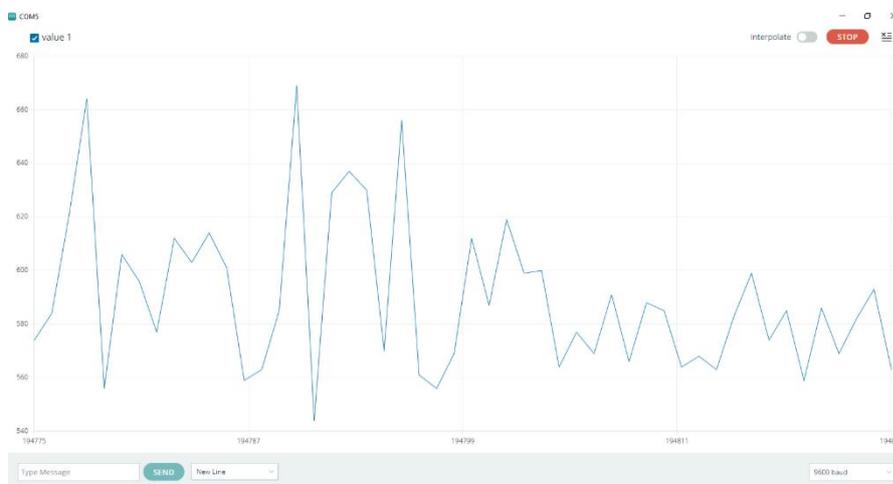


Рисунок 3 – Сигнал ЭМГ, полученный АЦП микроконтроллера

Настройка производилась таким образом, чтобы сигнал попадал в динамический диапазон АЦП и в то же время была заметная разница между электрическими проявлениями сокращения мышцы и фоновым сигналом (сигналом в покое).

Для определения частоты дискретизации была выбрана следующая процедура: при различных периодах дискретизации регистрировался ЭМГ-сигнал и определялось число импульсов на единицу времени, описывающих активность мышцы. При частоте дискретизации 500 Гц был найден баланс между вычислительными затратами на обработку измерений и информативностью полученного сигнала (максимальное число импульсов, описывающих форму сигнала). Полученный при этом сигнал показан на рисунке 4.

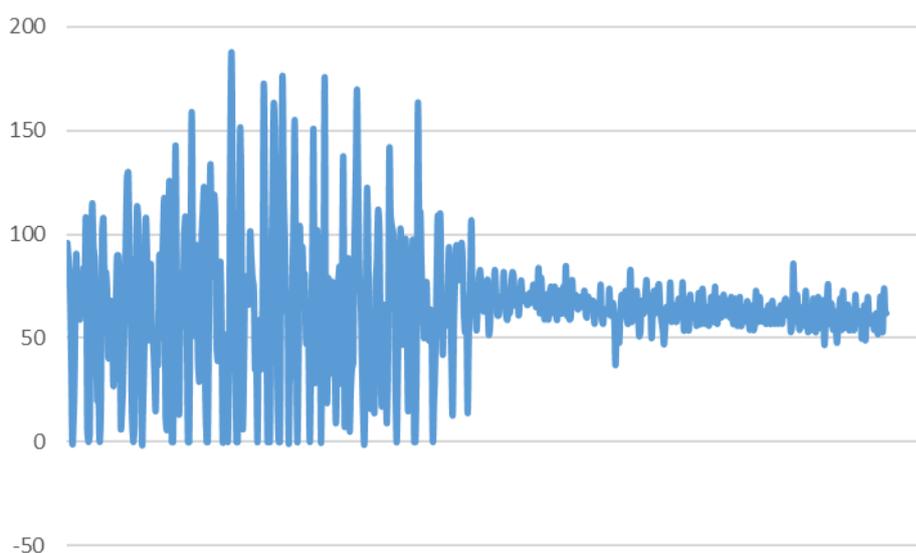


Рисунок 4 – ЭМГ-сигнал, зарегистрированный при частоте дискретизации 500 Гц

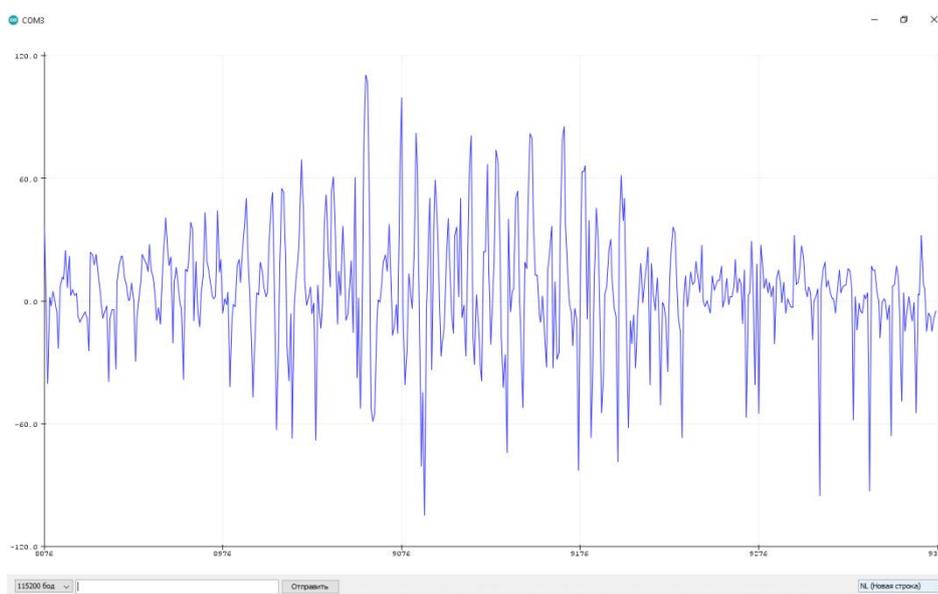


Рисунок 5 – ЭМГ-сигнал после высокочастотной фильтрации

Высокочастотный фильтр построен на определении и вычитании тренда регистрируемого сигнала. Для его настройки необходимо найти баланс между эффективностью исключения постоянной составляющей и низкочастотными элементами самого ЭМГ-сигнала. Полученный при этом сигнал показан на рисунке 5.

Как можно видеть на рисунке 5, сигнал центрирован относительно нуля и в то же время наблюдается значительное повышение его амплитуды при сокращении мышцы.

Огибающая сигнала ЭМГ оценивает уровень сокращения мышц, который будет использован для реализации плавного управления протезом. Для её получения использована демодуляция ЭМГ-сигнала путём вычисления модуля с последующей низкочастотной фильтрацией. Настройка данного алгоритма заключается в том, чтобы найти баланс между степенью сглаживания ФНЧ, достаточную для подавления импульсов ЭМГ-сигнала и задержкой в определении момента активности мышцы. Полученный управляющий сигнал представлен на рисунке 6.

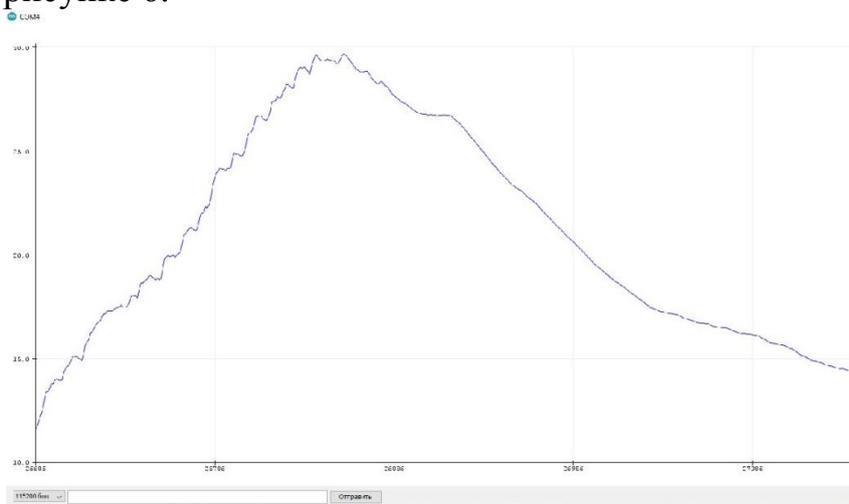


Рисунок 6 – Огибающая ЭМГ-сигнала при сокращении мышцы

Тестирование с подключённым сервоприводом показало адекватное управление без значимых задержек (меньше 500 миллисекунд).

В результате проведённой работы была получена действующая модель бионического протеза, позволяющего осуществлять плавное управление его механизмами. Данная функция позволит повысить удобство его использования в сочетании с управлением жестами. Разработанный блок управления предполагается внедрить в инновационные бионические протезы.

Литература

1. В России требуют решения проблемы людей с ограниченными возможностями - Аргументы Недели [Электронный ресурс] // [argumenti.ru](https://argumenti.ru/opinion/2020/11/695293?ysclid=la5vh2bd1v90347614). Режим доступа: <https://argumenti.ru/opinion/2020/11/695293?ysclid=la5vh2bd1v90347614>
2. Протезирование – Википедия [Электронный ресурс] // [wikipedia.org](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5) Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5>
3. Рук больше, чем ног: какими бывают современные протезы, и кто производит их в России и в мире [Электронный ресурс] // [Rusbase](https://rb.ru/longread/modern-prosthesis/) Режим доступа: <https://rb.ru/longread/modern-prosthesis/>

*М.А. Кисляков, ст.преп.; К.К. Крутиков, к.т.н., доц.;
В.В. Рожков, к.т.н., доц.; В.В. Федотов, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» в г. Смоленске)*

УЛЬТРАЗРЕЖЕННЫЙ ТРЕХФАЗНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ КАК САМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

Теория непосредственных преобразователей частоты (НПЧ) и, в частности, их разновидности – матричных преобразователей частоты (МПЧ) для электропривода и электроэнергетики в настоящее время активно развивается. В мире ведутся изыскания по наиболее рациональным топологиям и системам управления силовыми схемами МПЧ [1-4], имеющими ряд достоинств по сравнению с наиболее используемыми на практике схемами преобразователей двухзвенного типа «Неуправляемый выпрямитель – автономный инвертор напряжения» (НВ-АИН). В последние два десятилетия предложены секционированные топологии так называемых «непрямых» МПЧ [1-3], руководителем научной школы которых за рубежом является Johann Kolar [1]. Такие МПЧ содержат секции выпрямителя (иногда называемого здесь квазивыпрямителем) и инвертора, подобно схемам НВ-АИН. Однако, эти схемы отличаются от топологии НВ-АИН как по построению, составу полупроводников, так и по применяемому управлению. Наибольшие отличия характерны для секции выпрямителя, а инвертор МПЧ подобен АИН. В схеме МПЧ конденсаторы (не электролитические) небольшой емкости (единицы-десятки мкФ) присутствуют лишь на входе выпрямителя, а больших ненадежных емкостей в звене постоянного тока, как в НВ-АИН, принципиально нет. Сама секция выпрямителя (как и инвертора) строится с высокочастотной коммутацией транзисторных ключей, и в зависимости от числа и способа подключения ключей может реализовываться в так называемых «разреженном», «сверхразреженном», «ультразреженном» вариантах. Последний из вариантов выпрямителя (USMC – в англоязычной аббревиатуре – или ultra-sparse matrix converter – ультраразреженный матричный преобразователь) содержит лишь три транзисторных ключа S_{app} , S_{bpp} , S_{cpp} (см. рис.1). При этом схема МПЧ получается достаточно простая и очень надежная, обеспечивающая при определенных алгоритмах управления близкий к синусоидальному входному току источника, высокий КПД на фоне основной задачи управления трехфазной либо однофазными нагрузками.

До сих пор в различных публикациях (преимущественно зарубежных) выпрямительная секция рассматривалась лишь как часть МПЧ, в частности, в ультраразреженном варианте по схеме рис.1. Однако, по мнению авторов, эта секция представляет определенный интерес и как самостоятельный объект для изучения ее свойств и способов управления, чему и посвящена настоящая статья. Для исследования выпрямительной ультраразреженной секции авторами разработана ее интерактивная компьютерная модель (трехфазный источник, силовая схема МПЧ по рис.1 и система управления) с возможностью подключения пассивной R- или RL-нагрузки. Модель показана на рис.2.

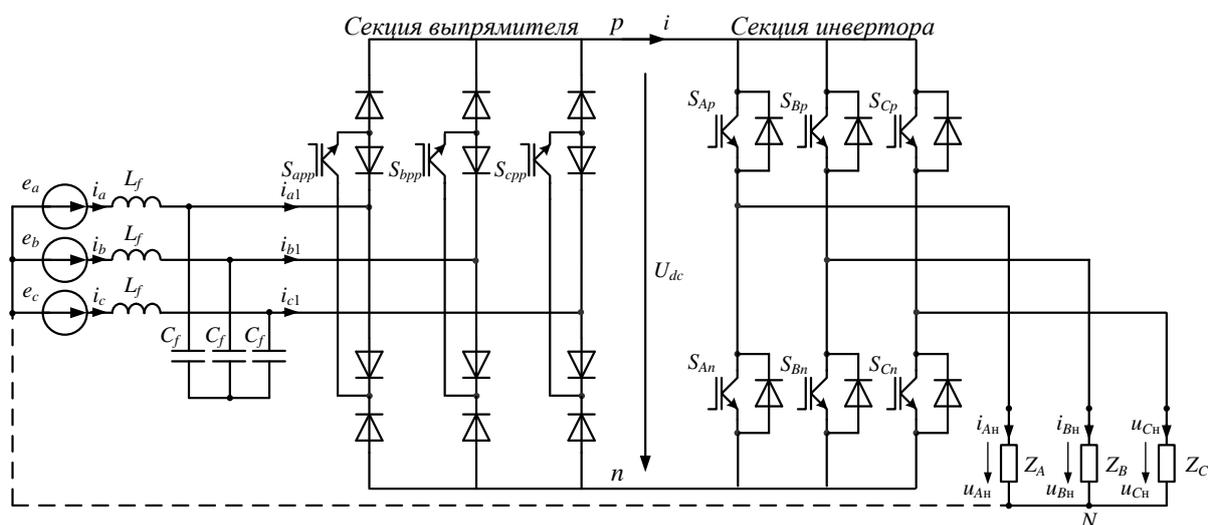


Рисунок 1 – Схема секционированного ультраразреженного варианта МПЧ

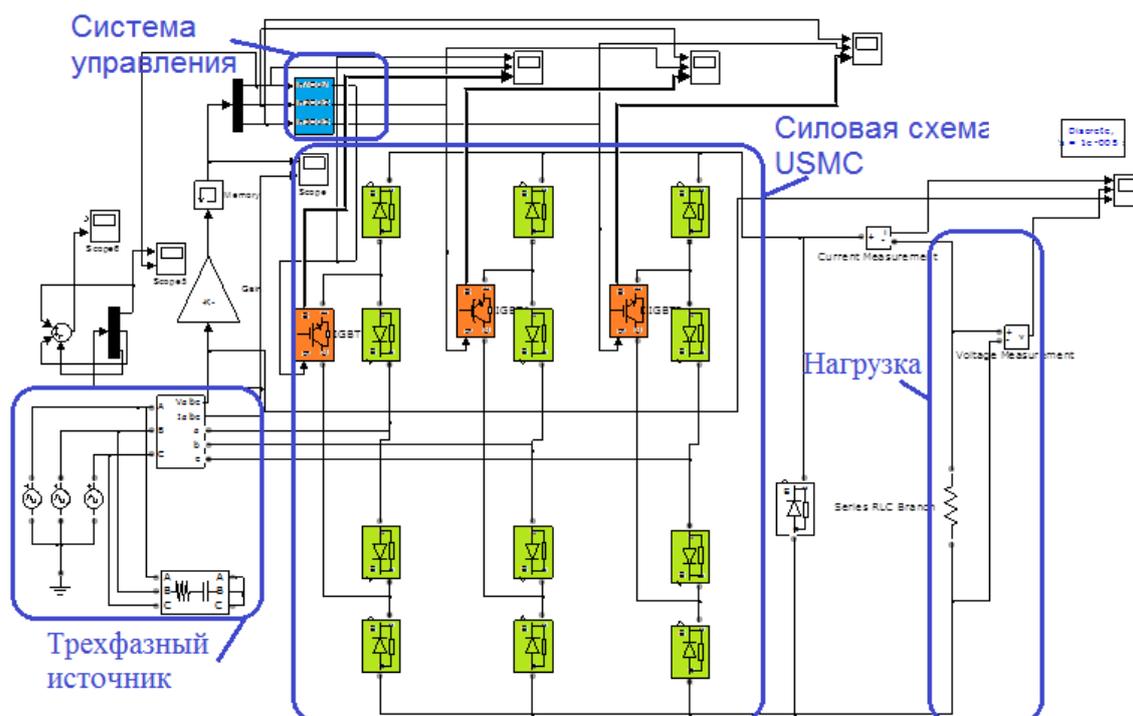


Рисунок 2 – Модель выпрямительной ультраразреженной секции

Исследованы особенности работы выпрямительной ультраразреженной транзисторной секции в сравнении с тиристорным трехфазным мостом.

Здесь имеются только три активных транзисторных ключа S_{app} , S_{bpp} , S_{cpp} с интервалами или постоянной проводимости, или управления в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ), в сравнении с 6 тиристорами, работающими 120° , по 60° с одним из ключей, а следующие 60° – с другим.

В схеме выпрямительной ультраразреженной секции 3 транзистора обеспечивают только положительный ток нагрузки, как и в тиристорном выпрямителе. В каждом полупериоде входного фазного источника напряжения управление ключами также можно осуществлять или с запаздыванием на

некоторый регулируемый угол управления относительно точек «естественного зажигания», или с нулевым углом управления. Подача импульсов ранее этих моментов не позволят транзистору включаться, если напряжение на нем еще отрицательно. В отличие от тиристоров, импульсы управления транзисторами не могут быть короткими с сохранением его включенного состояния. Длительность проводящего состояния транзистора совпадает с длительностью импульса управления. Если к тому же планируется высокочастотное управление состоянием транзистора, то и импульсы управления также должны иметь вид высокочастотных ШИМ-сигналов. Это означает, что на каждом интервале несущей транзистор или включен, или выключен. Сквозность на текущем постоянном периоде ШИМ также может быть переменной по тому или иному заданному временному закону, или вычисляться замкнутой системой. Изменение сквозности повлияет на все показатели. Период ШИМ на полувольтном фазного напряжения первичного источника также можно выбирать разной длительности и с разным отсчетом начала высокочастотных переключений. Например, после «активного» интервала с ШИМ-переключением на заданном интервале угла θ транзистор можно оставить постоянно включенным, и он позволит проводить ток последовательно соединенному с ним диоду. Могут быть реализованы и другие варианты.

Если импульсы управления снять с затворов S_{app} , S_{bpp} , S_{cpp} , то транзисторы (в отличие от тиристоров) мгновенно закроются (разомкнутся как ключи), и в их ветвях возникнут разрывы. Токи i_{a1} , i_{b1} , i_{c1} мгновенно упадут до нуля. При наличии индуктивностей в фазах L и поперечных емкостей C , это не приведет к разрыву входных токов источника в индуктивностях фаз, хотя и появятся резонансные контуры с большой добротностью. При соответствующей настройке параметров L - C эта ситуация со всеми разомкнутыми транзисторами будет во времени короткой, перенапряжения на индуктивностях и емкостях развиться не успеют. Ток i на выходе выпрямительной секции в этом интервале будет нулевым (контур выходного тока разрывается).

Для выполнения условия непрерывности контура с током i ситуация с тремя разомкнутыми ключами неприемлема, и даже одного включенного в какой-либо фазе ключа S_{app} , S_{bpp} или S_{cpp} недостаточно.

Покажем в настоящей статье один из вариантов управления ключами выпрямительной секции, используя только высокочастотные переключения по закону ШИМ с переменной сквозностью, без использования понятия «угол управления». При этом можно получить аппаратное или программное управление, когда входные токи, хотя и импульсно-модулированные, будут иметь форму, близкую к синусоиде с основной гармоникой, синфазной с напряжением. Последовательности формирования импульсов управления S_{app} , S_{bpp} , S_{cpp} относительно соответствующих фазных напряжений u_a , u_b , u_c показаны на рис.3. Сочетаются интервалы с одним (основным) замкнутым ключом данной фазы и высокочастотными переключениями в двух других.

Осциллограммы фазных напряжений и токов источника до и после (ближе к источнику) емкостного фильтра соответственно показаны на рис.4.

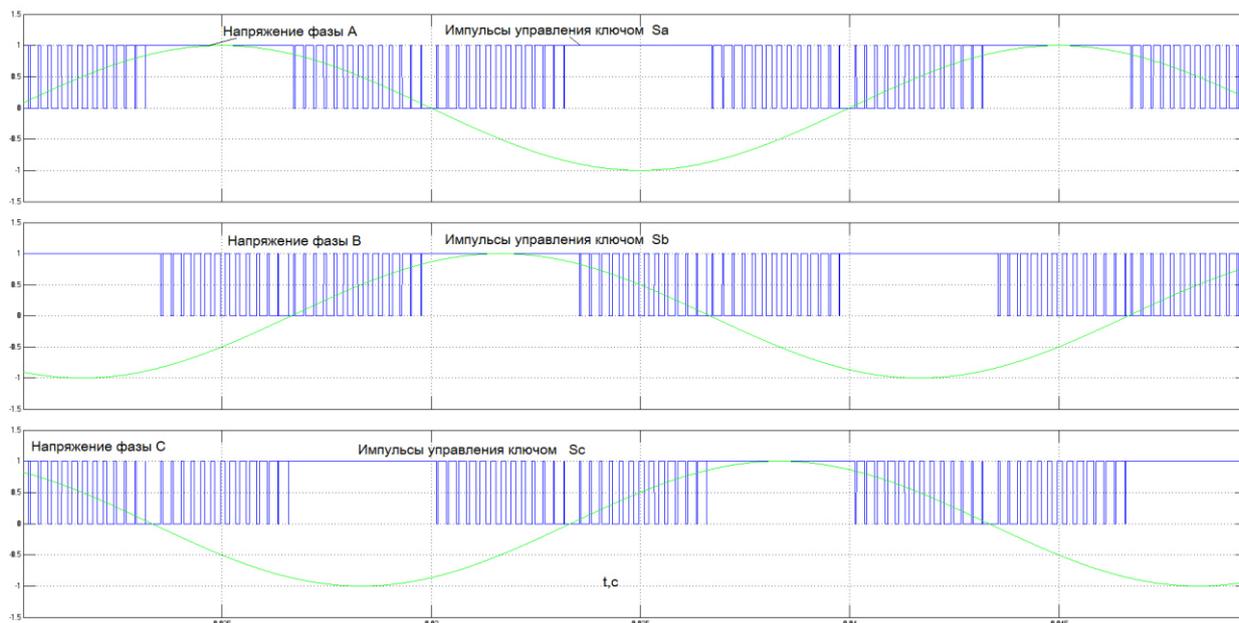


Рисунок 3 – Импульсы управления S_{app} , S_{bpp} , S_{cpp} относительно соответствующих фазных напряжений u_a , u_b , u_c (сверху вниз)

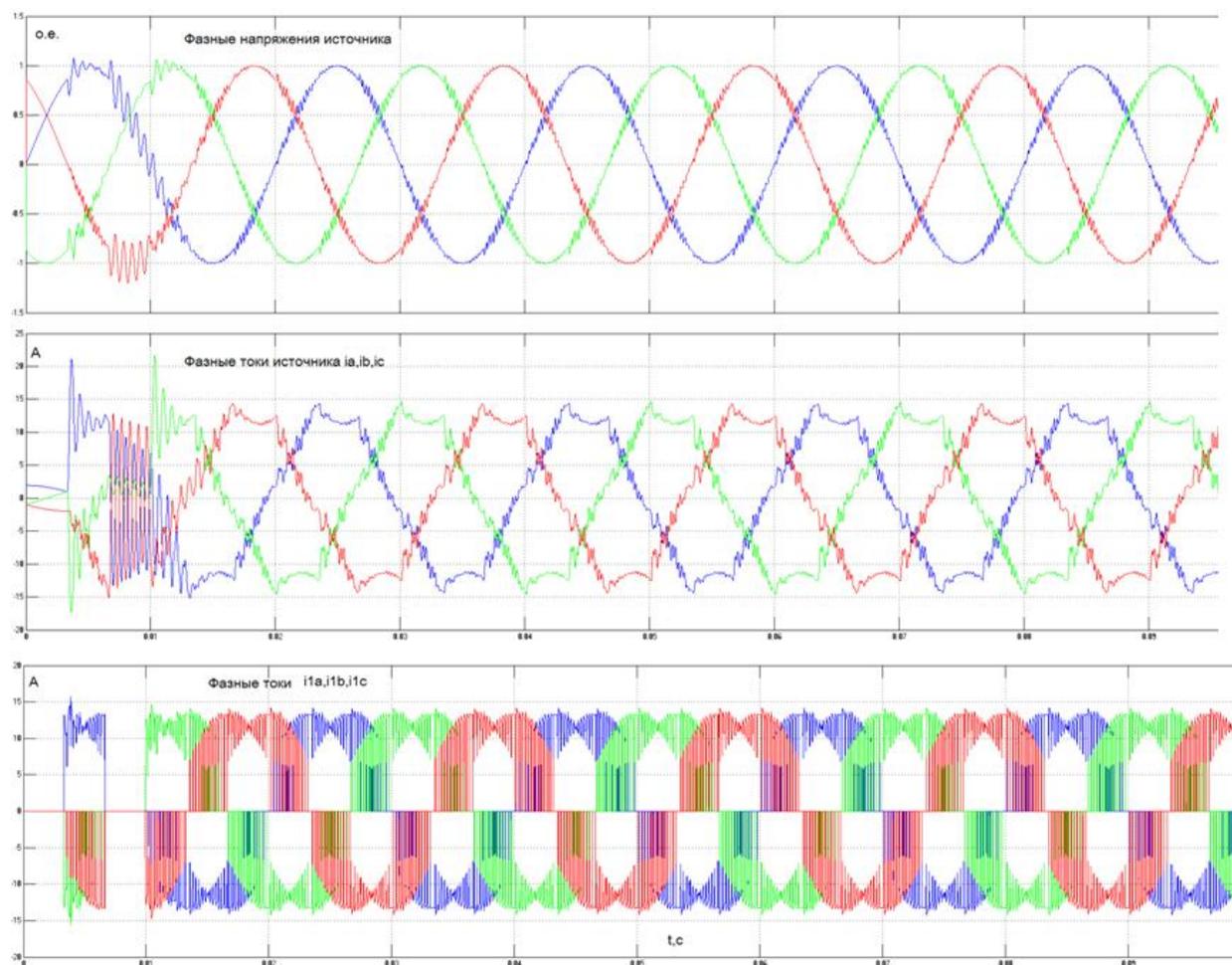


Рисунок 4 – Осциллограммы фазных напряжений, токов источника до и после емкостного фильтра (сверху вниз)

В представленных на рис.4 результатах нагрузка выбрана активной на уровне $R=40 \text{ Ом}$.

Были также проведены эксперименты с различными значениями активной и активно-индуктивной нагрузки.

Получены результаты, анализ которых дает следующее:

- логика относительно простого аппаратного управления ключами демонстрирует авторский уровень понимания возможностей аппаратной реализации управления ультраразреженным выпрямителем;
- входной фазный ток преобразователя при различных нагрузках получен частично квази-непрерывного типа (на значительной части полупериода ближе к амплитуде сигнала одноименного фазного напряжения), частично разрывного характера (ближе к нулю сигнала фазного напряжения). По основной гармонике он синфазен с напряжением. В определенном смысле схема работает как фильтр гармоник и компенсатор реактивной мощности;
- входной фазный ток источника при двух нагрузках уже непрерывен, однако его коэффициент гармонических искажений $\text{THD}=12\text{-}13\%$, что еще далеко от желаемого уровня 5% , закрепленного в стандарте качества сетей;
- выходное напряжение нагрузки имеет характерную амплитудно-импульсную форму с переменной скважностью ШИМ. В представленном опыте задача регулирования выходного напряжения не ставилась;
- выходной ток нагрузки при двух режимах существенно изменяется, но остается непрерывным.

В итоге, можно видеть, что секция ультраразреженного выпрямителя имеет самостоятельную ценность как объект управления. Для дальнейшего анализа свойств выпрямителя по ультраразреженной схеме целесообразна разработка программного варианта пространственно-векторного управления ключами на высокой частоте с использованием «обобщенного вектора управления», который в данном случае задан трехфазной сетью источника питания, а синтезировать требуется трехфазный вектор тока источника питания.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2023-0012.

Литература

1. Kolar, J. W., Schafmeister, F., Round, S. D., & Ertl, H. (2007). Novel Three-Phase AC-AC Sparse Matrix Converters. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 22(5), 1649–1661. <https://doi.org/10.1109/tpel.2007.904178>
2. Yuhendri, M., Ahyuardi, A., & Aswardi, A. (2018). Direct Torque Control Strategy of PMSM Employing Ultra Sparse Matrix Converter. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 9, 64-72.
3. Z. Gong, J. Li, P. Dai, D. Su and X. Wu, "Design and Evaluation of a Virtual Vector Based Modulated Model Predictive Control for the Indirect Matrix Converters With Improved Performance," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 69, no. 12, pp. 12019-12029, Dec. 2022, doi: 10.1109/TIE.2021.3130320.
4. Kislyakov M.A., et al. Improving the Characteristics of a Matrix Frequency Converter by Using Sliding Modes for the Control of Transistor Switching. – *AIP Conference Proceedings*, 2021, 2402, 030014, DOI:10.1063/5.0071855.

АНАЛИЗ РАБОТЫ МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ПО АЛГОРИТМУ СКОЛЬЗЯЩИХ РЕЖИМОВ

В настоящее время возобновляется большой интерес к непосредственным преобразователям частоты НПЧ, в которых преобразование энергии из первичной сети во вторичную сеть осуществляется за один такт. Важнейшим достоинством НПЧ выступает отсутствие звена постоянного тока с массогабаритным электролитическим конденсатором. Появление IGBT-транзисторов привело к появлению нового класса преобразователей – матричных непосредственных преобразователей частоты (МПЧ).

Классический матричный преобразователь частоты осуществляет преобразование напряжения трехфазной сети одной частоты в трехфазное напряжение другой частоты, как правило, с более низкой частотой. Важнейшими элементами МПЧ выступают 9 силовых ключей, обеспечивающих возможность подключения каждой фазы первичного источника к любой фазе вторичной сети.

Существует несколько вариантов построения силовых ключей [1], каждый из которых имеет как достоинства, так и недостатки. Наиболее простым с точки зрения управления является двунаправленный ключ, построенный по мостовой схеме (рис. 1).

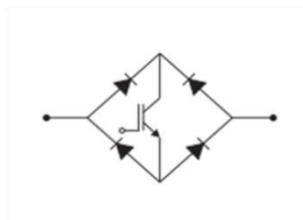


Рисунок 1 – Схема построения двунаправленного силового ключа: диодный мост с IGBT-транзистором в диагонали

Таким образом, топология силовой части МПЧ может быть реализована на базе девяти таких двунаправленных ключей, обеспечивающих проводимость в двух направлениях и позволяющих коммутировать любую из фаз на входе с любой из фаз на выходе преобразователя.

Важнейшими целями, преследуемыми при разработке различных алгоритмов управления силовыми ключами МПЧ, выступает удобство регулировки коэффициента мощности в первичной сети и снижение искажений формы токов.

Как правило, в настоящее время, широкое распространение получили скалярные и векторные алгоритмы управления МПЧ [2, 3]. Однако, они имеют ряд недостатков, обусловленных явлением квазивыпрямления. Поэтому приобретает большую актуальность исследование возможности использования скользящих режимов в управлении МПЧ. Такой режим работы характеризуется созданием управляющего сигнала с бесконечной частотой переключений структур на одной или нескольких поверхностях переключений. Это достигается обеспечением устойчивого движения вдоль линии каждой из компонент векторной цели, при

этом получение многомерной цели происходит за счет введения двуполярных закономерных постоянных источников нужного уровня [4].

Для реализации такого алгоритма управления МПЧ в качестве источников, описываемых ранее, возможно использование заданных переменных входных напряжений сети преобразователя. Отличительной чертой является использование модернизированного метода разрывного многомерного управления, т.е. из n -го количества имеющихся сигналов кусочно-постоянных и знакопеременных выбираются два сигнала. Таким образом, при подключении МПЧ к трехфазному источнику ($n=3$) функция цели рассматривается относительно трех сигналов управления, а так как они симметричны, то могут удовлетворять одному из четырех условий:

- два сигнала больше функции цели (выходного напряжения) и один меньше функции цели;
- один сигнал больше функции цели, а два сигнала меньше функции цели;
- все три сигнала меньше функции цели;
- все три сигнала больше функции цели.

При этом более хороший результат работы будет достигнут при наименьших отклонениях от функции цели, что является особенностью использования скользящих режимов. Такие значения сигнала обеспечивают наименьшие возмущения в спектре выходного сигнала, а также создают минимальные коммутационные перенапряжения в изоляции.

Рассмотрим имитационную модель МПЧ с трехфазным выходом и общей нейтралью в программном пакете Matlab/Simulink (рис. 2).

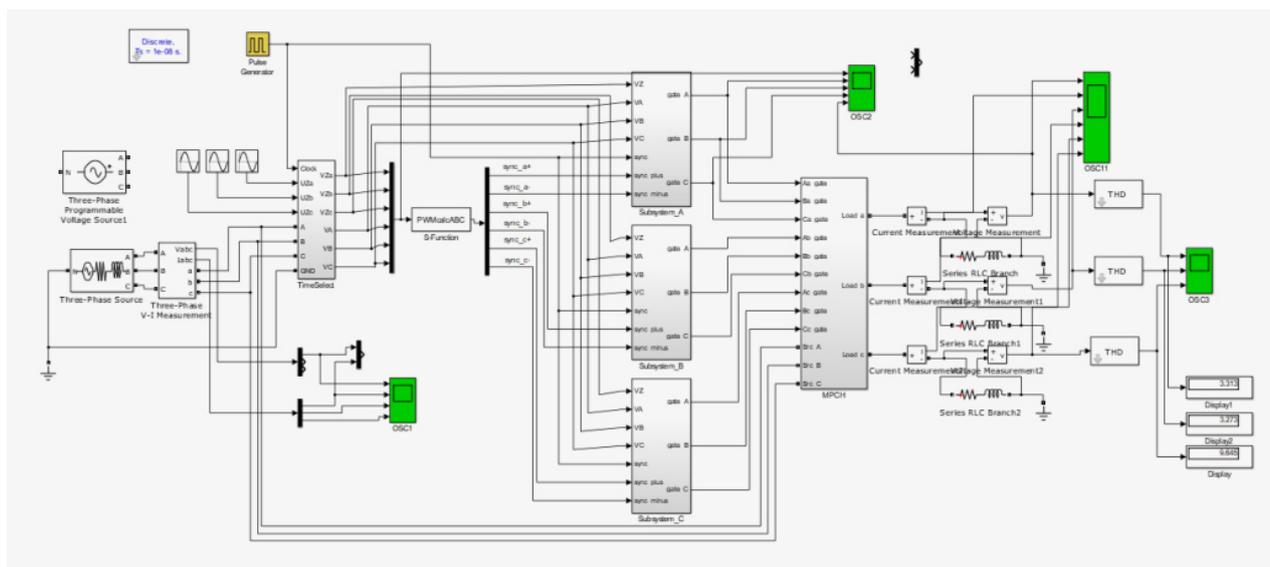


Рисунок 2 – Имитационная модель матричного преобразователя частоты с общей нейтралью.

В состав входят трехфазный симметричный генератор первичной сети (линейное напряжение 150 В, частота - 1200 Гц), триггерные блоки выборки-хранения значений напряжений, синхронный генератор МПЧ, три системы для расчета длительностей для знакопеременных сигналов, блок из девяти транзисторных ключей двусторонней проводимости, три источника задания

выходного напряжения МПЧ (частота выходной сети 400 Гц), блок выбора знакопеременных сигналов.

Для анализа работы модели рассмотрим работу МПЧ на трехфазную симметричную нагрузку при различных значениях нагрузки: 1) $R = 0.06 \text{ Ом}$, $L = 18 \text{ мкГн}$ (рис. 3 и рис. 4); 2) $R = 6 \text{ Ом}$, $L = 1.8 \text{ мкГн}$ (рис. 5 и рис. 6); 3) $R = 6 \text{ Ом}$ (рис. 7 и рис. 8). (Приведены осциллограммы выходных фазных напряжений и тока только для одной фазы, так как нагрузка симметричная).

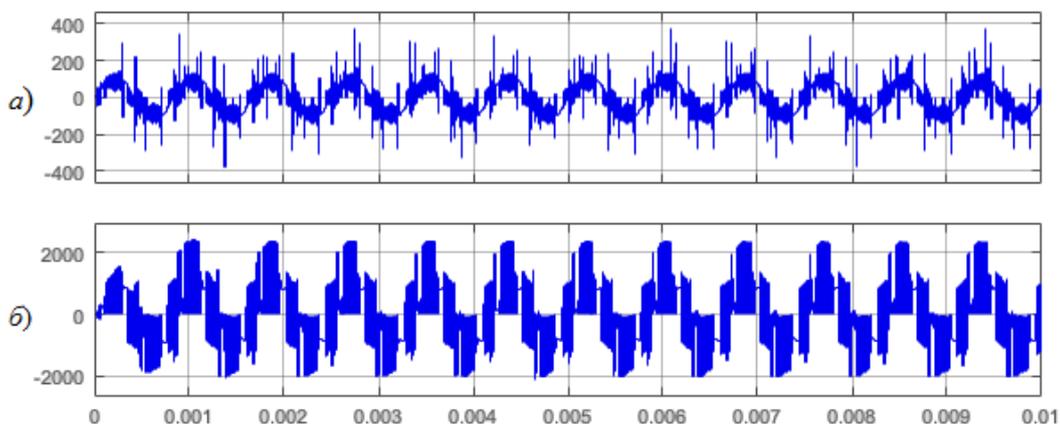


Рисунок 3 – Входное фазное напряжение (а) и входной фазный ток (б) МПЧ при $R = 0.06 \text{ Ом}$, $L = 18 \text{ мкГн}$.

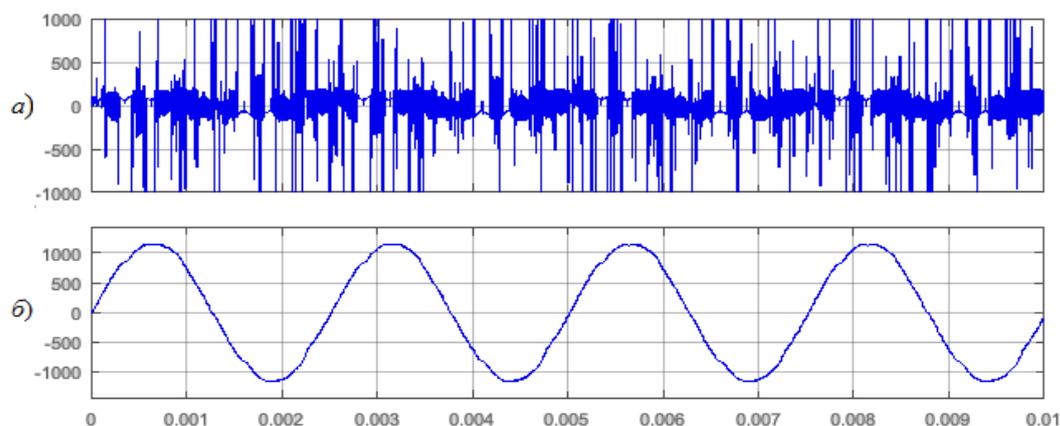


Рисунок 4 – Выходное фазное напряжение (а) и выходной фазный ток (б) МПЧ при $R = 0.06 \text{ Ом}$, $L = 18 \text{ мкГн}$.

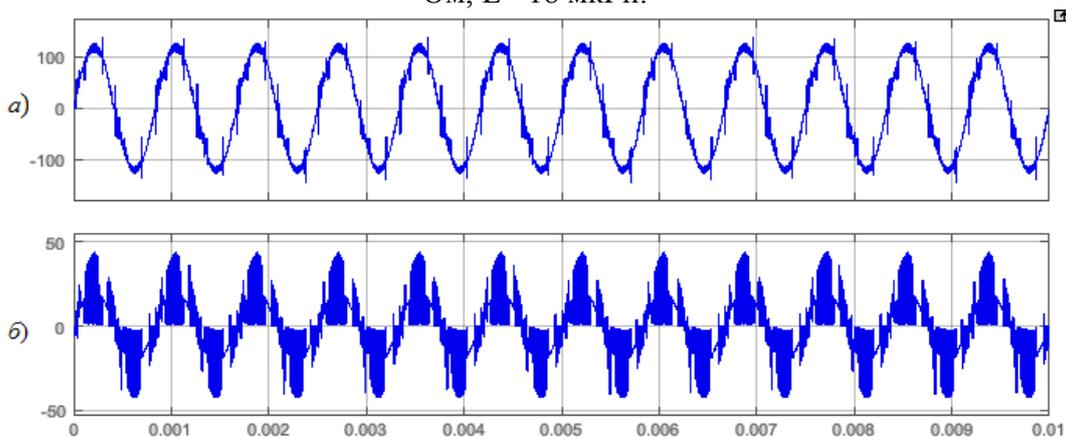


Рисунок 5. Входное фазное напряжение (а) и входной фазный ток (б) МПЧ при $R = 6 \text{ Ом}$, $L = 1.8 \text{ мкГн}$.

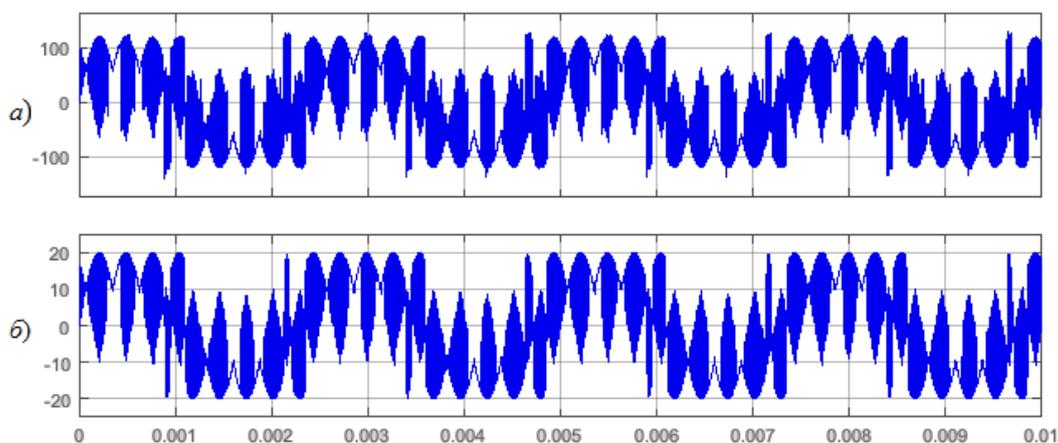


Рисунок 6 – Выходное фазное напряжение (а) и выходной фазный ток (б) МПЧ при $R=6\ \text{Ом}$, $L=1.8\ \text{мкГн}$

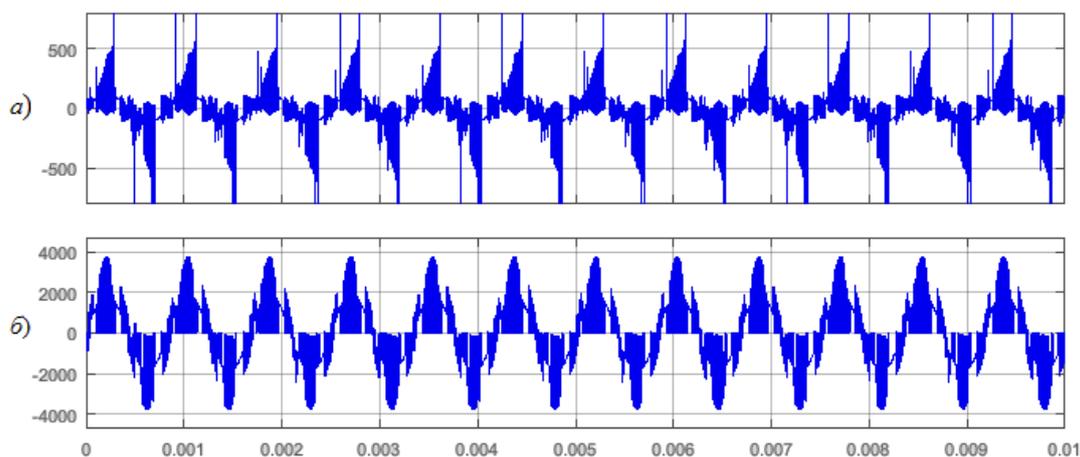


Рисунок 7 – Входное фазное напряжение (а) и входной фазный ток (б) МПЧ при $R=0.06\ \text{Ом}$.

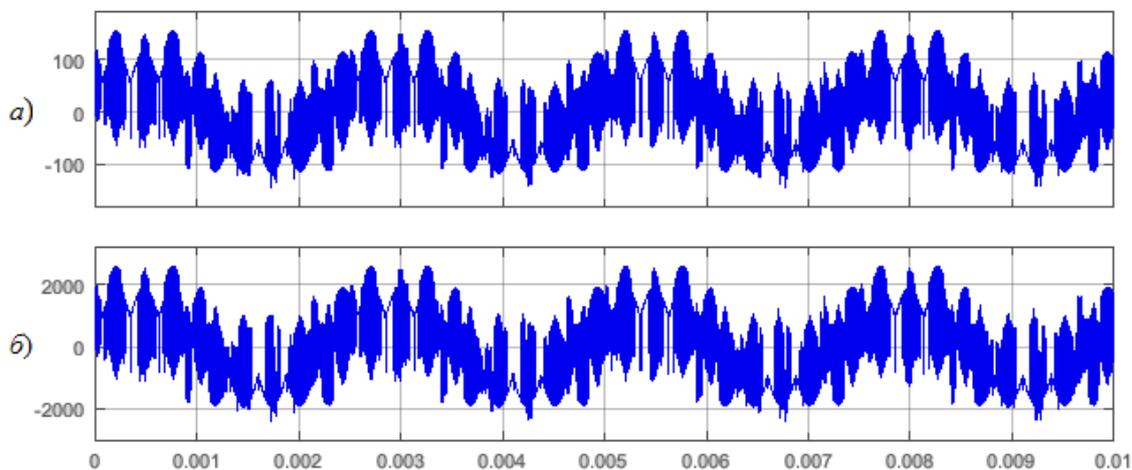


Рисунок 8 – Выходное фазное напряжение (а) и выходной фазный ток (б) МПЧ при $R=0.06\ \text{Ом}$.

Значения коэффициента гармонических искажений токов и напряжений при различных частотах первичного источника представлены в табл.1.

Таким образом, МПЧ, функционирующий по алгоритму скользящих режимов, имеет пульсации напряжений существенно ниже, чем МПЧ, работающий по алгоритмам «квазивыпрямления», следовательно, пагубное влияние, оказываемое им, на изоляционную систему питаемого оборудования, будет ниже, а следовательно ресурс работы оборудования существенно увеличится. Искаже-

ние спектров токов и напряжений обусловлены наличием гармонических составляющих высоких частот, возникающих вследствие высокочастотных коммутаций силовых ключей, определяемых алгоритмами управления. Применение скользящих режимов позволяет существенным образом снизить коэффициент гармонических искажений при питании МПЧ от источника, имеющего высокую мощность.

Таблица 1 – Значения коэффициента гармонических искажений (THD) входных и выходных токов и напряжений МПЧ при различных значениях нагрузки.

Значения коэффициента гармонических искажений (THD)			R, Ом	L, мкГн
Выходного тока	Выходного напряжения	Входного тока		
0.7108	0.7108	0.3285	0.06	0
0.0271	0.9978	0.6275	0.06	18
0.0164	0.7169	2.2568	0.06	1800
0.2961	0.7341	0.3249	6	18
0.647	0.7109	0.3004	6	1.8
0.7117	0.7117	0.4205	6	0

Литература

1. Шулакова Д. А., Кисляков М. А. Современные подходы к реализации матричных преобразователей частоты // ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика) Сб. трудов XX-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В. 3 т. Т.1. – 2023. – 277 с., С. 260-264.
2. Мещеряков В. Н. Энергосберегающий электропривод на базе матричного преобразователя частоты / В. Н. Мещеряков, Д. В. Байков // Электротехника : сетевой электрон. науч. журн. – 2015. – Т. 2. – № 2. – С. 35–39.
3. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2008. – 298 с.
4. Кисляков М.А., Крутиков К.К., Рожков В.В. Управление матричным непосредственным преобразователем частоты вторичных источников электропитания автономных объектов // Электричество. 2021. № 7. С. 41-50

*С.П. Курилин д.т.н., профессор; А.В. Патютин, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПОЛУЧЕНИЕ, ОБРАБОТКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ

Вопросы надежности в настоящий момент выходят на передний план. Это связано с растущей сложностью и комплексностью современных технических систем, стоимостью оборудования. Выход из строя единственной электрической машины способен привести не только к большим экономическим потерям, но и привести к человеческим жертвам из-за последовавшей за поломкой «цепной реакцией». По этой причине вопросы диагностики имеют высокую актуальность.

Задача исследования состоит в том, чтобы выявить рациональный метод диагностики технического состояния электрических систем на примере асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, выявить средства для его программной реализации и систематизировать полученную информацию для хранения с целью дальнейшего её использования.

В целом методы диагностики разделяются на: ремонтные методы и эксплуатационные методы.

В данной статье будут проанализированы эксплуатационные методы, так как они, в отличие от ремонтных методов, позволяют анализировать работу электромеханических систем, не выводя их из эксплуатации. Данное преимущество обеспечивает значительное превосходство в экономическом плане. Особенно это важно в системах, от которых требуется непрерывная безотказная работа, так как имеется возможность анализировать техническое состояние двигателя в реальном времени и возможно составить достоверный прогноз по дальнейшей его эксплуатации.

В настоящее время используются следующие эксплуатационные методы.

1. Анализ состава масла. Анализ масла на содержание металла, используемого в подшипниках, позволяет выявить наличие внутренних прогрессирующих повреждений.

2. Вибрационная диагностика в настоящий момент вибрационная диагностика является самым распространённым методом эксплуатационной диагностики. Однако, его крайне сложно внедрить в производство из-за дороговизны необходимого для анализа оборудования и наличия множества сторонних шумов, сопутствующих работе производственного оборудования, что сильно снижает точность проводимых измерений.

3. Токовые методы. Токовые методы основываются на использовании современного программного оборудования и устройств, которые обеспечивают пользователя данными о состоянии состояния электродвигателя полученными на основе обработки токовых диаграмм и анализа спектров с применением математических методов. Основными недостатками данного метода являются: необходимость учета влияния на электрические параметры двигателя, параметров питающей сети, характера нагрузки, воздействия внешних электромагнитных полей, переходных процессов в двигателе, сложность обработки данных.

4. Тепловой контроль. Контроль довольно прост в использовании и не требует высокой квалификации от обслуживающего персонала. Суть данного метода сводится к выявлению наиболее нагретых мест оборудования при помощи тепловизоров и термопар. Однако необходимость визуального «доступа» для работы тепловизоров и локальность измерения термопар, приводит к значительным ограничениям, как по точности измерений, так и по возможности их проведения в конкретных местах электродвигателя. Также нельзя отрицать возможности влияния внешних факторов на результаты исследований, такие как тепло, выделяемое от других устройств, неисправность системы вентиляции в помещении и так далее.

5. Метод переходных функций. Данный метод использует переходные функции (функции Грина) и предназначен для определения технического состояния электродвигателя и прогнозирования его остаточного ресурса. В данном методе испытатель обеспечивает питание асинхронного электродвигателя (АЭД) от источника импульсных напряжений. Воздействие

производится по различным направлениям векторного пространства электродвигателя с целью определения его характеристик и степени однородности. Исходя из реакций объекта на подаваемые на него сигналы, специальное программное обеспечение производит вычисление, анализ и хранение технических показателей для неповрежденного и поврежденного состояний АЭД. Наиболее перспективным среди методов эксплуатационной диагностики, является метод переходных функций, так как его результаты не подвержены влиянию окружающей среды, он не требует специальной подготовки персонала, а также не требует дорогостоящего оборудования. Данный метод предполагает использование программного обеспечения для осуществления анализа, обработки и хранения информации. Одна из подобных программ была разработана С.П. Курилиным, А.М. Соколовым, Н.Н. Прокимновым и представлена в публикации [1].

Программу можно разделить на несколько логических блоков.

1. Блок «База данных». База данных размещена в отдельной папке. Для базы создаётся отдельный файл формата «`bd`», данные в который заносятся либо с помощью самой программы, либо вручную, открыв расширение с помощью специальной программы или блокнота. База может содержать данные о нескольких электродвигателях. Информация вносится в виде даты и функций Грина.

2. Блок «Система поддержки/принятия эксплуатационных решений». Данный интерфейс предназначен для формирования прогнозных оценок эксплуатационного ресурса и значения вероятности безотказной работы ЭМС с помощью нормирующих значений, указанных в блоке «Значения норм». Прогнозные значения, а также предположительная информация о текущем состоянии ротора выводятся в соответствующие поля таблицы блока «Данные прогноза».

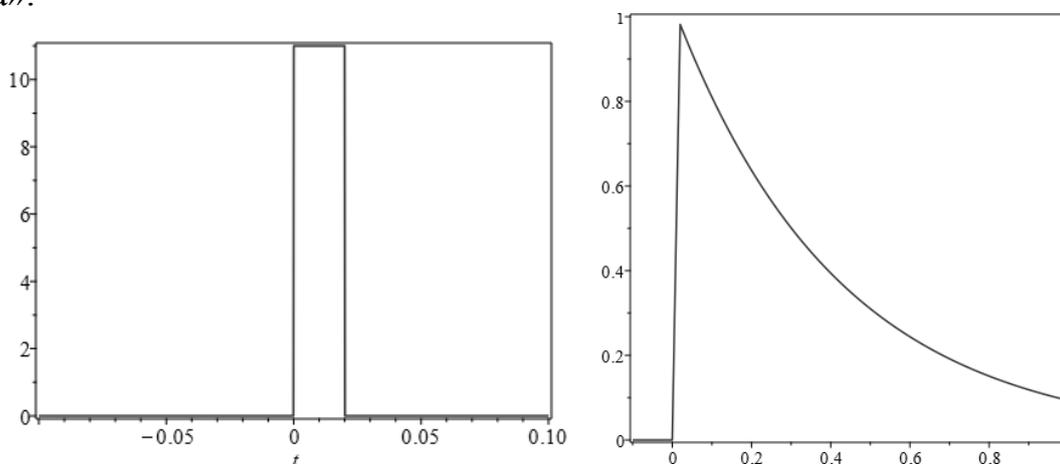


Рисунок 1 – Одиночный импульс напряжения, подаваемый на обмотку, и реакция исследуемого двигателя на него

Для ввода данных о новом двигателе необходимо задать его эталонную функцию Грина, причём в данной программе эталонной будет та функция, которую зададут первой.

Для получения функций Грина необходимо подать одиночный импульс на одну из обмоток, при этом ещё одна обмотка должна быть закорочена.

Всего необходимо провести три таких эксперимента с чередованием обмоток в каждом. Далее необходимо перевести двумерную матрицу в трёхмерную. Для этого необходимо использовать следующие преобразования:

$$i_A = \sqrt{\frac{2}{3}} i_{s\alpha 1}, \quad i_B = \frac{\sqrt{2}}{2} i_{s\beta 2}, \quad i_C = -\sqrt{\frac{2}{3}} i_{s\alpha 3}.$$

После чего полученные значения заносятся в матрицу Грина

$$G = \begin{pmatrix} 0 & i_{Bm} & i_{Cm} \\ i_{Am} & 0 & i_{Cm} \\ i_{Am} & i_{Bm} & 0 \end{pmatrix},$$

а оттуда в программу:

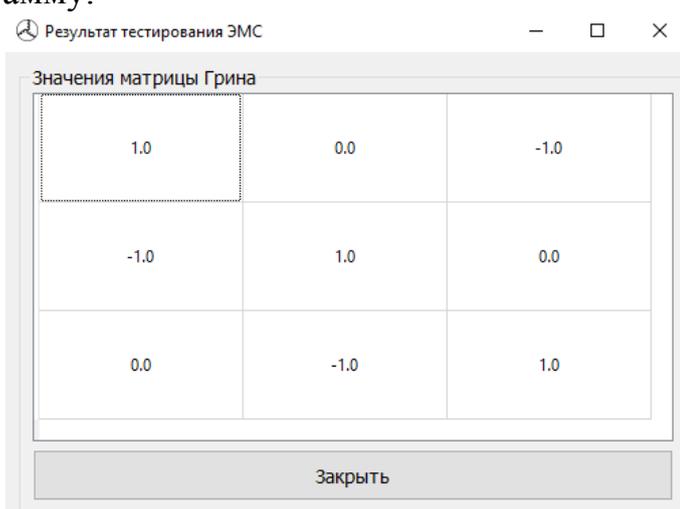


Рисунок 2 – Эталонная матрица

Следующие измерения проводятся через некоторый промежуток времени. Этот промежуток времени программа определит сама по дате на используемом компьютере.

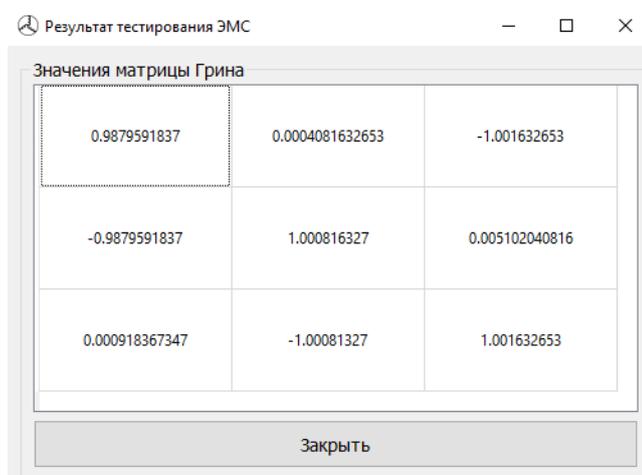


Рисунок 3 – Второе измерение

По результатам нескольких измерений программа позволяет вывести график зависимости вероятности безотказной работы ЭМС от времени эксплуатации и оценку остаточного ресурса.



Оценка эксплуатационного ресурса ЭМС в %

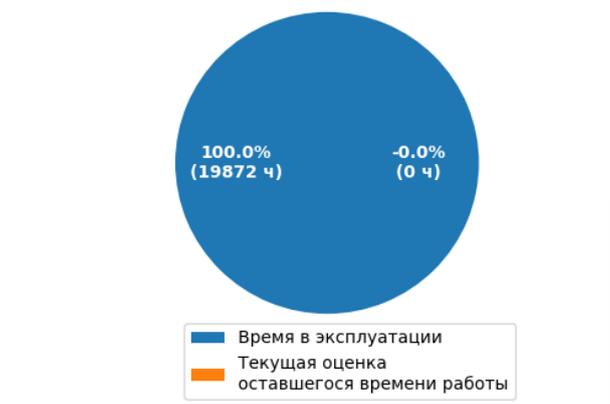


Рисунок 4 – Зависимость вероятности безотказной работы от времени эксплуатации и гистограмма оценки эксплуатационного ресурса

Таким образом метод переходных функций является наиболее применимым для эффективной эксплуатационной диагностики в местах, где необходима непрерывная работа двигателя. Однако основной недостаток данного метода заключается в требовании неподвижности ротора при исследовании. Это предполагает использование других методов диагностики в ходе фиксации неисправностей. Тем не менее, возможность собирать эксплуатационную статистику позволяет сделать вывод о работоспособности на протяжении эксплуатации серии электрооборудования. Таким образом осуществляется связь между потребителем и производителем оборудования для дальнейшего совершенствования устройств и устранения выявленных на производстве уязвимостей.

Литература

1. Курилин С. П., Соколов А. М., Прокимов Н. Н. Компьютерная программа для моделирования показателей технического состояния электромеханических систем // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 2. С. 105–119. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-2-105-119
2. Проектирование электрических машин: учебник для вузов / И. П. Копылов. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 828 с.
3. Барков А.В., Баркова Н.А. Интеллектуальные системы мониторинга и диагностики машин по вибрации // Труды Петербургского энергетического института повышения квалификации Минтопэнерго Российской Федерации и Института вибрации США. Вып. 9. Санкт-Петербург, 1999.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА НЕОДНОРОДНОГО МАГНИТОПРОВОДА

Испытания магнитопроводов электромеханических систем (ЭМС) и трансформаторов осуществляют на выпускных испытаниях изделия, проводя для них опыт холостого хода. В последние годы, с целью контроля текущего технического состояния, аналогичные испытания стали проводить и в ходе эксплуатации изделия. При этом мерами технического качества магнитопровода ЭМС служат ток холостого хода и его реактивная составляющая. Существенность этих показателей для оценки технического качества ЭМС подчёркивается тем, что государственные стандарты на электродвигатели, электрогенераторы и трансформаторы ограничивают сверху ток холостого хода и его реактивную составляющую в процентном выражении от номинального тока.

Следует отметить, что в последнее время усилилось внимание эксплуатирующего персонала к техническому состоянию электрооборудования. Это обусловлено общим повышением требований к надёжности, эффективности и безопасности как производимого, так и эксплуатируемого оборудования. Одним из направлений решения поставленной задачи является разработка способов, методов и технических средств диагностирования и контроля технического состояния электрооборудования на выпускных испытаниях и в ходе эксплуатации. В частности, это относится и контролю технического состояния магнитопроводов ЭМС.

Специфика текущего момента заключается в том, что наряду однородными электромеханическими системами (ОЭМС) необходимо оценивать техническое состояние и неоднородных электромеханических систем (НЭМС). Последние можно разделить на две группы.

Во-первых, это НЭМС с неоднородностью, приобретённой в процессе эксплуатации по причине эксплуатационного старения. Наиболее распространёнными проявлениями эксплуатационного старения электродвигателей являются: фрагментарное или однородное снижение магнитных свойств сердечников, фрагментарное окисление или разрушение электрических соединений в обмотках, фрагментарное разрушение изоляции проводников или листов сердечников, появление раковин и трещин в литых обмотках, нарушение радиальной или аксиальной равномерности воздушного зазора.

Во-вторых, это НЭМС с «врождённой» неоднородностью физических свойств. Примером могут служить синхронные явнополюсные машины с периодическими функциями распределения магнитной проводимости для главного магнитного поля. Другим примером являются линейные электрические машины с аperiodическими функциями распределения магнитной проводимости для того же поля. Следует отметить, что и в этом случае на

«врождённую» физическую (и, следовательно, параметрическую) неоднородность накладывает неоднородность, приобретённая в результате эксплуатационного старения.

Современное состояние научной стороны вопроса свидетельствует о том, что детально проработаны и оформлены в форме ГОСТ способы, методы и средства контроля технического состояния ОЭМС и трансформаторов [1]. Таковыми, как правило, являются вновь изготовленные устройства. Для них техническое тестирование позволяет проверить соответствие характеристик, в частности – тока холостого хода, требованиям ГОСТ. Что касается НЭМС, то способы, методы и средства контроля их технического состояния в настоящий момент только формируются. В данной статье представлен способ контроля технического состояния неоднородного индуктора линейного асинхронного электродвигателя (ЛАЭД), разработанный коллективом авторов на основе топологического подхода [2].

Способ определения технического состояния индуктора ЛАЭД.

Принципиальная схема индуктора представлена на рисунке 1, где показаны: 1 – сердечник индуктора, 2 – воздушный зазор, 3 – обмотка индуктора, С, А, В – оси фаз индуктора, О1, О2, О3 – оси импульсного воздействия на индуктор.

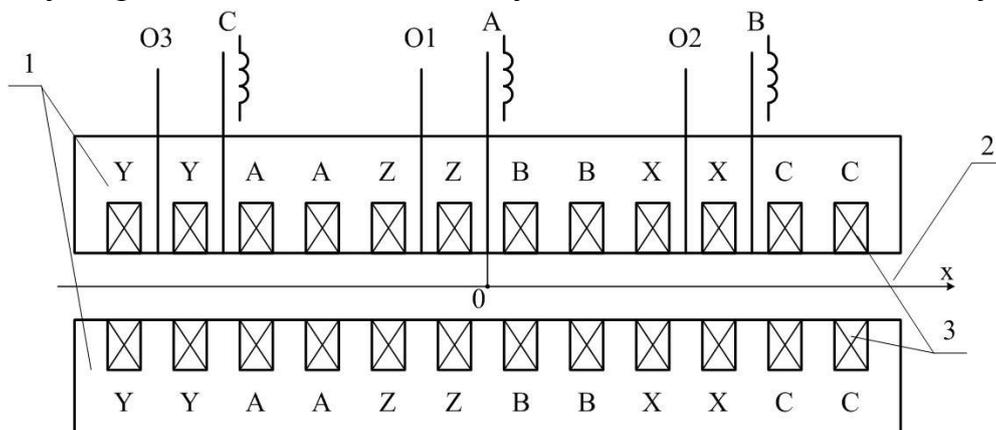


Рисунок 1 – Принципиальная схема индуктора ЛАЭД

Способ заключается в том, что тестирование устройства проводят в форме последовательности из трёх опытов, в каждом из которых формируют вектор-импульс питающего напряжения на одной из пространственных осей устройства О1, О2 или О3. В каждом опыте это осуществляют подачей уединённого узкого прямоугольного импульса напряжения, близкого по форме к дельта-функции Дирака, на соответствующую комбинацию фаз С, А, В обмотки, после чего в каждом опыте фиксируют импульсы токов $i_C(t), i_A(t), i_B(t)$ фаз С, А, В обмотки, вызванные приложением к ней вектор-импульса напряжения. При этом, в первом опыте уединённый узкий прямоугольный импульс напряжения подают на фазы А и В обмотки, формируя вектор-импульс питающего напряжения на оси О1, выделяют из импульсов токов фаз С, А, В обмотки амплитуды $i_{Cm1}, i_{Am1}, i_{Bm1}$ и сохраняют их в первом столбце матрицы Грина G в качестве координат амплитуды вектора-импульса тока первого опыта

$$G = \begin{pmatrix} i_{Cm1} & 0 & 0 \\ i_{Am1} & 0 & 0 \\ i_{Bm1} & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Во втором опыте уединенный узкий прямоугольный импульс напряжения подают на фазы В и С обмотки, формируя вектор-импульс питающего напряжения на оси О2, выделяют из импульсов токов фаз С, А, В обмотки амплитуды $i_{Cm2}, i_{Am2}, i_{Bm2}$ и сохраняют их во втором столбце матрицы Грина G в качестве координат амплитуды вектора-импульса тока второго опыта

$$G = \begin{pmatrix} i_{Cm1} & i_{Cm2} & 0 \\ i_{Am1} & i_{Am2} & 0 \\ i_{Bm1} & i_{Bm2} & 0 \end{pmatrix}.$$

В третьем опыте уединенный узкий прямоугольный импульс напряжения подают на фазы С и А обмотки, формируя вектор-импульс питающего напряжения на оси О3, выделяют из импульсов токов фаз С, А, В обмотки амплитуды $i_{Cm3}, i_{Am3}, i_{Bm3}$ и сохраняют их в третьем столбце матрицы Грина G в качестве координат амплитуды вектора-импульса тока третьего опыта

$$G = \begin{pmatrix} i_{Cm1} & i_{Cm2} & i_{Cm3} \\ i_{Am1} & i_{Am2} & i_{Am3} \\ i_{Bm1} & i_{Bm2} & i_{Bm3} \end{pmatrix}.$$

При этом в первом опыте фазу В соединяют параллельно-встречно с фазой А, а фазу С замыкают накоротко, во втором опыте фазу С соединяют параллельно-встречно с фазой В, а фазу А замыкают накоротко, в третьем опыте фазу А соединяют параллельно-встречно с фазой С, а фазу В замыкают накоротко. По элементам сформированной матрицы Грина рассчитывают амплитуды вектора-импульса тока в трёх опытах

$$i_{\mu 1} = \sqrt{i_{Cm1}^2 + i_{Am1}^2 + i_{Bm1}^2},$$

$$i_{\mu 2} = \sqrt{i_{Cm2}^2 + i_{Am2}^2 + i_{Bm2}^2}$$

$$i_{\mu 3} = \sqrt{i_{Cm3}^2 + i_{Am3}^2 + i_{Bm3}^2},$$

в качестве показателей величины намагничивающего тока по осям О1, О2, О3 рассчитывают амплитуды намагничивающих токов по этим осям

$$i_{o1} = \frac{(i_{Am1} - i_{Bm1})}{\sqrt{2}},$$

$$i_{o2} = \frac{(i_{Bm2} - i_{Cm2})}{\sqrt{2}},$$

$$i_{o3} = \frac{(i_{Cm3} - i_{Am3})}{\sqrt{2}},$$

в качестве показателей неравномерности распределения магнитных свойств по осям О1, О2, О3 рассчитывают углы отклонений вектор-импульсов тока от этих осей

$$\varphi_{o1} = \arccos\left(\frac{i_{o1}}{i_{\mu 1}}\right),$$

$$\varphi_{o2} = \arccos\left(\frac{i_{o2}}{i_{\mu 2}}\right),$$

$$\varphi_{03} = \arccos\left(\frac{i_{03}}{i_{\mu 3}}\right)$$

в качестве показателя величины намагничивающего тока магнитопровода индуктора рассчитывают среднее значение амплитуд намагничивающего тока по осям O1, O2, O3

$$i_0 = \frac{i_{01} + i_{02} + i_{03}}{3},$$

в качестве показателя неравномерности распределения магнитных свойств магнитопровода индуктора рассчитывают среднее значение углов отклонений вектор-импульсов тока от осей O1, O2, O3

$$\varphi_0 = \frac{\varphi_{01} + \varphi_{02} + \varphi_{03}}{3},$$

По рассчитанным показателям, путём их сравнения с показателями эталонного магнитопровода, судят о техническом качестве испытываемого магнитопровода, для чего рассчитывают отклонение показателя величины намагничивающего тока i_0 испытываемого магнитопровода от соответствующего показателя i_{03} эталонного магнитопровода и сравнивают его с допустимой величиной отклонения +5%,

$$\frac{i_{03} - i_0}{i_0} \leq 0.05,$$

рассчитывают отклонение показателя неравномерности распределения магнитных свойств φ_0 испытываемого магнитопровода от соответствующего показателя φ_{03} эталонного магнитопровода и сравнивают его с допустимой величиной отклонения +10%,

$$\frac{\varphi_{03} - \varphi_0}{\varphi_0} \leq 0.10.$$

При выполнении обоих неравенств делают вывод о высоком техническом качестве магнитопровода индуктора, при невыполнении хотя бы одного из неравенств делают вывод о низком техническом качестве магнитопровода индуктора.

Литература

1. Каганович Е.А., Райхлин И.М. Испытание трансформаторов мощностью до 6300 кВА и напряжением до 35 кВ. – М.: Энергия, 1980. – 314 с.
2. Kurilin S., Fedulov Y. and Sokolov A., Scientific Substantiation of Topological Diagnostics Methods of Electrical Equipment // 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russia, 2021, P. 288-293, DOI: 10.1109/ICIEAM51226.2021.9446356

Поддержка исследования

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-61-00096, <https://rscf.ru/project/22-61-00096/>

С.П. Курилин, д. т. н., проф.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВИЧНОГО КРАЕВОГО ЭФФЕКТА В ЛИНЕЙНОМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕ

Первичным краевым эффектом называют совокупность физических феноменов, присущих индукторам линейных электродвигателей. В частности, линейным асинхронным электродвигателям (ЛАЭД) свойственны следующие проявления первичного краевого эффекта:

1. Особая структура главного электромагнитного поля, включающая пульсирующие негармонические компоненты.
2. Неравномерное распределение фазного напряжения по катушкам обмотки.
3. Неравномерная загрузка токами параллельных ветвей обмотки.
4. Асимметрия фаз индуктора.

Приведенные проявления оказывают весомое влияние на выходные характеристики ЛАЭД – механическую характеристику, КПД и коэффициент мощности машины. Немаловажен также тот факт, что первичный краевой эффект требует изучения с точки зрения способов моделирования и способов проектирования линейных электродвигателей, увязывая эти способы с особенностями параметрической матрицы индуктора ЛАЭД и схемой его подключения к источнику питающего напряжения. В данной статье представлены результаты анализа обозначенного круга вопросов.

Математические модели индуктора ЛАЭД

На внешнем уровне первичный краевой эффект проявляется в виде асимметрии фаз. При этом набор и величины симметричных составляющих фазных токов и напряжений зависят от схемы подключения обмотки индуктора к источнику питания. На внутреннем (параметрическом) уровне первичный краевой эффект проявляется в виде особой структуры главной параметрической матрицы обмотки индуктора. В соответствии с данными [1] она является симметрической матрицей вида

$$x_{г.л} = x_m \begin{pmatrix} a & b & c \\ b & d & b \\ c & b & a \end{pmatrix},$$

с неравными собственными индуктивностями фаз a , d и неравными взаимными индуктивностями фаз b , c . Кроме того специфика индуктора ЛАЭД проявляется в форме записи уравнений баланса напряжений фаз обмотки индуктора. Так, для случая подключения обмотки индуктора к источнику напряжения по схеме «треугольник» эти уравнения имеют вид

$$\begin{pmatrix} u_C \\ u_A \\ u_B \end{pmatrix} = \left((R + jx_\sigma) \cdot E + jx_m \begin{pmatrix} a & b & c \\ b & d & b \\ c & b & a \end{pmatrix} \right) \begin{pmatrix} i_C \\ i_A \\ i_B \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $u_C = e^{j2\pi/3}$, $u_A = 1$, $u_B = e^{-j2\pi/3}$ – фазные напряжения обмотки индуктора, R , x_σ – активное и индуктивное сопротивление рассеивания обмотки индуктора, x_m – главное индуктивное сопротивление обмотки, a , b , c , d – относительные коэффициенты, задающие собственные и взаимные индуктивности фаз обмотки, i_C , i_A , i_B – токи фаз обмотки индуктора, j – мнимая единица, E – единичная матрица. Здесь и далее в качестве базового напряжения и тока приняты их номинальные фазные значения, а в качестве базового сопротивления принято отношение базового напряжения к базовому току.

Для случая подключения обмотки индуктора к источнику напряжения по схеме «звезда» уравнения баланса напряжений имеют вид

$$\begin{pmatrix} u_{AC} \\ u_{BA} \end{pmatrix} = (R + jx_{\sigma}) \cdot \begin{pmatrix} i_C - i_A \\ i_A - i_B \end{pmatrix} + \\ + jx_m \begin{pmatrix} a - b & b - d \\ b - c & d - b \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_C \\ i_A \end{pmatrix} + jx_m i_B \begin{pmatrix} c - b \\ b - a \end{pmatrix}, \quad (2) \\ i_B = -i_C - i_A.$$

где

$$u_{AC} = u_C - u_A = \sqrt{3}e^{j5\pi/6},$$

$$u_{BA} = u_A - u_B = \sqrt{3}e^{j\pi/6}$$

заданные линейные напряжения источника питания.

Сопоставление моделей (1) и (2) свидетельствует о том, что результаты расчёта токов при подключении индуктора к источникам питания по разным схемам соединения обмотки будут различны. Следствием этого явятся различные потребляемые мощности, тяговые усилия и показатели энергоэффективности ЛАЭД в тех же условиях. Ниже приведены результаты контрольного расчёта токов индуктора ЛАЭД.

Симметричные составляющие токов и напряжений

Симметричные составляющие фазных токов и напряжений рассчитывались с целью оценки их влияния на электромагнитное поле и эксплуатационные режимы ЛАЭД. Известно, что присутствие составляющих обратной последовательности в фазных токах негативно сказывается на электромеханических и энергетических характеристиках трёхфазных электродвигателей. Поскольку ЛАЭД несимметричное устройство и такие составляющие неизбежно присутствуют в его эксплуатационных режимах, постольку возникает вопрос о их допустимой величине. Ответ на него потребует обширных исследований различных групп ЛАЭД с целью определения границ и критериев их эффективной эксплуатации. При этом одним из таких критериев может быть ток обратной последовательности, рост которого с течением срока эксплуатации указывает на снижение технической и энергетической эффективности электродвигателя.

Симметричные составляющие фазных токов и напряжение нулевой последовательности рассчитывались по известным соотношениям метода симметричных составляющих.

Ток прямой последовательности

$$i_1 = \frac{1}{3}(i_A + i_B e^{j2\pi/3} + i_C e^{j4\pi/3}), \quad (3)$$

ток обратной последовательности

$$i_2 = \frac{1}{3}(i_A + i_B e^{j4\pi/3} + i_C e^{j2\pi/3}), \quad (4)$$

ток нулевой последовательности для схемы «треугольник»

$$i_0 = \frac{1}{3}(i_A + i_B + i_C), \quad (5)$$

напряжение нулевой последовательности для схемы «звезда»

$$u_0 = \frac{1}{3}(u_A + u_B + u_C). \quad (6)$$

Расчёт фазных токов и их симметричных составляющих при подключении индуктора к источнику номинального напряжения производился по (1) – (6) для индуктора ЛАЭД с характерными параметрами

$$R = 0.05, x_{\sigma} = 0.112, x_m = 0.81, \\ a = 0.94, b = -0.44, c = -0.10, d = 1.12.$$

В нижеследующей таблице 1 приведены результаты расчётов.

Таблица 1 – Результаты расчёта токов

	Действующие значения токов и напряжения		
	Обозначение	Схема «треугольник»	Схема «звезда»
1	i_C	0.961	0.978
2	i_A	0.786	0.704
3	i_B	0.934	0.967
4	i_1	0.878	0.875
5	i_2	0.169	0.171
6	i_0	0.077	-
7	u_0	-	0.030

Результаты расчётов свидетельствуют о том, что показатели асимметрии индуктора ЛАЭД при соединении фаз в схемы «треугольник» и «звезда» близки. В частности, основной показатель асимметрии – величина токов обратной последовательности, составляют 16,9% для «треугольника» и 17,1% для «звезды». Вместе с тем, схема «треугольник» демонстрирует большой ток нулевой последовательности 7,7%, что делает её использование в ЛАЭД нежелательным из-за повышенных электрических потерь в обмотке индуктора. Проявление нулевой последовательности в схеме «звезда» в виде потенциала нейтральной точки относительно слабее и составляет 3% от номинального напряжения.

В ходе расчётов оценивалось также влияние токов обратной последовательности на распределение главного электромагнитного поля вдоль индуктора. В расчётах использовались данные трёхфазного линейного электродвигателя для электроприводов цветной металлургии со следующими основными характеристиками: тяговая сила – до 1040 Н, скорость – до 12 м/с, частота питания – 50 Гц, линейная плотность возбуждающего тока – $5.64 \cdot 10^4$ А/м, число полюсов – 6, габариты – 0.72x0.2x0.17 м, величина немагнитного зазора индуктора – 10 мм, вторичный элемент – пластина из сплава алюминия толщиной 5 мм. Расчётная модель, принятые базовые величины, подробные технические данные ЛАЭД приведены в [2]. В соответствии с [2] выражение для волны комплексной амплитуды векторного магнитного потенциала главного магнитного поля ЛАЭД $A_m(x)$ при его возбуждении 2р-полюсной эллиптической волной тока

$$I_m(x) = \sum_{i=1}^2 J_{mi} \cdot e^{j(-1)^i \cdot 2p\pi x}$$

в относительных единицах выглядит следующим образом:

$$A_m(x) = \frac{1}{2\lambda\delta} \cdot e^{\frac{Vx}{2}} \cdot \sum_{i=1}^2 J_{mi} f_i(x), \quad (7)$$

где J_{m1}, J_{m2} - амплитуды волн линейной плотности возбуждающего тока прямой и обратной последовательности; x - пространственная координата по направлению движения вторичного элемента ЛАЭД.

Комплексная амплитуда магнитной индукции главного магнитного поля рассчитывалась по выражению

$$B_m(x) = \frac{dA_m(x)}{dx}. \quad (8)$$

На рисунке 1 показаны рассчитанные по (7) – (8) распределения амплитуд магнитного поля вдоль пространственной координаты индуктора при неподвижном вторичном элементе и токе обратной последовательности величиной в 30% от первичного тока.

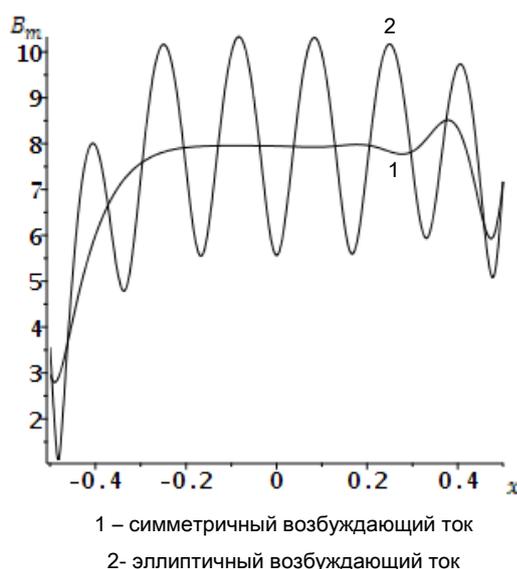


Рисунок 1 – Огибающие амплитуды магнитной индукции

Расчёты свидетельствуют о том, что при питании ЛАЭД эллиптическим током распределение магнитной индукции приобретает пульсирующий характер, что свидетельствует о проявлении волны магнитной индукции, перемещающейся в отрицательном направлении пространственной координаты. Данная волна создаёт тормозное усилие и снижает суммарную тяговую силу электродвигателя.

Выводы

Результаты математического моделирования режимов работы индуктора ЛАЭД свидетельствуют о том, что показатели асимметрии фаз индуктора ЛАЭД при соединении фаз в схемы «треугольник» и «звезда» близки.

Выявленных в ходе исследования зависимости компонентного состава симметричных составляющих фазных токов и составляющих главного магнитного поля от схемы подключения обмотки индуктора к источнику питания должны учитываться при проектировании ЛАЭД, поскольку оказывают существенное влияние на их выходные характеристики.

В качестве индикатора текущего технического состояния индуктора ЛАЭД целесообразно использовать величину тока обратной последовательности.

Питание ЛАЭД от источника симметричного трёхфазного напряжения является обоснованным в таких технических системах, в которых КПД электропривода не оказывает существенного влияния на КПД всей системы, а повышенные габариты электропривода компенсируются отказом от устройств редукации и преобразования вида движения.

Литература

3. Курилин С.П., Денисов В.Н. Топологические аспекты теории Асинхронных электрических машин – Смоленск: издательство УНИВЕРСУМ, 2019.
4. Курилин С. П., Рубин Ю. Б., Дли М. И., Денисов В. Н. Модели и методы проектирования линейных электродвигателей для цветной металлургии. «Цветные металлы». 2021. № 11. С.83 – 90. DOI: 10.17580/tsm.2021.11.12

Поддержка исследования

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-61-00096, <https://rscf.ru/project/22-61-00096/>

Т.С. Ларькина, ст. пр.,

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЯЕМОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМЫ ТРН-АД В ПАКЕТЕ МАТЛАВ

Режиму пуска асинхронных двигателей характерно присутствие свободных и вынужденных составляющих потока и тока.

Для переходных электромагнитных моментов присущ знакопеременный характер, что в свою очередь формирует общую задачу управления относительно максимального их снижения [1].

Система «Тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» (ТРН-АД) может обеспечивать снижение переходных составляющих тока намагничивания при снижении скорости возрастания прилагаемого напряжения.

Для подавления знакопеременных электромагнитных моментов и исходя их простоты реализации наибольший интерес представляет нарастание приложенного напряжения по экспоненциальному закону [2, 3]:

$$U = U_{уст} \cdot [(1 - e^{-t/T})], \quad (1)$$

где $U_{уст}$ – величина установившегося значения прилагаемого напряжения, В;

T – величина постоянной времени, которая задает темп возрастания напряжения, с.

Управление скоростью изменения величины прилагаемого напряжения для системы ТРН-АД с фазовым управлением произведем путем воздействия на угол отпирания тиристоров по экспоненциальному закону следующим образом:

$$\alpha = \alpha_0 \cdot e^{-t/T}, \quad (2)$$

где α_0 – величина начального угла открытия тиристоров, град;

T – величина постоянной времени, с.

Пример реализации модели системы ТРН-АД для исследования работы на активно-индуктивную нагрузку в пакете MATLAB Simulink приведена на рис. 1.

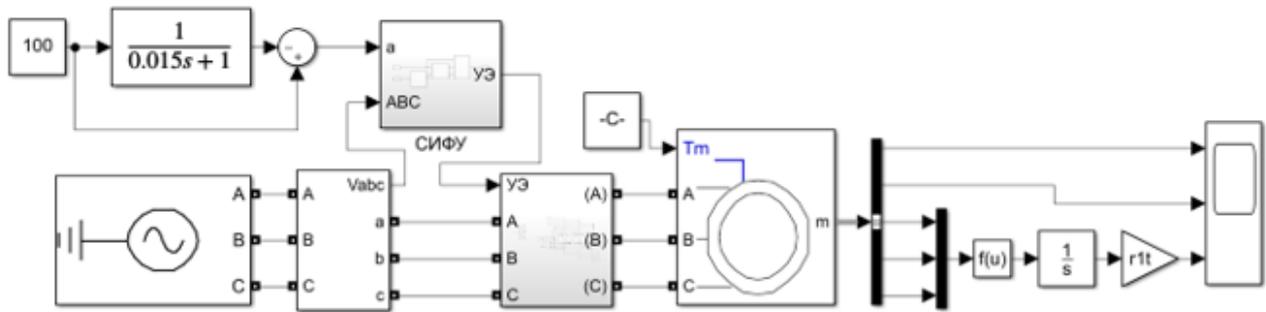


Рисунок 1 – Модель ТРН для исследования работы на активно-индуктивную нагрузку

Переходные процессы пуска асинхронного двигателя при прямом включении к сети и управляемом пуске в системе ТРН-АД приведены на рис. 2 - 5 соответственно.

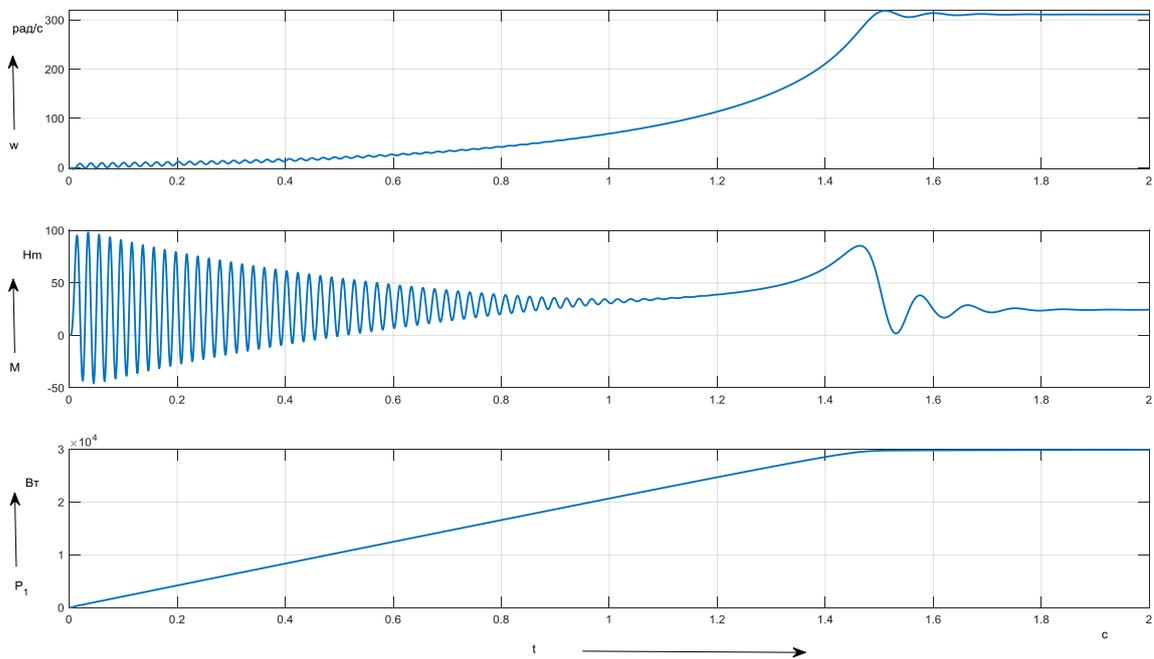


Рисунок 2 – Переходные процессы АД при прямом пуске

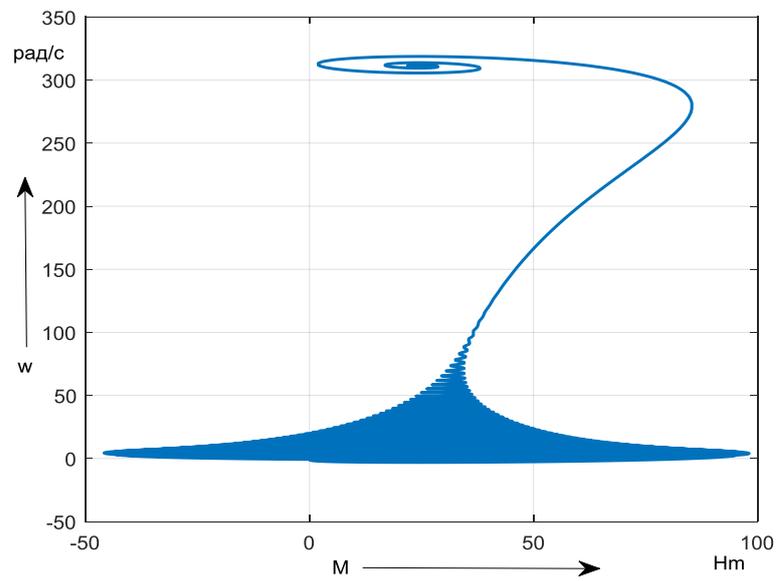


Рисунок 3 – Механическая характеристика АД при прямом пуске

Среднее значение момента при прямом пуске составляет 32.91 Н·м.

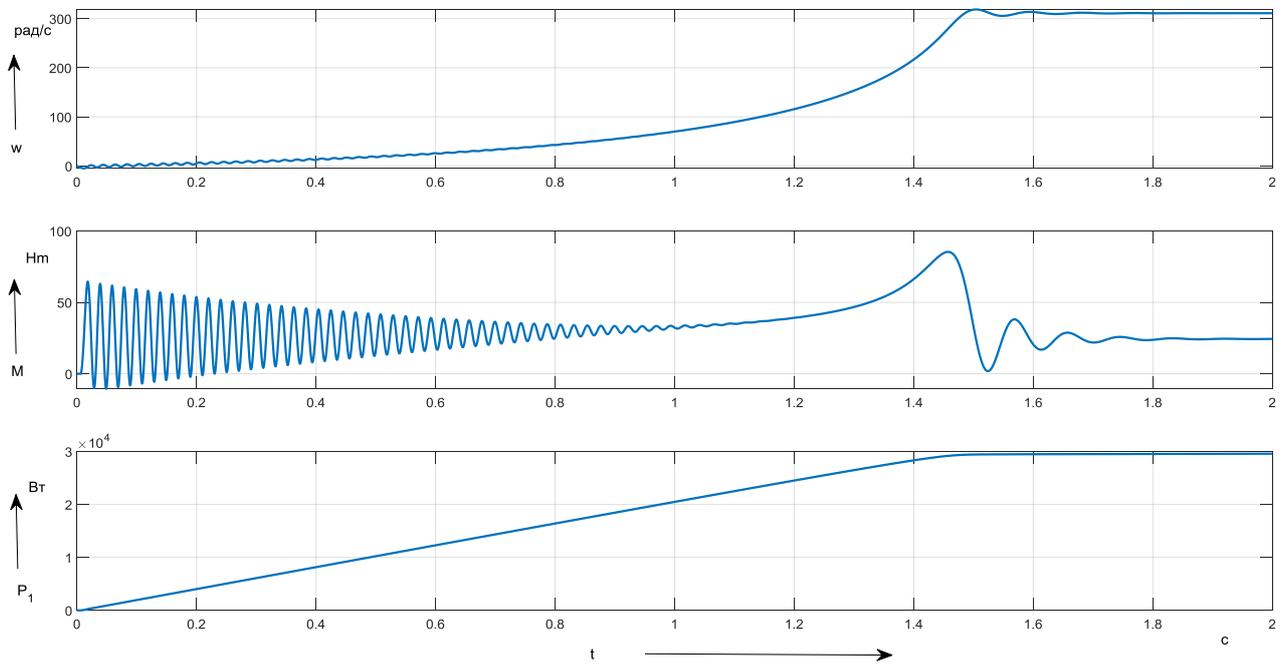


Рисунок 4 – Переходные процессы АД при управляемом пуске

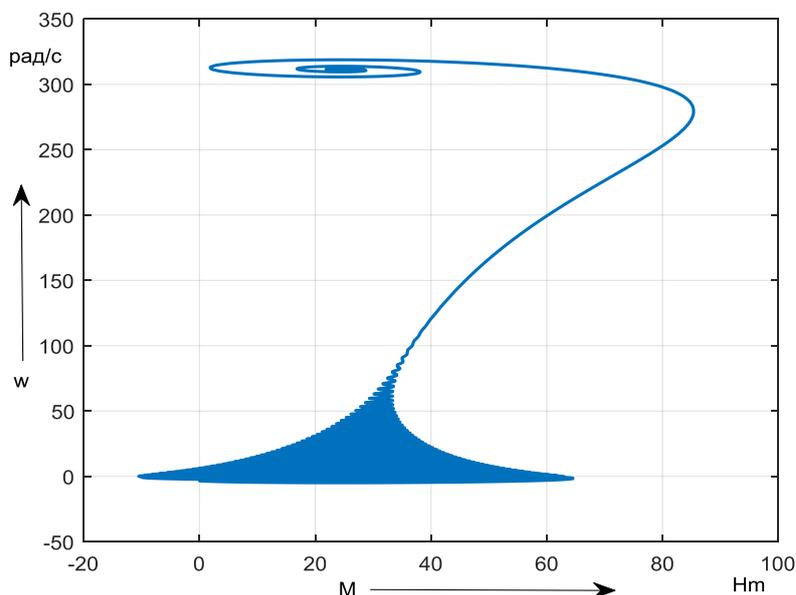


Рисунок 5 – Механическая характеристика АД при управляемом пуске

Среднее значение момента при управляемом пуске составляет 32.92 Н·м.

Можно сделать вывод, что при управляемом способе пуска асинхронного двигателя в системе «ТРН-АД» при экспоненциальном законе управления реализуется ограничение знакопеременных переходных моментов в отсутствие снижения быстродействия электропривода в целом.

Литература

1. Ильинский, Н.Ф. Основы электропривода.: Учебное пособие для вузов / Н.Ф. Ильинский. - М.: МЭИ, 2007. - 224 с.
2. Анучин, А.С. Системы управления электроприводов / А.С. Анучин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. - 373 с.
3. Аксенов, М.И. Моделирование электропривода: Учебное пособие / М.И. Аксенов. - М.: Инфра-М, 2014. - 104 с.

*В.В. Рожков, к.т.н., доц.; С.Р. Трофименко, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ГОСТ ИЗ ОТЧЕТОВ В СРЕДЕ ALTIUM DE- SIGNER

При разработке печатных плат в современных системах автоматизированного проектирования (САПР), например, в среде ALTIUM DESIGNER, инженер-проектировщик на предприятии сталкивается не только с монотонной трассировкой дорожек, подгонкой посадочных мест, но и с созданием технической документации на печатную плату по российским ГОСТ. В современной цифровой реальности в САПР это можно сделать достаточно быстро различными способами. Например, для экономии времени интерес вызывает возможность автоматизировать генерацию перечня элементов и покупной ведомости, а не переделывать при любом изменении проекта существенную часть этого технического документа. Описание оригинального алгоритма такой автоматизации и является целью настоящей статьи.

Для специалиста-проектировщика очевиден вопрос – почему не использовать стандартный плагин для вывода перечней напрямую из программы? Кроме приведенного выше минуса, есть и еще один формальный момент – это вывод документации файлом Excel, который не соответствует рамке чертежа по ГОСТ, а также необходимость каждый раз заполнять основную надпись.

Для решения проблемы описанной выше необходимо лишь сделать конвертер BOM подобно [1] в перечень по ГОСТ. BOM (Bill of Materials/Состав изделия) – представляет собой один из ключевых элементов набора данных, формируемых из проекта платы. Этот тип документа представляет список всех компонентов электротехнического устройства, необходимых для создания изделия, в том числе и деталь платы. BOM выступает как руководство для того, что необходимо закупить для создания изделия в том виде, в котором оно было спроектировано. Он также предоставляет средства для расчета стоимости на основе количества плат, которые будут изготовлены в серии.

Последовательность действий для работы с программой:

1. В среде ALTIUM DESIGNER выбираем меню Reports-> Bill of Materials. Результат применения команды показан на рисунке 1.

2. Делаем сортировку по Description (описанию элементов проекта) и Designator. Поле Designator (обозначение) является дочерним параметром схемного компонента (секции).

Оно используется, чтобы однозначно определять размещенные компоненты и отличать их от прочих компонентов, размещенных на листах схем в проекте (см. рисунок 2).

Остальные поля можно добавлять по желанию — подсчет компонентов и вывод их ведется по этим двум полям. Вывод осуществляется в удобном структурном формате XML, доступном для открытия любым браузером.

3. Запускаем встроенную программу GostBomCreator.exe (см. рисунок 3.)

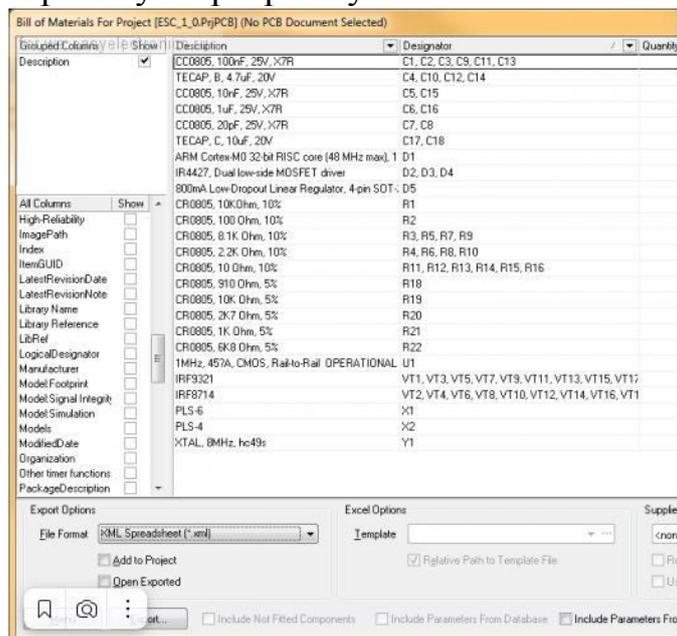


Рисунок 1 – Окно BOM в среде ALTIUM DESIGNER

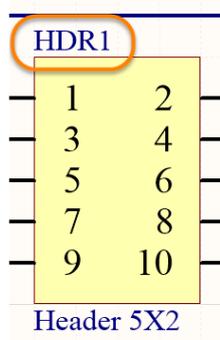


Рисунок 2 – Поле Designator для идентификации компонентов в проекте

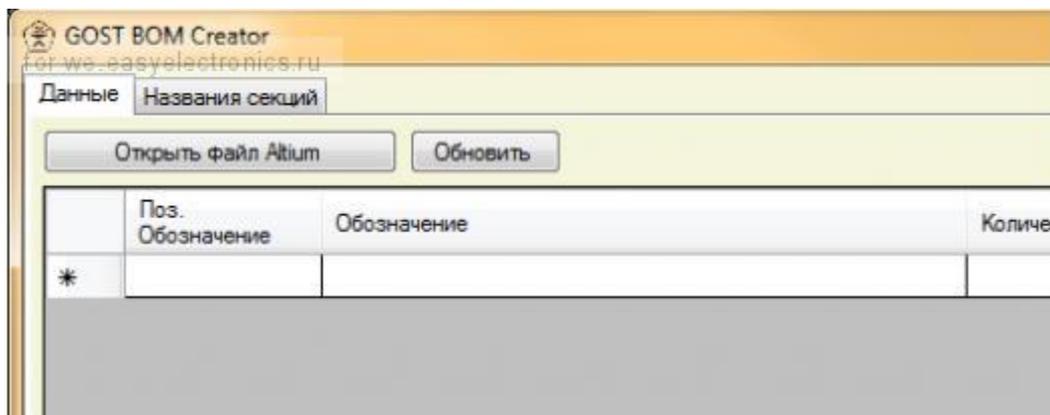


Рисунок 3 – Программа GostBomCreator

Далее следует применить команду «Открыть файл Altium». При этом пользователем выбирается и открывается нужный файл.

4. Получаем в результате перечень элементов, представленный на рис. 4.

Поз. Обозначение	Обозначение	Количество
* * * *		
C102...C108	Сapacitor, Ceramic, 10%, 0805, 50V, 0.1uF	7
C109	Сapacitor, Ceramic, 10%, 0805, 50V, 100pF	1
	Микросхемы	
D1...D11	BZV55-B3V3	11
D12...D14	2Д706АС9	3
D15...D18	КР2012НД	4
D19, D20	2Д706АС9	2
D21...D23	10ВQ040	3
D24...D30	2Д212А	7
G1	КХO-V97 11.0592 MHz	1
U1	PLC 3	1

Рисунок 4 – Перечень элементов в программе GostBomCreator

Если результат устраивает конструктора, применяется опция «Сохранить результат в Word». Создание файла осуществляется через библиотеку Office Excel, то есть тем самым запускается приложение, которое создает книгу, создает страницы, рисует таблицы, их заполняет. А по результатам этих действий затем запрашивает, можно ли перезаписать файл, если таковой имеется, повторно.

5. В новом файле уже в офисном формате Word теперь имеются сформированные листы (первый, последующие), с нумерацией, разметкой и т.п. (см. рисунок 5).

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Кварцевые резонаторы			
BQ1	РПК-01 НС-49U 12 МГц 6ВС	1	импорт
Конденсаторы			
C1, C2	Конденсатор ЧИП 0805 Y5V 22 пФ±10%	2	импорт
C3-C13	Конденсатор ЧИП 0805 Y5V 0,1 мФ±10%	11	импорт
C14, C15	Конденсатор K50-35-1000 мкФ ОЖО.464.214ТУ	2	
C16, C17	Конденсатор K50-35-10 мкФ ОЖО.464.214ТУ	2	
C18, C19	Конденсатор ЧИП 0805 Y5V 0,1 мФ±10%	2	импорт
C20	Конденсатор K50-35-10 мкФ ОЖО.464.214ТУ	1	
Микросхемы			
D1	PIC18F4585 IPT	1	импорт
D2	MCP2551 I/SN	1	импорт
D3, D4	TLE6220 GP	2	импорт
D5	TLE6240 GP	1	импорт
D6-D12	74HC373D	7	импорт
D13	TLE5208-6G	1	импорт
DA1	AD712R	1	импорт
DA2	MAX532BEWE	1	импорт
DA3, DA4	MAX525BEEE	2	импорт
DA5-DA10	AD712R	6	импорт
DD1	DG408DY	1	импорт
DD2	AMD660AR	1	импорт
DD3	TL431ID	1	импорт
МИВУ.468332.001 ПЭЗ			
Изм. лист	№ докум.	Подп.	Изм.
Разраб. Куликов А.В.			
Прооб. Перемыш Р.Б.			
Узел сопряжения			Лит. Лист Листов
Перечень элементов			МИВлГУ ЭВС-105
Изм. лист	№ докум.	Подп.	Изм.
Н. контр. Перемыш Р.Б.			
Упр. Куликов А.В.			

Рисунок 5 – Результат работы программы.

По рис. 5 видно, что утилита способна на следующее:

- импорт BOM листа в формате XML;
- группировку элементов по наименованию;
- именованые групп;
- настройку пустых строк до и после групп;
- настройку разделителя у группируемых элементов, например, микросхем “D6-D12”;

В итоге удалось разработать генератор технической документации из файлов среды ALTIUM DESIGNER на языке C#.

Литература

1. Проектирование печатных плат в ALTIUM DESIGNER . /Лопаткин А. В.: 2014. – 129с.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИДЕАЛЬНОГО ИНКРЕМЕНТАЛЬНОГО ОПТИЧЕСКОГО ЭНКОДЕРА

Выполнение задач слежения и позиционирования, связанных с изменением положения объекта управления в пространстве с течением времени, независимо от применяемого привода, требует наличия датчика положения (ДП) в составе системы регулирования. Иначе получение требуемой точности работы механизма или не реализуемо, или требует введения в систему управления идентификатора положения, практические решения которых пока не могут конкурировать по точности с системами с датчиком. Ранее при разработке систем управления позиционными и следящими приводами в качестве ДП широкое распространение имели синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы (СКВТ) и сельсинные пары (СП).

В настоящее время им на смену пришли энкодеры. Эти цифровые ДП претерпели большое количество модификаций. Некоторые из них имеют много общего с используемыми ранее датчиками положения типа СКВТ и СП. По принципу определения положения энкодеры можно разделить на два типа, а именно: инкрементальные и абсолютные. Большое распространение в промышленности получили энкодеры инкрементального типа, что связано с простотой их изготовления и небольшой стоимостью по сравнению с абсолютными энкодерами. Как правило, энкодер на своем валу имеет жестко закрепленный диск (ротор энкодера) с нанесенными на него метками, находящийся внутри светонепроницаемого корпуса.

На роторе абсолютного энкодера имеется несколько колец с различным количеством меток. Комбинации меток от колец можно представить в виде двоичного кода, где «0» соответствует затемненной метке, а «1» – прозрачной. Таким образом, позиция вала энкодера кодируется в двоичной системе, которая описывает положение вала ДП в пространстве. От количества колец и меток зависит разрядность абсолютного энкодера и, как следствие, обеспечиваемая им в приводе точность. Ротор инкрементального энкодера имеет, как правило, три кольца. Первое и второе кольцо имеют одинаковое количество прозрачных меток, но кольца сдвинуты друг относительно друга на 90 градусов. Третье кольцо имеет всего одну метку, которая выступает в качестве точки нулевого положения вала. В инкрементальном энкодере не используется термин «разрядность». Для него точность оценивается количеством импульсов на оборот, которое зависит от количества прозрачных меток на роторе энкодера.

Распространенными вариантами считывания меток с колец энкодеров являются: механический, магнитный и оптический. При механическом считывании между метками ротора энкодера и электрической частью, обрабатывающей результаты положения, имеется механический контакт, по которому производится считывание. Магнитный способ считывания является бесконтактным, но при этом на конце вала вращающейся машины должен

присутствовать небольшой двухполюсный магнит, а в качестве обработчика положения выступает датчик Холла, т.е. при таком варианте энкодер не имеет диска с метками. Оптический способ обработки при помощи оптопар является наиболее распространенным и надежным. При этом для обработки меток используется комбинация из источника света (светодиод) и приемника света (фотодиод), расположенных между диском с метками.

Анализ отечественных и зарубежных публикаций и патентов показывает интерес исследователей к методам обработки скорости с использованием энкодера в качестве датчика скорости (ДС) [1], [2]. К примеру, в [1] сделан анализ существующих методик оценок скорости и предложен авторский вариант ДС. Рассматриваются вопросы практической реализации и проблемы, возникающие при этом. В [2] запатентован гибридный вариант ДП с использованием специфической комбинации цифровых и аналоговых сигналов. В данной же статье будет рассматриваться предлагаемая модель «идеального» оптического инкрементального энкодера, который доступен к применению в электроприводах как ДП. В этой связи, целью статьи является построение модели идеального оптического инкрементального энкодера, отражающего реальную работу энкодера при отсутствии внешних возмущений и ошибок.

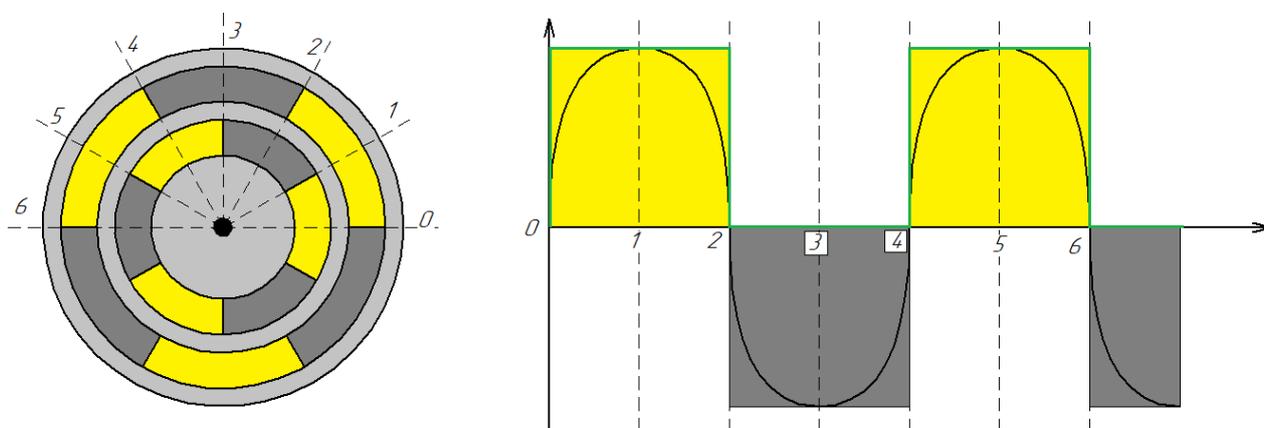


Рисунок 1 – Схема инкрементального энкодера и диаграмма его работы

Анализ работы датчика для дальнейшего построения его модели проводится с использованием энкодера, изображенного на рисунке 1 слева. Этот ДП имеет два кольца, смещенных друг относительно друга на 90 градусов, и каждое кольцо формирует три импульса на один полный оборот. Внешнее кольцо характеризует работу сигнала А, а внутреннее – сигнала В.

Дальнейшее рассмотрение работы энкодера проведем с использованием внешнего кольца. На рисунке 1 справа тонкой зеленой линией изображен выходной сигнал энкодера, доступный наблюдателю (последовательность импульсов «0» и «1»). При этом наблюдаются моменты времени, в которые положение вала меняется, а фиксация этого не происходит (зона нечувствительности), к примеру, в точках 1, 3, 5. Справа здесь также изображена гипотетическая синусоида, характеризующая закон изменения светового потока при вращении энкодера по часовой стрелке. Желтым цветом на рисунке 1

выделен участок, соответствующий прозрачной метке, а темно-серым – участок, соответствующий затемненной метке. Таким образом, в зоне нечувствительности при оценке положения имеется статическая некомпенсируемая ошибка.

Используемые в [1] формулы для оценки времени переключения состояния с высокой точностью определяют это значение, исходя из скорости вращения вала энкодера. При этом, если анализировать рисунок 1 справа, то изменение счетчика на единицу (т.е. время переключения) соответствует состоянию 4. Использование выражений из [1] даст последовательность импульсов энкодера, но не содержит информации о положении его ротора в пространстве в пределах длительности одного импульса. Полагая, что изменение положения ротора энкодера в пространстве дает синусоидальный сигнал, зависящий от уровня освещенности фотодиода, предлагается доработать модель идеального энкодера. Можно к полученным по [1] цифровым импульсам добавить ещё и аналоговый синусоидальный сигнал, имеющийся в соответствии с оптическими законами, но не доступный в существующих ДП рядовому пользователю. Такой подход позволит вносить неточности аналоговой техники при расчетах, тогда как в [1] авторы имитируют подобные погрешности в виде постоянных величин при моделировании.

Для получения аналогового сигнала и разработки модели, принимаем, что угол, занимаемый на диске ротора энкодера прозрачной меткой и, являющийся, по сути, зоной нечувствительности в реальном энкодере, определяется как:

$$\varphi_{\text{метки}} = \frac{2 \cdot \pi}{2 \cdot N},$$

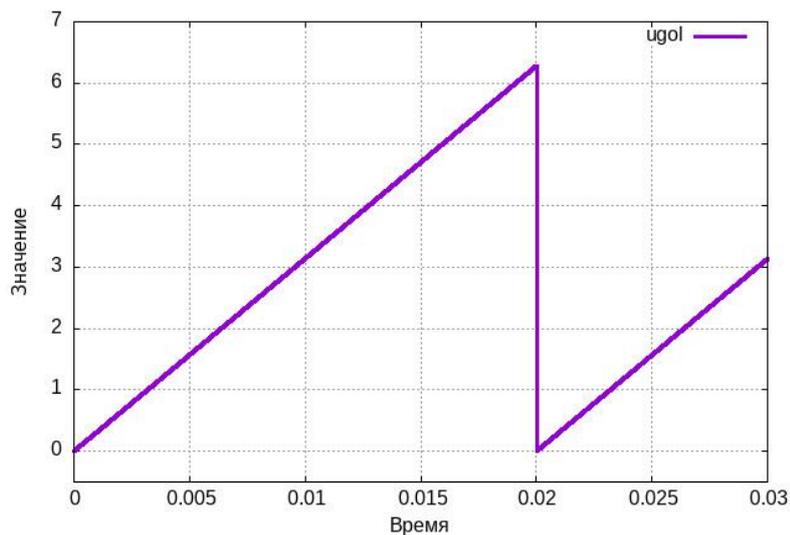
где $2 \cdot \pi$ соответствует одному полному обороту диска на 360 градусов; N – число импульсов энкодера на 1 оборот (паспортный параметр). В связи с тем, что увеличение значения энкодера происходит при прохождении через световой луч сначала открытой метки, а потом закрытой, и лишь при появлении вновь открытой метки интенсивность освещенности увеличивается, то зазор метки нужно разделить на 2. Угол, приходящийся на изменение одного состояния энкодера, равен:

$$\varphi_{\text{импульса}} = 2 \cdot \varphi_{\text{метки}}.$$

Зная угол положения вала ротора двигателя относительно неподвижного основания, необходимо определить соответствие точке области $\varphi_{\text{импульса}}$ энкодера. Для этого из угла абсолютного положения вала ротора вычитается угол импульса, до тех пор, пока исходный угол не станет меньше или равным углу импульса. После этого необходимо перейти к новой системе отсчета, полагая, что угол импульса соответствует 360 градусов. Последнее необходимо для формирования последующей синусоиды, характеризующей интенсивность светового потока через метку. Для этого рассчитывается процент полученного угла от угла импульса:

$$\chi_{\text{импульса}} = \frac{\varphi_{\text{рассчитанный относительно импульса}} \cdot 100}{\varphi_{\text{импульса}}}.$$

Изменение угла



Работа энкодера

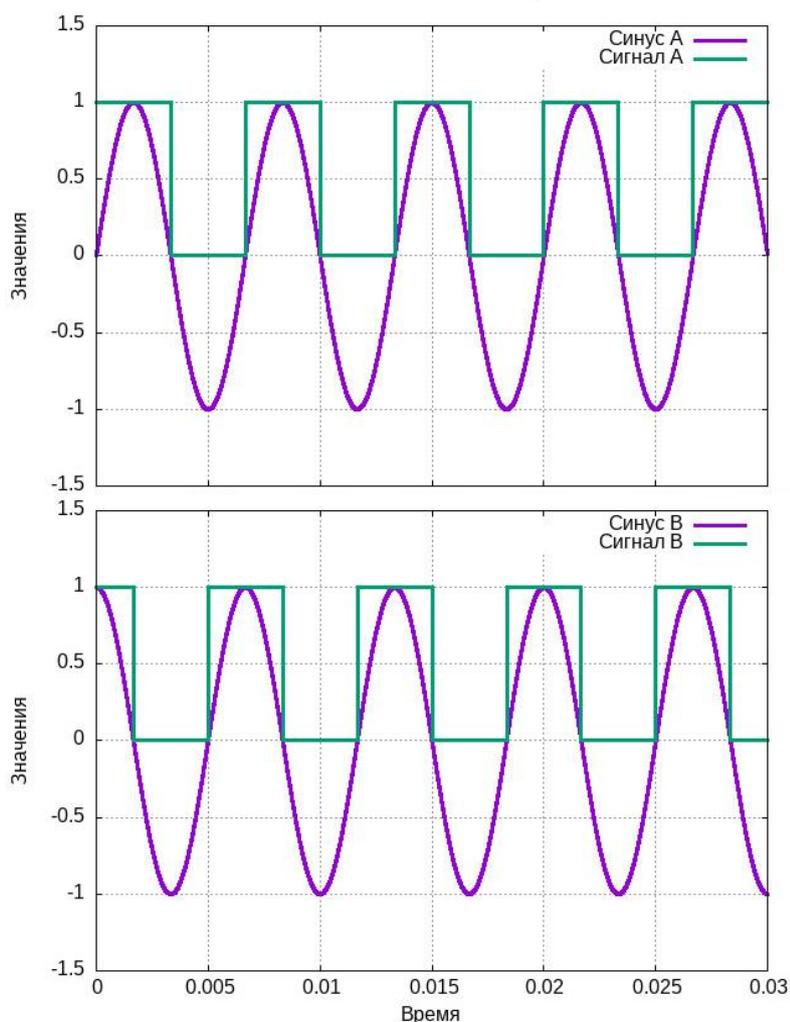


Рисунок 2 – Результаты моделирования работы энкодера

Далее несложно перейти от процентного соотношения угла к его значению в радианах:

$$\varphi = \frac{x_{\text{импульса}} \cdot 2 \cdot \pi}{100}.$$

На следующем этапе вычисляется синус полученного угла и строится закон изменения светового потока. В случае, если синус положительный, то импульс сигнала А принимает состояние логической «1», а в противном случае – логического «0». Сигнал В рассчитывается путем добавления $\pi/2$ к рассчитанному ранее углу при вычислении синуса. Результаты моделирования работы энкодера по описанной выше модели представлены на рисунке 2.

На рисунке 2 сверху изображено изменение угла вала ротора энкодера в радианах. Один полный оборот осуществляется за 0,02 с, что соответствует постоянной скорости вращения 314 рад/с или 3000 об/мин. По центру рисунка 2 изображено поведение аналогового сигнала А (синус А) и цифрового сигнала А, демонстрирующее работу внешнего кольца энкодера. За один оборот наблюдается 3 импульса, что и соответствует выбранному количеству импульсов на оборот. На рисунке 2 нижнее изображение демонстрирует работу внутреннего кольца, смещенного на 90 градусов. При этом за один оборот наблюдается также 3 импульса.

Анализ рисунков 1 и 2 показывает, что максимальному значению синусоиды соответствует прохождение этого сигнала через центры цифровых импульсов 1 и 5 для положительной полуволны и 3 – для отрицательной. Точки 0, 2, 4, 6 соответствуют границам меток.

Модель была разработана с использованием языка программирования C++, а визуализация результатов моделирования проведена с применением Gnuplot.

Полученная модель отражает желаемую идеальную работу инкрементального оптического энкодера. При этом требуется практическое подтверждение гипотезы об изменении степени освещенности фотодиода при вращении ротора энкодера по синусоидальному закону.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2023-0012.

Литература

1. A. Anuchin et al., "Speed Measurement for Incremental Position Encoder Using Period-Based Method With Sinc3 Filtering," in IEEE Sensors Journal, vol. 23, no. 5, pp. 5073-5083, 1 March 1, 2023, doi: 10.1109/JSEN.2023.3237618.
2. Патент РФ № 2019117876, 10.06.2019. Кулабухов В.С., Цацин А.А., Заец В.Ф., Туктарев Н.А. Гибридный датчик измерения углового положения //Патент России, опубликовано 21.07.2020, Бюл. № 21.

*В.В. Рожков, к.т.н., доц.; В.В. Федотов, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВЫХ АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ С РАЗНЫМ ЧИСЛОМ УРОВНЕЙ

Многоуровневые автономные инверторы напряжения (МАИН) в сравнении с двухуровневыми в составе частотно-регулируемого электропривода имеют более сложные схемы силовой части. Разработаны две основные топологии схем МАИН: с фиксирующими диодами и расщепленным входным источником, а также каскадные схемы на основе диагонального соединения группы

однофазных инверторов – ячеек, подключаемых через индивидуальные выпрямители ко вторичным обмоткам входного многообмоточного трансформатора. МАИН обладают рядом важных преимуществ [1], [2]. Они обеспечивают лучшие энергетические свойства преобразователей, позволяют снизить негативное влияние широтно-импульсной модуляции (ШИМ) выходного напряжения на изоляцию приводного двигателя. Убирается необходимость в специальном частотно-регулируемом двигателе и повышается его ресурс работы как общепромышленного объекта управления. Кроме того, увеличение числа уровней инвертора позволяет снизить класс напряжения его силовых ключей, а, в ряде случаев, при оптимальном числе уровней – и общие затраты на силовую схему преобразователя [4]. Это особенно актуально для высоковольтных вариантов 6, 10 кВ и выше [1], с которых и началось более 20 лет назад практическое использование МАИН. В последние годы исследования и применение МАИН из-за несомненных плюсов транслируются и на низковольтный электропривод с обычной общепромышленной сетью линейным напряжением 380 В и даже прецизионные сервоприводы [3], применение МАИН, в которых позволяет повысить точность регулирования основных координат привода.

Вместе с тем, получение оптимальной структуры силовой части МАИН и разработка соответствующей ей системы управления до сих пор актуальны. В литературе недостаточен анализ МАИН как источника регулируемого напряжения приводного двигателя для получения выводов об оптимальном числе уровней исходя из компромиссного критерия: не слишком значительного усложнения структуры инвертора и получения свойственных МАИН преимуществ.

В этой связи целью настоящей статьи является анализ средствами компьютерного моделирования структур МАИН для определения оптимального числа уровней, соотнесение получаемых свойств с требованиями стандартов по качеству электрической энергии, а также исследование особенностей работы МАИН в замкнутых системах частотно-регулируемого асинхронного электропривода.

В среде структурного имитационного моделирования создан комплект моделей МАИН с различным числом уровней [4]. Проведен гармонический анализ выходного фазного и линейного напряжения МАИН в трех-, четырех- и пятиуровневом вариантах. Частота ШИМ для ключей АИН выбрана одинаковой и равной 3 кГц. Во всех вариантах преобразователь запитан от источника сети 380 В с одинаковым внутренним сопротивлением. Линейным напряжением без выведенной нейтрали звезды статорной обмотки питается приводной асинхронный двигатель в частотно-регулируемом электроприводе. Фазное же напряжение актуально, когда при помощи МАИН формируется источник синусоидального напряжения, не только для трехфазных, но и для однофазных нагрузок, например, при его использовании в агрегатах бесперебойного питания.

Результаты гармонического анализа с определением коэффициента гармоник THD для фазного и линейного напряжений в трех-, четырех-,

пятиуровневых вариантах и для обычного двухуровневого АИН сведены в таблицу 1. В таблице 2 приведены максимальные амплитуды высших гармоник в этих же вариантах.

Таблица 1 – Коэффициент ТНД в различных вариантах АИН и МАИН

АИН	ТНД линейного напряжения, %	ТНД фазного напряжения, %
двухуровневый	64,8	96,1
трехуровневый	33,2	50,2
четырёхуровневый	21,9	34,0
пятиуровневый	15,9	25,8

Таблица 2 – Амплитуды высших гармоник в различных вариантах АИН и МАИН

АИН	Максимальная амплитуда высших гармоник линейного напряжения, В	Максимальная амплитуда высших гармоник фазного напряжения, В
двухуровневый	150	180
трехуровневый	60	80
четырёхуровневый	25	70
пятиуровневый	18	50

В соответствии с ГОСТ IEC 60034-1-2014 «Машины электрические вращающиеся...» коэффициент искажения синусоидальности напряжения не должен превышать 8% для двигателей до 1 кВ. Видно, что даже пятиуровневый АИН не обеспечивает такой уровень синусоидальности. Однако, для пятиуровневого АИН достаточно небольшого синусного фильтра для доведения коэффициента искажения до уровня ГОСТ, в то время как синусные фильтры для других приведенных вариантов будут иметь заведомо большие габариты и стоимость. Проведенный дополнительный анализ показывает, что именно пятиуровневый инвертор может быть своеобразным технико-экономическим компромиссом между чрезмерным усложнением силовой схемы и системы ее управления и получаемыми преимуществами.

На рис.1 показана модель силовой части пятиуровневого АИН. Ключи инвертора T_{1u} и их снабберные цепи имеют следующие параметры: внутреннее сопротивление ключа 10 мОм; прямое падение напряжения на ключе в открытом состоянии 1 В; активное сопротивление снабберной цепи 10 Ом; емкость снабберной цепи 1 мкФ. Для управления ключами реализована пятиуровневая симметричная ШИМ с формированием опорных сигналов по рис.2. Подмодели блоков сравнения управляющих синусоидальных сигналов с опорными и распределителя импульсов на ключи показаны на рис.3. Примеры работы схемы с фиксацией осциллограмм фазного и линейного напряжений показаны на рис.4. Схема модели замкнутой системы векторного управления с пятиуровневым АИН и лабораторным двухполюсным асинхронным двигателем 4AA56B2У3 мощностью 250 Вт показана на рис.5. Осциллограммы напряжений для этого эксперимента при организации пуска в замкнутой системе на малую, среднюю и

основную скорости показаны на рис.6, а заданных и измеренных электромагнитного момента и скорости двигателя – на рис.7.

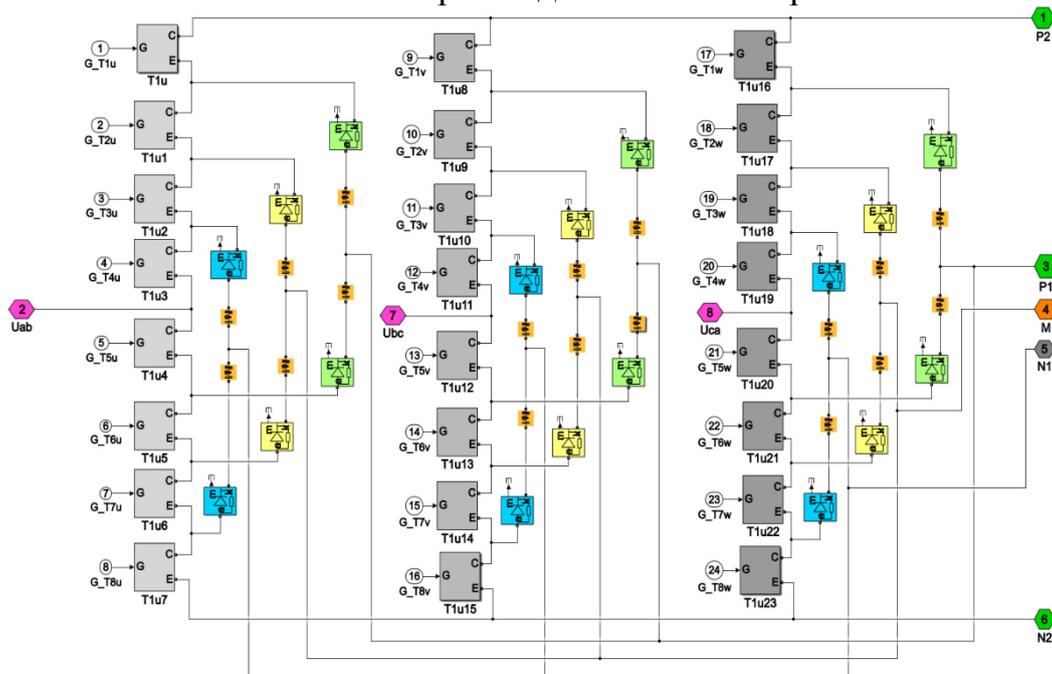


Рисунок 1 – Модель силовой части пятиуровневого АИН

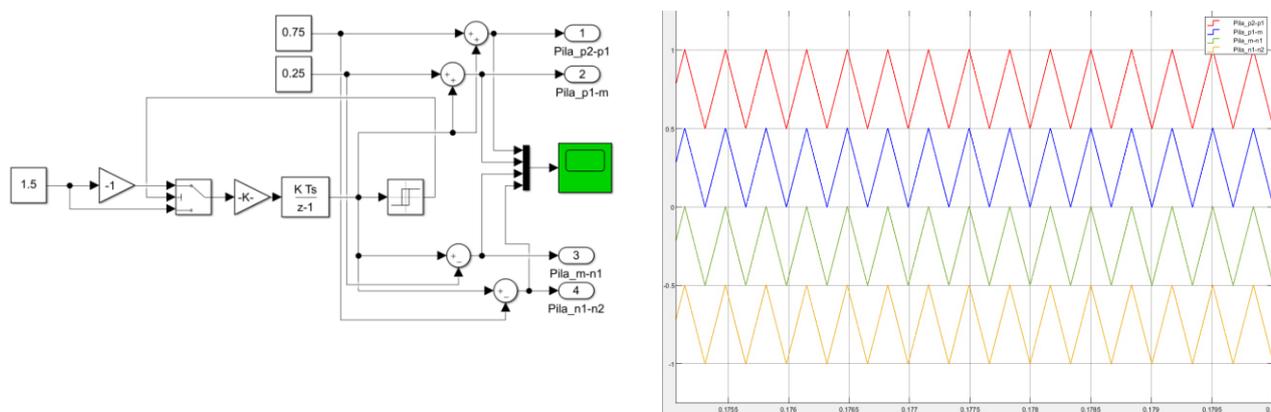


Рисунок 2 – Опорные сигналы для пятиуровневой ШИМ

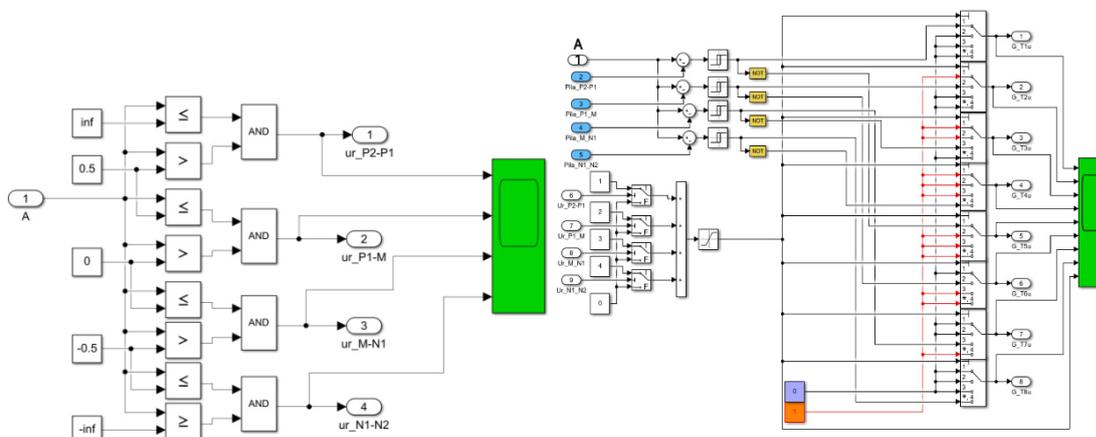


Рисунок 3 – Подмодели блоков сравнения управляющих сигналов с опорными и распределения импульсов на ключи

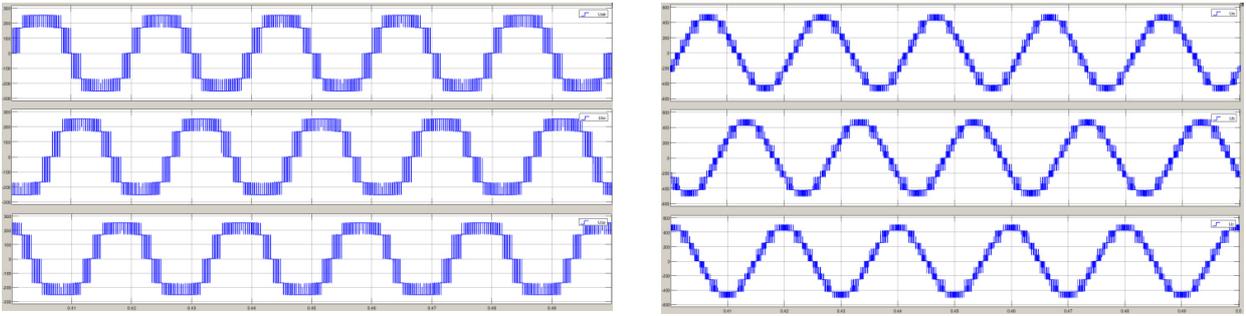


Рисунок 4 – Осциллограммы фазных и линейных напряжений пятиуровневого АИН

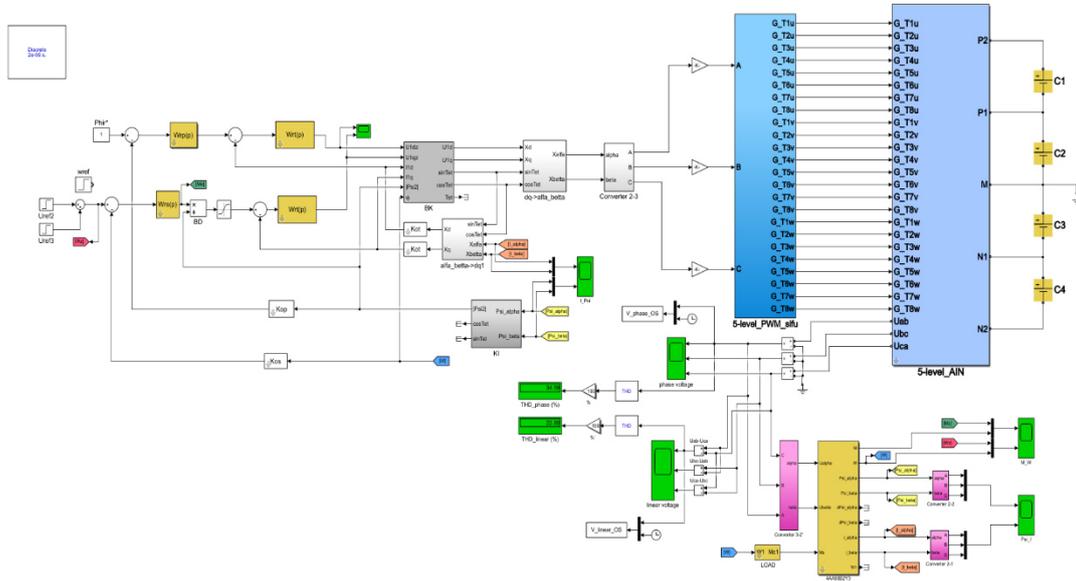


Рисунок 5 – Модель замкнутой системы с пятиуровневым АИН

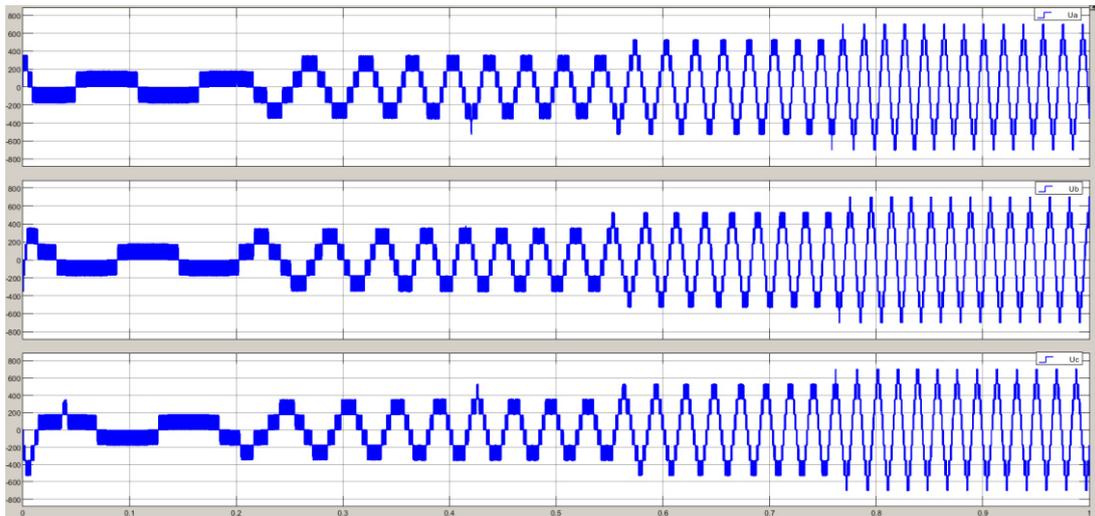


Рисунок 6 – Осциллограммы изменения линейного напряжения

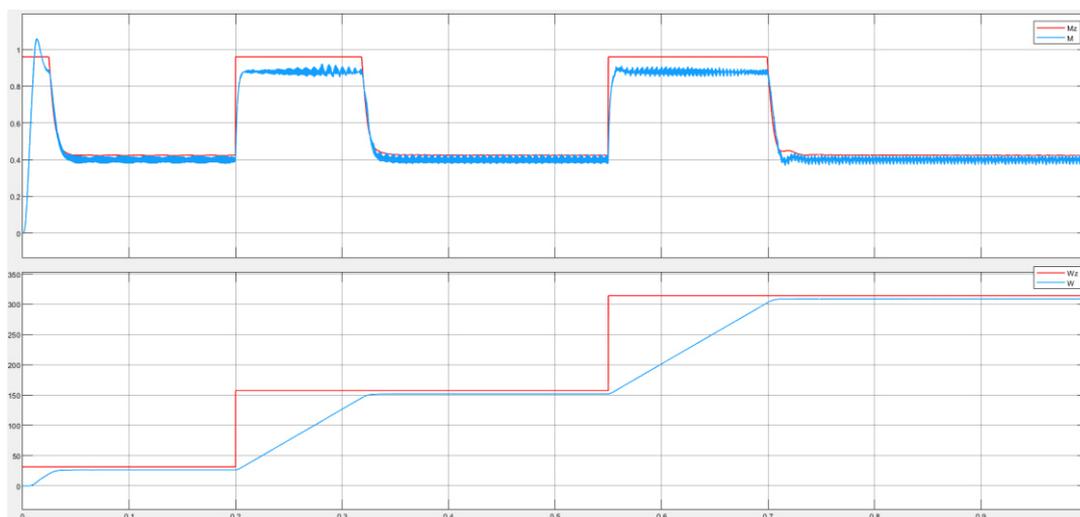


Рисунок 7 – Осциллограммы изменения момента и скорости

По рис.6 видно последовательное включение новых уровней при выходе на большие скорости. Сначала работа осуществляется на внутренних трубках как у двухуровневого инвертора, трехуровневого, а потом четырехуровневого инвертора. И только когда привод работает в установившемся режиме на основной частоте, выходное линейное напряжение соответствует работе пятиуровневого АИН.

По рис.7 видно, что обеспечивается качество системы, соответствующее настройкам регуляторов векторной структуры на оптимумы. На пониженной скорости в диапазоне $D=10:1$ статическая ошибка по скорости – около 10%.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-61-00096, <https://rscf.ru/project/22-61-00096/>.

Литература

1. Виноградов А.Б, Коротков А.А. Алгоритмы управления высоковольтным многоуровневым преобразователем частоты / ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2018. – 184 с.
2. S. Dash and S. P. Das, "A Single DC Source Switched-Capacitor Multilevel Inverter for High-Frequency AC System," 2022 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), Jaipur, India, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/PEDES56012.2022.10080388
3. В. С. Томасов, А. А. Усольцев, Д. А. Вертегел. Особенности использования многоуровневых инверторов в системах прецизионного сервопривода / Изв. Вуз. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 12. DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-12-1052-1059
4. V. V. Fedotov and V. V. Rozhkov, "Development and Analysis for the Optimal Structure of a Multilevel Voltage Source Inverter," 2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), Magnitogorsk, Russian Federation, 2021, pp. 121-126, doi: 10.1109/UralCon52005.2021.9559526

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

ВАРИАНТ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАВНЫМ ПУСКОМ ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Управление шаговыми двигателями (ШД) рассмотрено во многих источниках – и классических, и современных [1-3]. Для шагового электропривода характерны хорошие регулировочные свойства даже без синтеза замкнутых систем, а сами ШД широко применяются в станочном приводе,

робототехнике, различных специальных установках, реализующих небольшие дозированные перемещения или достаточно сложные тахограммы, состоящие из таких «порционных» перемещений.

При работе с ШД, управляемыми драйверами STEP/DIR нередко используют микроконтроллеры. В настоящей статье ставится цель рассмотрения примера работы с шаговым приводом на основе микроконтроллера (МК) семейства STM32F4xx при выполнении плавного пуска ШД устранить пропуски ШИМ-сигнала от таймера.

Непосредственно для управления драйвером ШД зачастую используют внутренние таймеры МК.

Задачи работы:

- проанализировать работу МК с программой плавного пуска ШД (в частности таймера, обеспечивающего широтно-импульсную модуляцию – ШИМ) в программном обеспечении (ПО) STM32CubeMONITOR;
- определить причину пропуска ШИМ-сигнала и устранить её.

В распоряжении пользователь имеется программа плавного пуска ШД для МК на языке программирования C с библиотекой для работы с МК STM32 - HAL. Основные идеи, заложенные в программе:

- команда на начало движение реализуется сравнением заданного сигнала с выходным сигналом (счетчиком). Скорость задаётся в шаг/сек, счетчик же подсчитывает каждый шаг, пока не достигнет заданного значения;

- при условии, что выходной сигнал меньше заданной скорости происходит инкрементирование счетной переменной, при условии, что выходной сигнал больше заданной скорости – декрементирование. Условие равенства можно исключить, т.к. вышеперечисленные условия его обеспечивают взаимной компенсацией;

- обработка условий происходит в бесконечном цикле;

- далее непосредственно работает таймер, обеспечивающий ШИМ-сигнал для управления ШД: период таймера предположительно высчитывается по формуле (в зависимости от первоначальной конфигурации тактирования):

$$T = \frac{1 \cdot 10^6}{COUNTER}$$

где COUNTER – выходной сигнал.

При запуске такой программы формируются плавные ускорение и торможение шагового двигателя. Однако, иногда может возникнуть ситуация, когда контроллер не будет успевать выполнять расчеты и в некоторые моменты времени будет беспорядочно подавать импульсы на выход таймера.

На первый взгляд может показаться, что двигатель подвергается явлению, известному как «пропуск шага», однако подключив светодиод напрямую к ШИМ можно убедиться, что это не так.

На рисунках 1 и 2 показаны зависимости рассчитанной величины периода (синий график) и реального заданного значения периода таймера (оранжевый график) от времени.

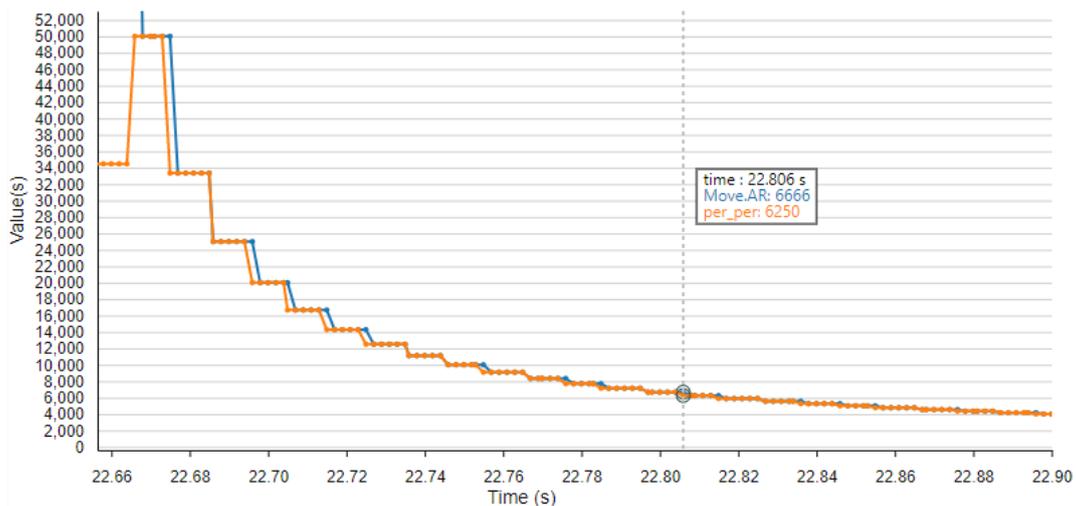


Рисунок 1 – Зависимости рассчитанной величины периода таймера (синий график) и реального заданного значения периода таймера (оранжевый график)

Анализируя рис.1 можно заметить, что назначения нового реального значения периода таймера опережает расчет. Значит, в случайные моменты времени несколько периодов могут накладываться друг на друга. А, как известно, драйверы STEP/DIR, как и сами ШД, управляются переменным сигналом и при становлении сигнала постоянным двигатель резко перестаёт вращаться. Сигнал считается постоянным, если скважность достигает 100%, что и происходит при наложении друг на друга нескольких периодов таймера. Также, при хаотичном заполнении ШИМ в сигнале могут возникать «дыры» (нулевое значение устанавливается на большее время, чем ему отведено в периоде).

В решении данной проблемы помогли глобальные прерывания таймера и CallBack-функция по окончании импульса ШИМ, показанная на рис.2.

```
void HAL_TIM_PWM_PulseFinishedCallback(TIM_HandleTypeDef *htim)
{
    if(htim->Instance == /*таймер*/)
    {
        /*тело условия*/
    }
}
```

Рисунок 2 – CallBack-функция по окончании импульса ШИМ

В условии нужно выбрать номер своего таймера (например, htim->Instance == TIM1), а в теле написать желаемые действия по окончании импульса. Было принято решение обновлять реальное значение периода таймера по «флагу». После обновления значения периода флаг сбрасывается в нулевое значение. Подсчет следующего значения выполняется независимо от флага.

Результат работы программы, соответствующий исходному рис. 1, показаны на рис. 3.

Можем заметить, что реальное значение периода ШИМ (оранжевый график) стало устанавливаться независимо от подсчета (синий график) в четко определенные контроллером моменты времени. Таким образом, исключается наложение нескольких значений периода таймера друг на друга.

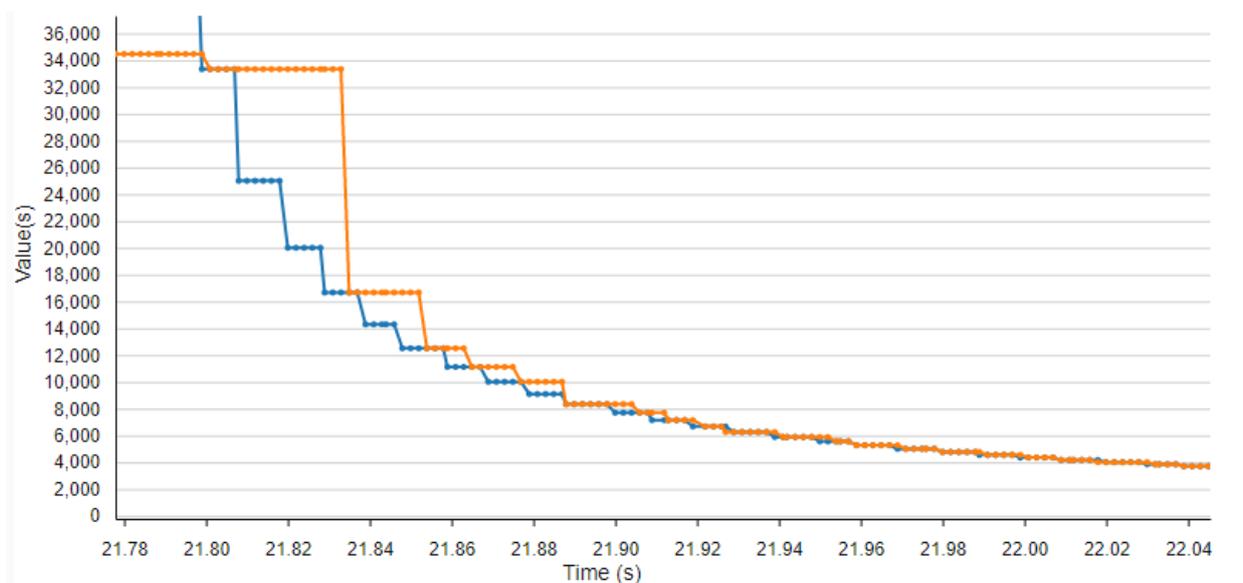


Рисунок 3 – Зависимости рассчитанной величины периода таймера (синий график) и реального заданного значения периода таймера (оранжевый график) с предлагаемой корректировкой

Выводы:

- в результате проведенного анализа был выявлен недостаток проекта, путем исключения комплектующих электропривода и подключением светодиода на ШИМ-сигнал напрямую;
- имеющаяся проблема была устранена при помощи прерываний таймера и CallBack-функции, позволяющей отслеживать окончание каждого импульса ШИМ-сигнала.

Литература

1. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 200 с., ил.
2. Емельянов А. В. Шаговые двигатели: учеб. пособие/ А. В. Емельянов, А. Н. Шилин/ ВолгГТУ. – Волгоград, 2005. – 48 с.
3. Рентюк В. Шаговые двигатели и особенности их применения // Электрик. 2012. № 11.
4. Шаговые двигатели. Принцип работы и управления. [электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://darxton.ru/wiki-article/shagovyedvigateli-printsip-raboty-i-upravlenie//> (Дата обращения 06.10.2023)
5. Description of STM32F4 HAL and low-layer drivers [электронный ресурс] / - Режим доступа: https://www.st.com/resource/en/user_manual/um1725-description-of-stm32f4-hal-and-lowlayer-drivers-stmicroelectronics.pdf

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ТОЧНОСТЬ РАБОТЫ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ НАТЯЖЕНИЯ

Механизмы, производящие технологическую обработку непрерывно движущихся материалов, составляют значительную долю в таких отраслях, как производство проводов и кабелей, ткацкое производство, текстильная промышленность, производство фольги и пленочных материалов и прочих. В таких механизмах используется двух- или многодвигательный электропривод, основными задачами которого являются обеспечение требуемой линейной скорости транспортировки материала и поддержание его заданного натяжения. Задачу стабилизации скорости движения материала обеспечивает электропривод узла транспортировки, а задача стабилизации натяжения возлагается на систему автоматического регулирования (САР) электропривода наматывающего устройства.

Построение таких САР основано на принципах прямого или косвенного регулирования натяжения.

Системы прямого регулирования характеризуются высокой точностью регулирования выходной координаты и нужны, когда действительно требуется повышенная стабильность, но их применение ограничивается отсутствием простых и надежных датчиков натяжения, включенных в систему регулирования.

Наибольшее распространение получили системы косвенного регулирования, в которых контролируется координата, функционально связанная с натяжением. Примером системы косвенного регулирования является схема электропривода на рисунке 1.

Двухдвигательный электропривод с питанием якорных цепей двигателей от неуправляемого преобразователя – параметрического источника тока и регулированием координат по цепям возбуждения позволяет осуществлять раздельное регулирование скорости транспортировки и натяжения материала. Такая система бездатчикового регулирования натяжения может обеспечивать достаточно хорошие показатели работы как в статике, так и в динамике [1].

Однако при синтезе такой САР принимаются определенные допущения, которые могут влиять на точность работы электропривода. Рассмотрим эти допущения.

Чтобы определить вид обратной связи в приводе устройства намотки, исходят из баланса мощности, поступающей в зону намотки из сети $P = U_{\text{я}} I_{\text{я}} - \Delta P$ и мощности, требуемой для создания натяжения $P = F V_2$:

$$F \cdot V_2 = U_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}} - \Delta P.$$

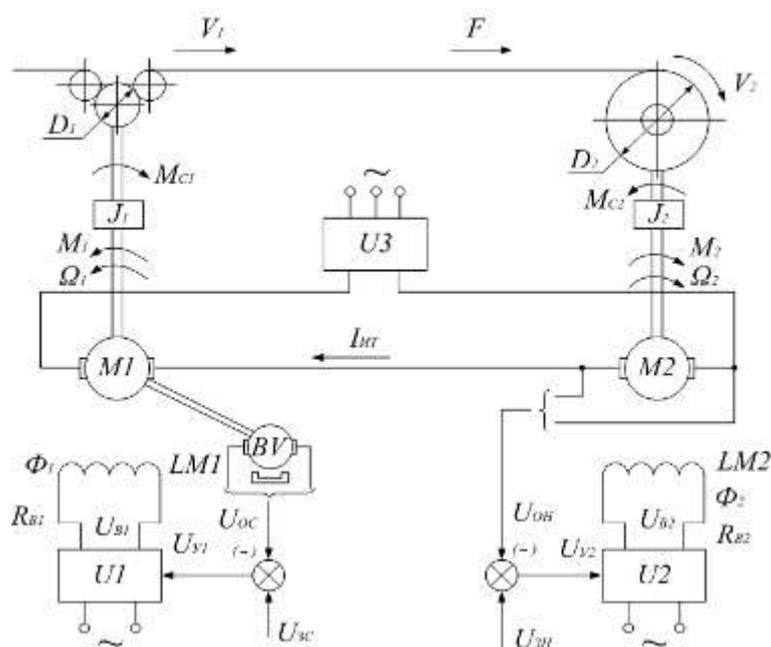


Рисунок 1 – Функциональная схема электропривода устройства транспортировки гибкого материала с осевым приводом

Если пренебречь потерями мощности в двигателе и механической части привода, отсюда можно выразить натяжение

$$F = \frac{I_{ит}}{V_2} \cdot U_{я}$$

Из последнего выражения следует, что при неизменном токе $I_{ит}$ и постоянной скорости V_2 натяжение пропорционально напряжению $U_{я}$ на якоре двигателя **M2**. Таким образом, в электроприводе с отрицательной обратной связью по напряжению обеспечивается автоматическое регулирование натяжения.

С другой стороны, мощность, требуемая для намотки материала $P = M \cdot \omega$, а электромагнитная мощность $P_{эм} = E \cdot I_{я}$ двигателя пропорциональна ЭДС и, следовательно, напряжению на якоре $U_{я} = E + I_{я} \cdot R_{я}$ при условии $I_{я} \cdot R_{я} = \text{const}$. То есть при использовании обратной связи по напряжению в САП контролируется мощность, потребляемая двигателем, отличающаяся от мощности на валу на величину электрических потерь в двигателе. Следовательно, точность стабилизации механической мощности при поддержании постоянства мощности электромагнитной будет зависеть от величины падения напряжения на якоре двигателя.

Структурная схема электропривода, соответствующая функциональной схеме, представленной на рисунке 1, показана на рисунке 2. Блок, обеспечивающий формирование натяжения, выделен в ней пунктиром.

Для анализа погрешности стабилизации натяжения и оценки факторов, обуславливающих отклонения натяжения от заданного значения, воспользуемся математическим описанием системы, приведенным в [2]. Для получения результатов в более общем виде целесообразно перейти к

безразмерным переменным, определив их как $X^*=X/X_B$. В качестве базовых значений X_B координат электропривода приняты номинальные параметры (ток, скорость, магнитный поток) двигателя $M1$, диаметр транспортирующего вала (D_1) и передаточное число (J_1) редуктора (см. рисунок 1).

Из уравнений, описывающих электропривод, можно выразить натяжение

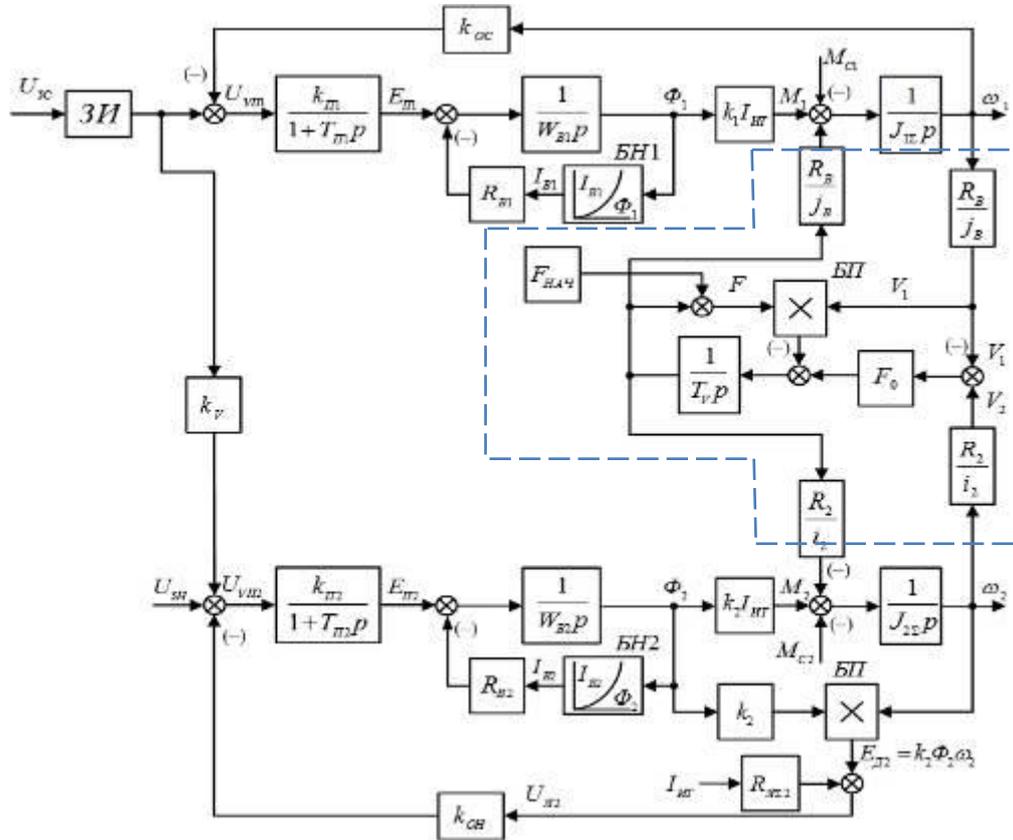


Рисунок 2 – Структурная схема электропривода

F^* в виде нескольких составляющих:

$$F^* = F^*_3 - \Delta F^*_1 - \Delta F^*_2 - \Delta F^*_3.$$

В этом выражении заданный уровень натяжения

$$F^*_3 = \frac{U^*_{3H} I^*_{ИТ}}{V^*_2},$$

а составляющие ΔF^*_1 , ΔF^*_2 , ΔF^*_3 определяют отклонения натяжения, связанные с принятыми при настройке САР допущениями.

$$\Delta F^*_1 = \frac{\Delta U^* I^*_{ИТ}}{\delta_H \cdot D^*_2 \cdot I^*_{ИТ} + V^*_2} - \text{ошибка, вызванная электрическими потерями}$$

ΔU^* в цепи якоря двигателя $M2$.

$$\Delta F^*_2 = \frac{U^*_{3H} I^*_{ИТ}}{V^*_2} \cdot \frac{\delta_H \cdot D^*_2 \cdot I^*_{ИТ}}{\delta_H \cdot D^*_2 \cdot I^*_{ИТ} + V^*_2} - \text{ошибка, обусловленная погрешностью}$$

системы стабилизации напряжения δ_H .

$$\Delta F^*_3 = \frac{M^*_{с2}}{D^*_2} - \text{ошибка, связанная с наличием механических потерь в}$$

двигателе $M2$.

На рисунке 3 представлен график зависимости натяжения F^* от диаметра рулона наматываемого материала. Перечисленные ошибки регулирования натяжения показаны заштрихованными зонами.

Составляющая ΔF^*_1 в астатической системе регулирования напряжения не зависит от D^*_2 , а при $\delta_H \neq 0$ с увеличением диаметра уменьшается. Эта ошибка может быть устранена при реализации вместо обратной связи по напряжению обратной связи по ЭДС либо при увеличении напряжения задания $U^*_{зн}$ на величину падения напряжения ΔU^* .

Величина составляющей ΔF^*_2 при фиксированном диаметре D^*_2 будет тем меньше, чем выше точность стабилизации напряжения, зависящей от

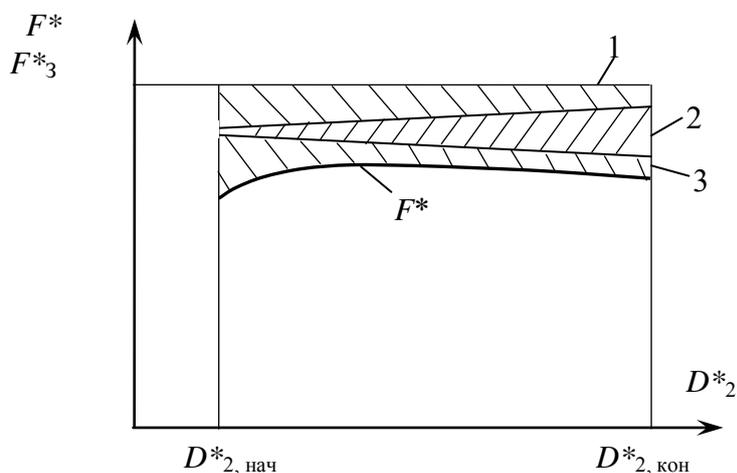


Рисунок 3 – Зависимость натяжения и составляющих его ошибки от диаметра намотки:

1 - ΔF^*_1 ; 2 - ΔF^*_2 ; 3 - ΔF^*_3

коэффициента усиления разомкнутой САР.

Ошибка ΔF^*_3 , вызванная механическими потерями, определяется только величиной момента потерь $M^*_{с2}$ и текущим значением D^*_2 . При постоянном статическом моменте наибольшая погрешность будет в начале цикла намотки.

Таким образом, составляющие ΔF^*_2 и ΔF^*_3 с ростом диаметра изменяются разнонаправленно.

Используя приведенные выражения, можно для каждого конкретного электропривода механизма намотки с известными параметрами определить некоторое оптимальное значение δ_H , при котором относительная погрешность стабилизации натяжения

$$\delta_F = \frac{F^*_{\max} - F^*_{\min}}{F^*_{\text{ср}}}$$

будет наименьшей.

Анализ графиков, приведенных на рисунке 3, позволяет также выбрать рациональное настроечное значение диаметра $D^*_{2Н}$, обеспечивающее уменьшение ошибки регулирования натяжения.

Список литературы

1. Дёмин А.С., Саватеева И.С. Формирование натяжения в системах электропривода устройств перемотки длинномерных материалов. Сб. трудов XII -ой Междунар. науч.-техн. конф. «Энергетика, информатика, инновации – 2022» Т 1. Сс. 129-132
2. В.И. Лабовский, В.П. Петров, И.С. Саватеева. Многодвигательные электроприводы производственных механизмов с параметрическими источниками тока. – М.: Моск. энерг. ин-т, 1989. – 80 с.

*В.А. Чернов к.т.н., доц.; Д.А. Шулакова, студ.; Д.Л. Исаенков, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Электрическая машина – это преобразователь механической энергии в электрическую (генератор электроэнергии), либо электрической в механическую (электродвигатель). Она состоит из ротора с роторной обмоткой и статора со статорной обмоткой. В настоящее время электрические машины имеют важную роль в области электроэнергетики, так как являются основными источниками электроэнергии. Из-за их постоянной и продолжительной эксплуатации набирает актуальность задача контроля работы электрических машин. Для непрерывной работы электрическая машина должна находиться в исправном состоянии, так как даже небольшие неисправности могут вывести устройство из строя.

На данном этапе развития науки существует большое количество методов диагностики электрических машин, которые можно разделить на методы диагностики изоляции и методы диагностики механической части.

К диагностическим испытаниям (параметрам) оценки качества изоляционного материала, наиболее часто используемым на практике, можно отнести: сопротивление изоляции R , расчет коэффициента абсорбции диэлектрика DAR – это коэффициент диэлектрического поглощения, который отражает состояние увлажнённости диэлектрика изоляции. Он измеряется с целью наблюдения за состоянием гигроскопической изоляции электрических машин и трансформаторов.

Данный метод измерения основывается на сравнении величин сопротивления изоляции, которые измеряются в течение 15 и 60 секунд после начала испытаний: $DAR = R_{60}/R_{15}$. И индекса поляризации PI показывает возможность заряженных частиц циркулировать в диэлектрике под воздействием электрического поля, а это в свою очередь определяет степень износа изоляции. Способ измерения основывается на сравнении величин сопротивления изоляции через 60 и 600 секунд после начала испытаний: $PI = R_{600}/R_{60}$. Приборы SONEL моделей MIC-30, MIC-1000, MIC-25xx, MIC-50xx и MIC-10k1 проводят автоматический расчет коэффициентов DAR и PI на основе сопротивлений, измеренных после интервалов времени, установленных по умолчанию ($T_1 = 15$ с, $T_2 = 60$ с и $T_3 = 600$ с). Опытные данные отображаются на дисплее. Чтобы в конечном итоге добиться коэффициентов для отрезков

времени, отличных от установленных, нужно выставить требуемые значения из диапазона 1...600 секунд, соблюдая правило: $T1 < T2 < T3$.

Под влиянием электрического поля в диэлектрике развиваются медленные поляризационные процессы, которые вызывают протекание абсорбционного тока, быстро меняющегося во времени. Это может происходить из-за установления дипольно-релаксационной поляризации, накопления электрических зарядов в приэлектродных областях при невозможности прохождения через границу электрод-диэлектрик; установления структурной поляризации, либо замедленных видов поляризации за счет инжекции электронов или дырок. В свою очередь, величину абсорбционного тока можно определить через скорость медленных видов поляризации - величину, зависящую от времени. В результате сопротивление диэлектрика зависит от времени приложения напряжения. Принято считать, что в течение одной минуты практически все виды поляризации переходят в установившийся режим. Такие исследования представляют собой долговременные испытания, позволяющие принять решение о замене изоляционного материала [2].

Для примера использования методов диагностики изоляции рассмотрим результат испытания электрического двигателя, находящегося в эксплуатации в сравнении с параметрами такого же нового электродвигателя (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты испытания электрических двигателей.

Электродвигатель	R, ГОм	U, В	DAR	PI	C, нФ	I, нА	DD
Новый	375,4	2500	2,117	6,837	28,96	5,620	1,084
Находящийся в эксплуатации	77,8	2500	1,693	5,331	18,58	32,12	3,180

На момент проведения испытаний данный двигатель находился в эксплуатации 44 года. Исходя из опытных данных, можно оценить степень износа изоляционного материала.

В свою очередь, методы контроля механической части делятся на разрушающие и неразрушающие. К первым относятся динамические испытания: изгиб, изменения температуры, различные испытания на прочность. Такие методы используются для определения предела прочности и надежности исследуемой машины, что позволяет отслеживать качество материала аппарата и прогнозировать длительность его эксплуатации. На практике разрушающий контроль проходит до полной невозможности дальнейшего использования исследуемого объекта. Для более комплексного анализа часто разрушающие методы используют совместно с неразрушающими.

К неразрушающим методам контроля относят такие методы контроля, которые проводятся без повреждений самой машины и с помощью специального оборудования.

Визуальный и измерительный контроль - один из базовых методов неразрушающего контроля. Во время его проведения используют специальные

измерительные устройства. Он подходит практически всем техническим устройствам, но на практике сочетается с другими методами.

С помощью вихревого метода возможно контролировать состояние сварных соединений, лопаток паровых турбин, а также для определения состояния коррозии и толщины тонких металлических изделий. Он основан на взаимодействии электромагнитного поля объекта с электромагнитным полем вихревых токов прибора, а в качестве источника вихревых токов чаще всего используют катушку индуктивности. Такой метод неразрушающего контроля обладает высокой чувствительностью и позволяет выявлять микродефекты.

Ультразвуковой метод неразрушающего контроля применяется для выявления различных дефектов сварных швов и на поверхности объекта. Для его осуществления используют волновые колебания, что даёт такие преимущества, как высокая чувствительность к порам и трещинам, дешевизна и высокую скорость проведения контроля.

Магнитный метод неразрушающего контроля основан на изучение магнитных полей. Для его проведения на поверхность исследуемого объекта наносят магнитный порошок, который попадает в магнитное поле и позволяет обнаружить небольшие трещины (шириной от 0,002 мм и глубиной от 0.01 мм), дефекты, находящиеся под поверхностью (на глубине от 2 мм), пустоты.

В радиографическом методе используются излучение объекта с помощью гамма-лучей. Их неравномерное распределение свидетельствует о наличие дефектов. Такой метод используется для оценки состояния сложных по конструкции объектов. Его достоинства: наглядность, высокая точность, возможность использования для различных материалов (в т.ч. для немагнитных), независимость от внешних факторов.

В свою очередь, тепловой метод контроля включает в себя фиксирование преобразования инфракрасных лучей в видимый спектр. Он применяется для контроля электрооборудования, а также трубопроводов и тепловых сетей. Преимущества такого метода заключаются в его проведении без остановки эксплуатации объекта; высокая точность, быстрая скорость проведения.

Литература

1. Копылов, И. П. Электрические машины в 2 Т. Том 1 : Учебник / И. П. Копылов. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2019. – 267 с. – (Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-534-03222-2. – EDN DOSHXS.
2. Захарова, А. Г. Современные методы диагностики изоляции электрических машин и аппаратов / А. Г. Захарова, В. В. Бродт // Особенности инновационного этапа развития мировой науки : Материалы международной научно-практической конференции, Уфа, 03 мая 2019 года / Отв. ред. Зарайский А.А.. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Центр профессионального менеджмента "Академия Бизнеса", 2019. – С. 28-32. – EDN CSVRA.

СЕКЦИЯ 3 ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

*М.Г. Бобылёв ст. пр.; К.А. Куренков, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленск)*

МАКЕТ УЗЛА УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЗДАНИЙ

В настоящее время отечественная промышленность выпускает приборы, обеспечивающие возможность широкого внедрения методов учета производства и потребления теплоты. В связи с постоянным удорожанием энергоресурсов, в том числе и тепловой энергии, поставляемой по водяным системам теплоснабжения, повышаются требования и к достоверности результатов измерений.

В России и некоторых странах СНГ в силу ряда причин, большинство существующих водяных систем теплоснабжения являются открытыми. Одной из самых сложных и спорных проблем при подборе теплосчетчиков для их установки на объекты с открытой водяной системой является оценка пределов допустимой погрешности измерений тепловой энергии, которая должна удовлетворять довольно жестким требованиям по учету тепловой энергии и теплоносителя [1].

Специфика учета энергии в системах энергоснабжения предприятий предъявляет жесткие требования к подготовке специалистов, в этой связи, разработка актуальной лабораторной базы, оснащенной современными теплосчетчиками, является естественным и необходимым шагом.

Макет узла учёта тепловой энергии будем рассматривать на примере тепловычислителя СПТ961. СПТ961 выполняет преобразования выходных сигналов измерительных преобразователей расхода, температуры и давления теплоносителя в значения физических величин; вычисляет и ведет коммерческий учет теплоты и массы теплоносителя [2].

На рисунке 1 представлена структурная схема стенда-эмулятора выходных сигналов различных датчиков, подключаемых к СПТ961.

Многоканальный источник питания обеспечивает восемь формирователей выходного токового сигнала с силой тока 0-5, 4-20, 0-20 мА. Кроме того, источник питания покрывает нужды четырех формирователей числоимпульсного (частотного) сигнала.

Стенд также включает в себя четыре формирователя сигнала сопротивления, предназначенных для эмуляции датчиков температуры.

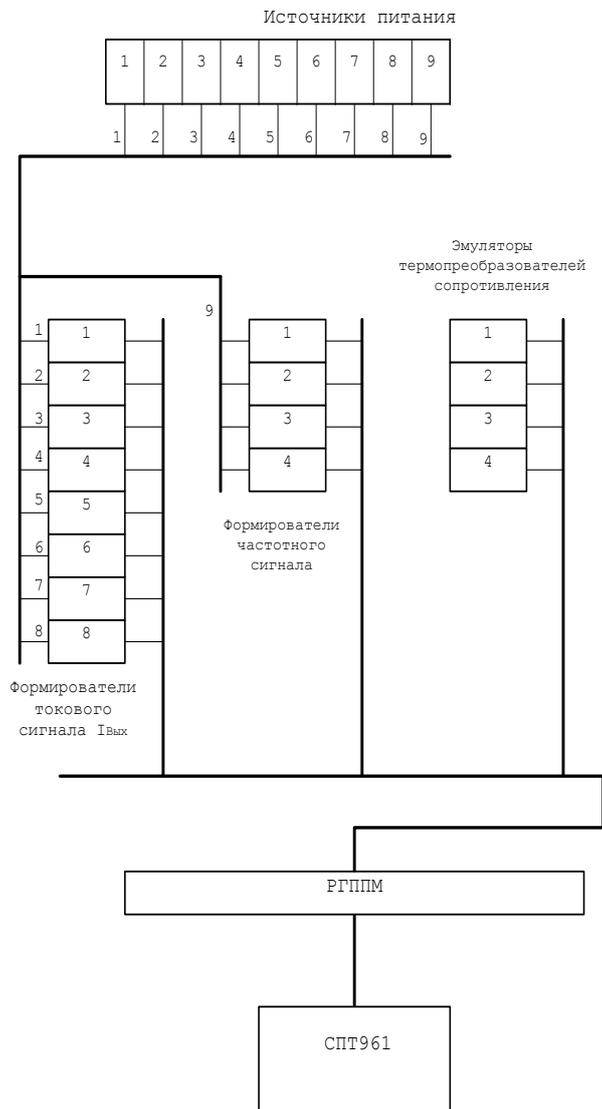


Рисунок 1 – Структурная схема стенда-эмулятора выходных сигналов различных датчиков, подключаемых к СПТ961

На рисунке 2 представлена принципиальная схема источников питания стенда.

Два трансформатора Т1-220-50 обеспечивают восемь источников питания для формирователей токового сигнала и один источник питания для четырех-частотных формирователей.

Стенд позволяет эмулировать четыре термопреобразователя сопротивления следующих типов:

- (ТС) ТСМ50М, ТСМ100М с W100 равным 1,4280 или 1,4260;
- ТСП50П, ТСП100П, ТСП500П с W100 равным 1,3910 или 1,3850;
- ТСН100Н с W100 равным 1,6170.

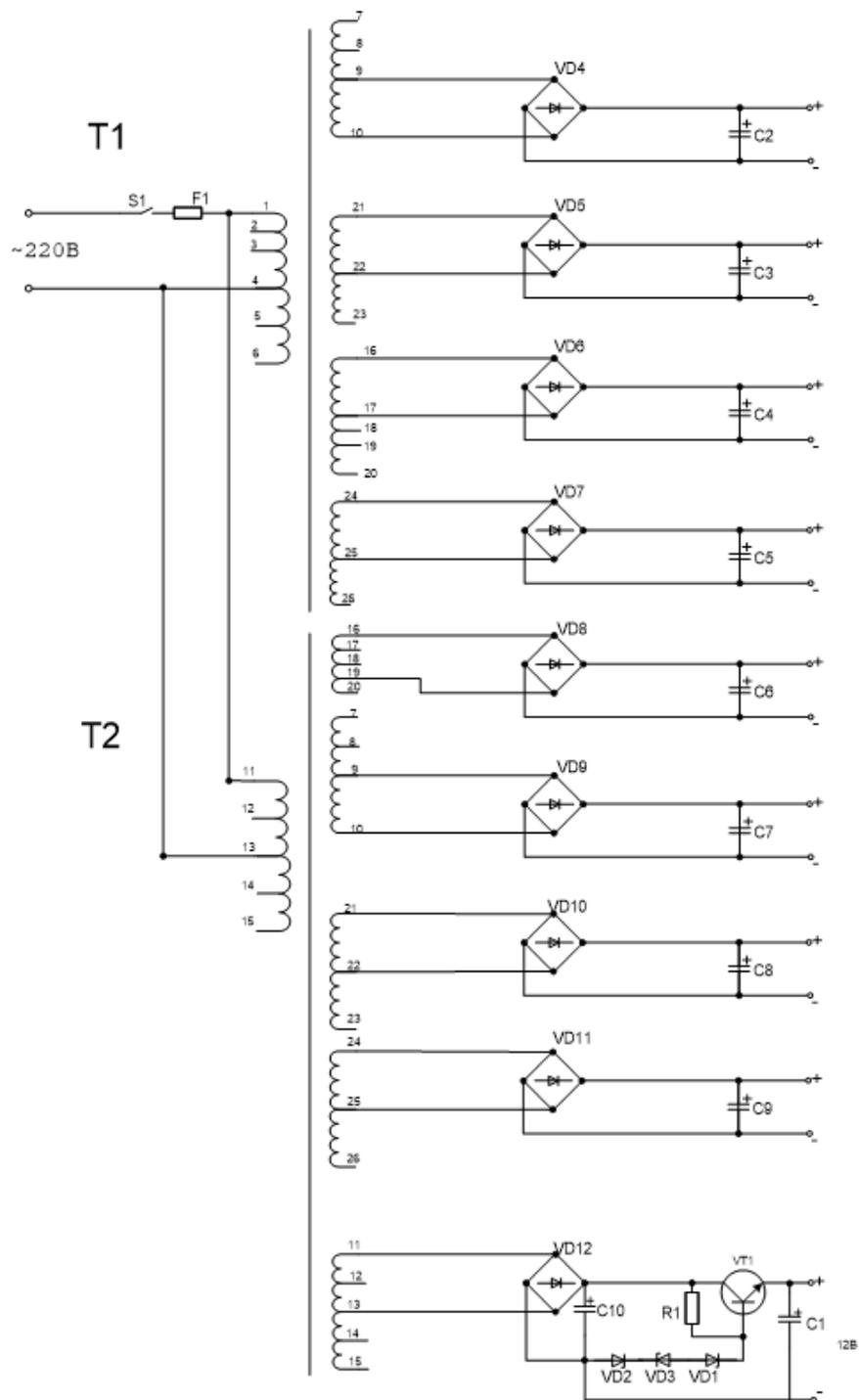


Рисунок 2 – Принципиальная схема источников питания

За счет переключения между резисторами 100 и 50 Ом можно добиться покрытия любого диапазона измеряемых температур. Модель эмулятора термопреобразователя сопротивления представлена на рисунке 3.

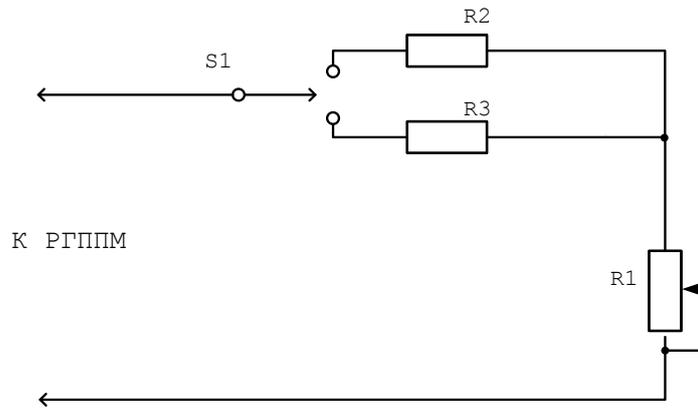


Рисунок 3— Эмулятор термопреобразователя сопротивления

Формирователь частотного сигнала, представленный на рисунке 4, построен по схеме автоколебательного мультивибратора на интегральном таймере. Временные параметры рабочего цикла могут быть точно установлены соотношением сопротивлений резисторов R2, R3, R5.

Переменный резистор R2 находится на передней панели стенда и выполняет роль регулятора частоты колебаний.

Светодиод Led1 обеспечивают визуальный контроль работы генераторов импульсов.

После включения питания $U_{п}$ конденсатор C_1 заряжается от 0 до $2U_{п}/3$, потенциал выводов 3 и 7 падает до нуля, и конденсатор начинает разряжаться от $2U_{п}/3$ до $U_{п}/3$.

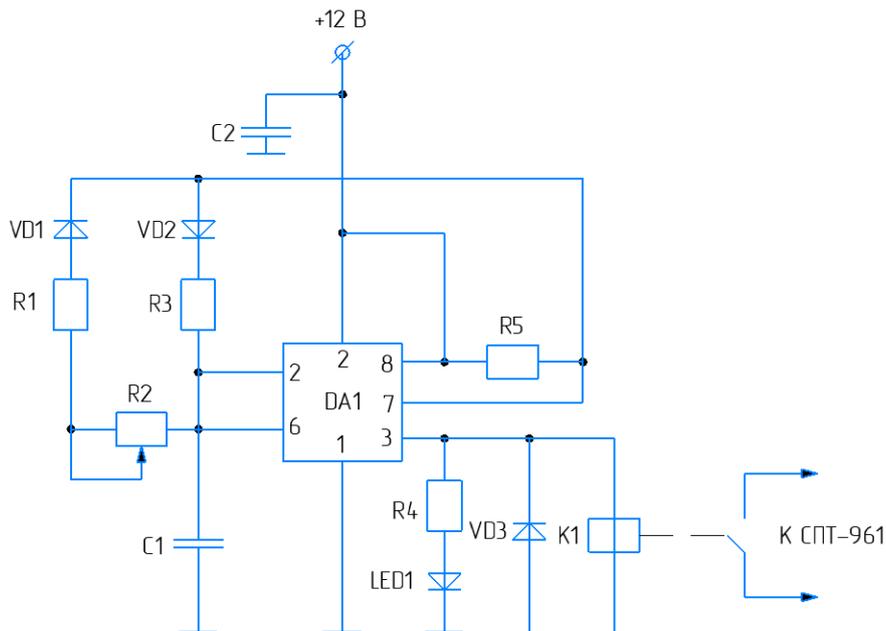


Рисунок 4 – Формирователь частотного сигнала

Формирователь токового сигнала, представленный на рисунке 5, могут подключаться к миллиамперметру для визуального контроля при регулировании силы тока определенного формирователя.

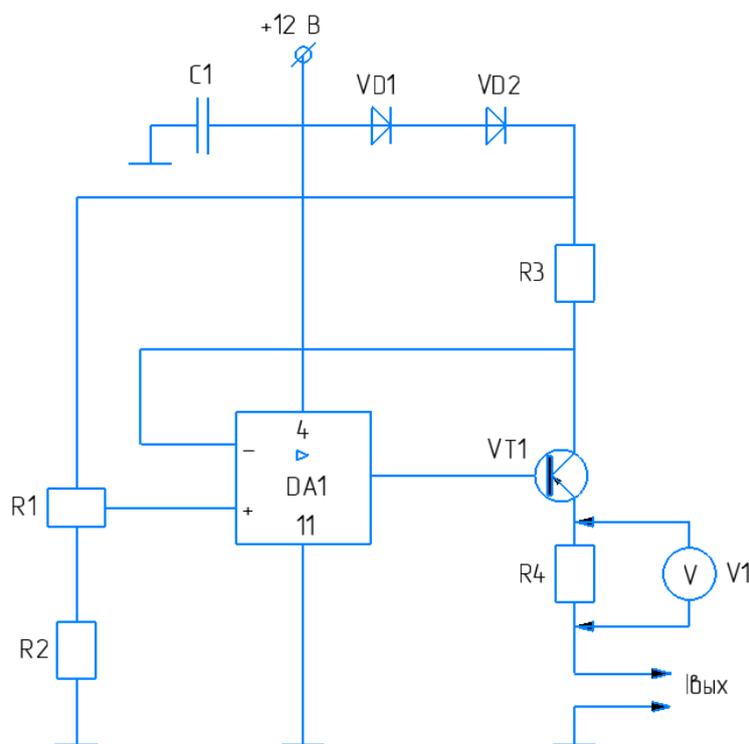


Рисунок 2.5 – Формирователь токового сигнала

Литература

1. Канев С.Н. Учёт количества теплоты и массы теплоносителя в водяных тепловых системах теплоснабжения потребителей. С.Н. Канев – Хабаровск, 2005. – 132 с.
2. Кудинов А. А. Основы централизованного теплоснабжения: учебное пособие / А. А. Кудинов, . – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т. – 2015. – 176 с.

*М.Г. Бобылёв ст. пр.; К.А. Куренков, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленск)*

ЛАБОРАТОРНЫЙ МАКЕТ РАСХОДОМЕРА С НЕПРОИЗВОЛЬНЫМИ УТЕЧКАМИ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЗДАНИЙ

Теплоснабжение в России в подавляющем масштабе является централизованным. К настоящему времени отечественная промышленность выпускает приборы, обеспечивающие возможность широкого внедрения методов учета производства и потребления теплоты. В связи с постоянным удорожанием энергоресурсов, в том числе и тепловой энергии, поставляемой по водяным системам теплоснабжения, повышаются требования и к достоверности результатов измерений. В России и некоторых странах СНГ в силу ряда причин, большинство существующих водяных систем теплоснабжения являются открытыми. Одной из самых сложных и спорных проблем при подборе теплосчетчиков для их установки на объекты с открытой водяной системой является оценка пределов допустимой погрешности измерений тепловой энергии, которая должна удовлетворять довольно жестким требованиям по учету тепловой энергии и теплоносителя.

Специфика учета энергии в системах энергоснабжения предприятий предъявляет жесткие требования к подготовке специалистов, в этой связи, раз-

работка актуальной лабораторной базы, оснащенной современными теплосчетчиками, является естественным и необходимым шагом [1].

В связи с этим необходимо в лабораторных курсах рассматривать разнообразные технические средства измерения количества теплоты тепловычислителями.

В системах теплоснабжения очень часто присутствуют произвольные утечки теплоносителя. Утечки теплоносителя в системе могут быть постоянными, либо возникать при авариях, связанных с разрывами трубопроводов. Данные утечки теплоносителя существенно влияют на показания расходомеров входящих в состав тепловычислителей, что в свою очередь приводят к превышению пределов допустимой погрешности измерений тепловой энергии.

В правилах [2] абонентское количество теплоты $Q_{\text{пот}}$ рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{н}} + (M_{\text{под}} + M_{\text{ГВС}} + M_{\text{ут}})(h_{2\text{н}} - h_{\text{хв}}),$$

где $M_{\text{под}}$ – масса теплоносителя, израсходованная потребителями на подпитку системы теплоснабжения;

$M_{\text{ГВС}}$ – масса теплоносителя, израсходованная потребителями на нужды ГВС;

$M_{\text{ут}}$ – масса произвольных утечек в системе теплоснабжения потребителей;

$h_{\text{хв}}$ – энтальпия холодной воды, используемая для подпитки систем теплоснабжения;

$h_{2\text{н}}$ – энтальпия теплоносителя на выводе обратного трубопровода источника теплоты;

$Q_{\text{н}}$ – тепловая энергия, израсходованная потребителями по показаниям теплосчётчиков.

Для работы с узлами учёта тепловой энергией в которых присутствуют утечки был разработан лабораторный макет расходомера. В нём существует возможность регулировки утечки теплоносителя по обратному трубопроводу системы.

Принципиальная схема лабораторного макета расходомера представлена на рисунке 1.

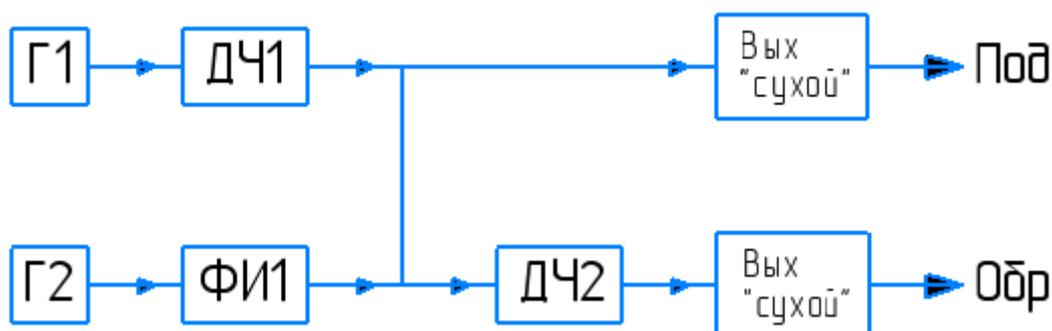


Рисунок 1 – Лабораторный макет расходомера:

Г1, Г2 – генераторы частоты; ДЧ1, ДЧ2 – делители частоты; ФИ1 – формирователь импульсов; Вых «сухой» – сухой контакт; Под – подающий трубопровод; Обр – обратный трубопровод.

В приточной части схемы в качестве генератора импульса (Г2) используется несимметричный мультивибратор основанные на микросхеме К176ИЕ12. В несимметричном мультивибраторе резистор R2 выводит в усилительный режим первый инвертор D1.1, а выходное напряжение этого инвертора должно удерживать в режиме усиления второй инвертор D1.2. Положительная обратная связь через конденсатор С1 вызовет мягкое (не нуждающееся в первоначальном толчке) самовозбуждение автоколебательного релаксационного процесса.

В прямоточной части схемы в качестве формирователя импульса ФИ1 используются элементы логики D1.3, D1.4 (инвертор). Так как инвертор имеет значительно меньшее время задержки сигнала.

Дальше импульсы поступают на выход «сухой контакт». Эти сигналы имитируют расход воды в подающем трубопроводе системы отопления.

Генератор импульсов (Г2) собран на микросхеме К176ИЕ12. Здесь используется генерация импульсов частотой 1 Гц и делитель на 60.

Частота генерации стабилизирована кварцевым резонатором Q1. Импульсы частотой 1 Гц формируются на выводе (4) Г2. И отсюда они поступают на вход счетчика, делителя на 60 - на выход (7) Г2. На выходе данного счетчика (на выводе 4) образуются импульсы с периодом повторения 60 секунд. Данные импульсы поступают на вход микросхемы ФИ1, где происходит формирование импульсов.

В качестве формирователя импульса ФИ1 используется схема одновибратора, основанная на процессе перезаряда конденсатора С2. Для правильной работы данного одновибратора необходимо, чтобы длительность входного запускающего импульса была достаточно большой, чтобы конденсатор С2 успел полностью разрядиться. После окончания запускающего импульса конденсатор С2 заряжается через резистор R5 до величины напряжения питания. При этом, как только напряжение достигнет 5В - элемент D2.1 переключится. В этом случае длительность выходного импульса зависит от номиналов, установленных емкости С1 и резистора R5 во времязадающей цепи.

В ДЧ1 происходит преобразование коротких импульсов в более широкие, определенной длительности. На один выход (4) поступает чистота генератора 1ГЦ, а на другой выход (7) из которой вырезается часть импульсов, и которая определяет длительностью этих импульсов (ждуший мультивибратор). Меняя длительность импульса ждущего мультивибратора, пропуская или вырезая часть импульсов, на второй выход (7) пропускается меньшее количество импульсов. Эти импульсы либо проходят через ключ VT2 или не проходят. Когда есть сигнал «запрет» часть импульсов не проходит. Ключ VT1 задаёт временной интервал, по которому проходят эти импульсы. Прошедшие импульсы через входной ключ VT2 поступают на выход «сухой контакт». Эти сигналы имитируют расход воды в обратном трубопроводе системы отопления.

Принципиальная схема источника питания представлена на рисунке 2. Применяемые в данной схеме диодов ускоряют процесс перезаряда емкости, что уменьшает возможности возникновения импульсных помех на выходе.

Принципиальная схема лабораторного макета расходомера представлена на рисунке 3.

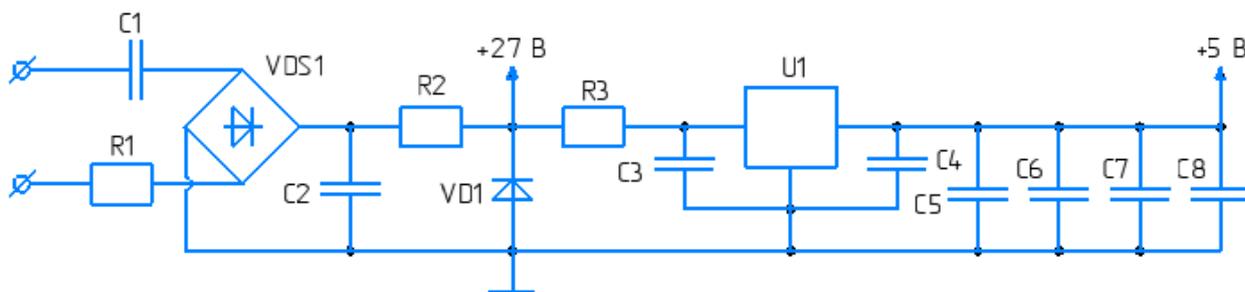


Рисунок 2 – Принципиальная схема источников питания

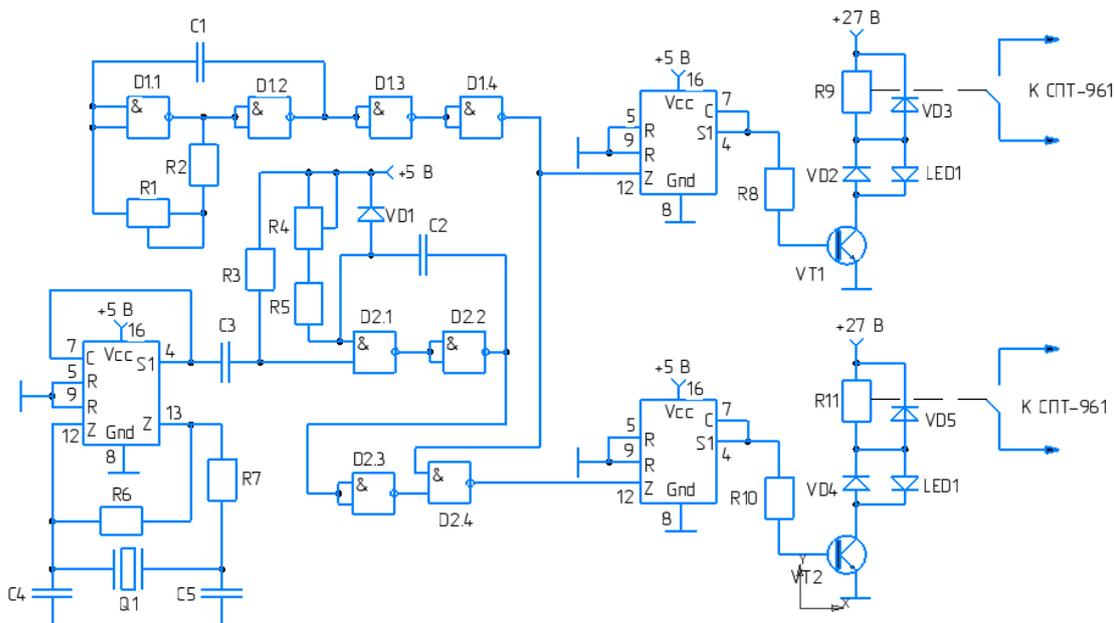


Рисунок 3 – Принципиальная схема лабораторного макета расходомера

Соотношении импульсов определяется на выходе, на сколько расход в подающем трубопроводе больше расхода в образном трубопроводе.

Литература

1. «Теплосчетчики и системы измерения тепловой энергии в России» В. А. Медведев, ФГУ «Ростест-Москва».
2. Канев С.Н. Учёт количества теплоты и массы теплоносителя в водяных тепловых системах теплоснабжения потребителей. С.Н. Канев – Хабаровск, 2005. – 132 с.

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

АНАЛИЗ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Проанализировав результаты расчетов вертикальных систем отопления жилых зданий, рассмотренных в выпускной квалификационной работе, можно выявить ряд недостатков, а именно:

- в однотрубной системе подключенные последовательно радиаторы имеют существенную разницу температуры в начале и конце контура;
- имеется высокий риск разбалансирования всей системы при самовольной замене схемы размещения и количества отопительного оборудования отдельными пользователями;
- невозможно отключить в однотрубной системе отдельный отопительный прибор без отключения всего контура;
- исключена установка индивидуальных поквартирных счетчиков расхода тепловой энергии (учет можно организовать либо на стояках, либо путем установки дорогостоящих приборов на каждый радиатор внутри помещения);
- открытая прокладка магистралей усложняет отделочные работы, ухудшает внешний вид комнаты.

На основе выявленных недостатков, я хотел бы рассмотреть горизонтальные системы отопления жилых зданий. К основной составляющей отопительной инфраструктуры горизонтальной системы относятся трубы, обогреватель, стояк, а также сюда включается источник горячей воды. Трубы нужно прокладывать так, чтобы выдержать минимальную разницу по высотному уровню с нагревательным оборудованием [1].

Каждая квартира имеет свою отдельную ветку распределительного теплового контура с индивидуальным узлом учета. Однако для регулирования температуры требуется специализированное устройство-перемычка. На рисунке 1 можно рассмотреть схему горизонтальной системы отопления [2].

В многоэтажных домах широко применяется отопительная система, основанная на однотрубном принципе. Эта система работает следующим образом: нагретый теплоноситель поднимается на самый верхний этаж и затем спускается по трубопроводу отопительного контура. Все отопительные приборы подключены к этому трубопроводу.

Однако у однотрубной системы есть некоторый недостаток: верхние этажи получают наибольшее количество тепла, в то время как теплоноситель доходит до нижних этажей уже немного остывшим. В результате на верхних этажах может возникнуть избыточное отопление, в то время как на первых этажах недостаточно тепла [2].

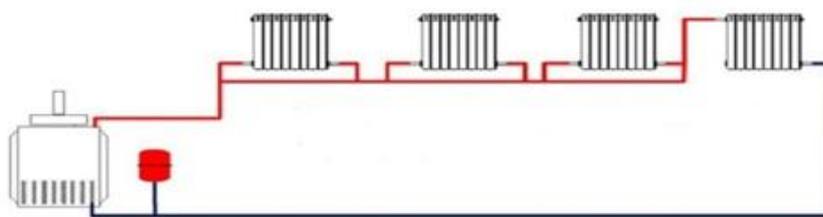


Рисунок 1 – Горизонтальная однотрубная система отопления

В частных коттеджах, состоящих из 2-3 этажей, однотрубная разводка горизонтальной системы отопления также широко используется. В данном случае однотрубная схема демонстрирует наилучшую работу, поскольку теплоноситель не остывает, проходя все три этажа, и температура на всех этажах остается примерно одинаковой.

Если сравнивать однотрубную разводку с двухтрубной разводкой, то первая обладает более высоким гидродинамическим сопротивлением по сравнению с последней. Кроме того, в однотрубной разводке наблюдается более высокие теплотери [2].

Горизонтальная разводка двухтрубного типа становится все более распространенной в многоэтажных домах. Данную систему можно рассмотреть на рисунке 2. При помощи такой разводки появляется возможность устанавливать приборы учета расхода тепла, что способствует экономии на оплате за отопление. Отопительная система определяет точное количество тепла, полученное пользователем, и тем самым позволяет ему оплачивать только за фактически использованное количество тепла.

Несмотря на более высокую стоимость некоторых компонентов системы, подобная конструкция отопления обладает целым рядом значительных преимуществ:

- служба эксплуатации может отключить одно помещение от системы отопления, что удобно при проведении ремонтных работ или в случае чп;
- снизить потребление тепла в том случае, если это необходимо;
- спроектировать отопительную систему отдельного помещения по индивидуальному проекту независимо от других;
- увеличить ремонтпригодность.
- период службы квартирной системы приблизительно 2 раза выше благодаря материалам, которые используются.

Также система отопления с горизонтальной разводкой двухтрубного типа, позволяет организовать систему «теплый пол».

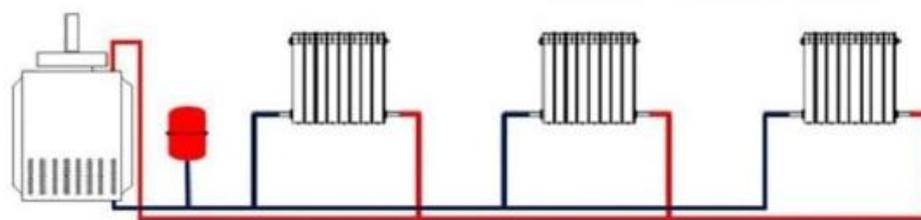


Рисунок 2 – Горизонтальная двухтрубная система отопления

Двухтрубная отопительная система полностью избавлена от всех недостатков однотрубной системы. В этой системе радиаторы могут быть подключены как к подающей трубе (которая подводит горячую воду к радиаторам), так и к обратной трубе (через которую возвращается охлажденная вода). Такая система позволяет устанавливать радиаторы одинакового размера и регулировать количество теплоносителя, подаваемого в каждый радиатор. Регулировка может осуществляться как при помощи автоматических устройств (терморегуляторов), так и вручную.

С другой стороны, двухтрубные системы требуют дополнительной эксплуатации, так как нуждаются в настройке и регулировке. Они также имеют низкую устойчивость к замене. Любое несанкционированное вмешательство

жильцов, например, замена радиаторов, часто приводит к нарушению равновесия отопительной системы.

Стояковые системы могут ограничить возможность индивидуального учета потребления тепла каждым пользователем. В таком случае единственным вариантом будет использование радиаторов с установленными счетчиками-распределителями тепла. Однако в такой ситуации будет затруднительно принять меры в отношении неплательщиков. Кроме того, неясно, кому должны быть причислены расходы на отопление незаселенных квартир.

В высотном строительстве понадобится зонирование системы (по 13-17 этажей).

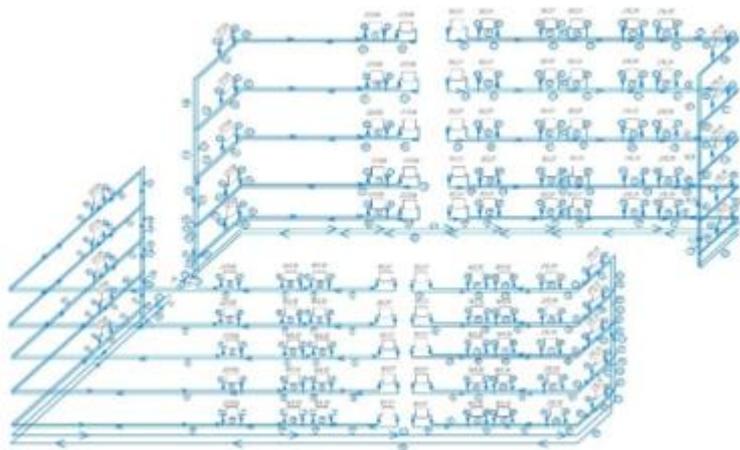


Рисунок 3 – Аксонометрическая схема двухтрубной системы отопления

Таким образом, рекомендуется выбрать горизонтальную двухтрубную систему отопления. Преимущества этой системы включают равномерное распределение теплоносителя по всем отопительным приборам, даже в самых отдаленных от источника тепловой энергии, а также использование подающей трубы в качестве дополнительного источника тепла для помещений большой площади. Параллельное подключение приборов позволяет отключать один из них при необходимости без влияния на остальные приборы.

Литература

1. О проектировании современных систем отопления в зданиях жилого и общественного назначения. / В.Н. Карпов // АВОК. – 2008. – №1.
2. Отопление: Учеб. для вузов. / В.Н. Богословский, А.Н. Сканава. М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.: ил.

*В.А. Галковский, к.т.н., доцент; Е.Д. Крюков, студ. маг.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТА

Индивидуальный тепловой пункт (ИТП) – это узел подключения потребителя к тепловой сети, предназначенный для обеспечения теплоснабжения отдельного здания. Он обычно используется в многоквартирных, частных домах, офисных зданиях, промышленных объектах и других типах строений. Основной

задачей ИТП является подача тепла в помещения, обеспечивая комфортную температуру для жильцов или рабочих.

ИТП включает в себя различное оборудование, такое как насосы для циркуляции теплоносителя (чаще всего воды) по системе отопления и горячего водоснабжения (ГВС), теплообменники, регулирующие устройства, а также систему для измерения и учета потребления тепла. Кроме того, в ИТП может входить оборудование для подготовки горячей воды, так как некоторые системы теплоснабжения обеспечивают горячей водой не только систему отопления, но и ГВС [1].

Теплообменные аппараты в индивидуальном тепловом пункте выполняют важную функцию в процессе передачи тепла из тепловой сети в систему отопления или горячего водоснабжения. В зависимости от конкретной конфигурации ИТП могут применяться различные типы теплообменных аппаратов: пластинчатые или кожухотрубчатые.

Пластинчатые теплообменники (ПТО) – это тип теплообменных устройств, используемых для передачи тепла между двумя средами, обычно между двумя жидкостями или между жидкостью и газом. Они получили свое название из-за своей конструкции, состоящей из множества металлических пластин, которые установлены параллельно друг другу и разделены прокладками, чтобы создать каналы для течения среды. Преимущества пластинчатых теплообменников в их компактности, более высоком коэффициенте теплопередачи, следовательно эффективность нагрева лучше, также их легко полностью разобрать для чистки и замены элементов [2].

Кожухотрубные теплообменники (КТТО) получили свое название из-за своей конструкции, которая включает в себя кожух (внешний корпус) и пучок труб. Здесь теплообмен происходит между теплоносителем внутри труб и теплоносителем межтрубного пространства. Кожухотрубные теплообменники в свою очередь имеют меньшую стоимость, просты в обслуживании и способны избавиться от накипи промывкой без разборки аппарата [2].

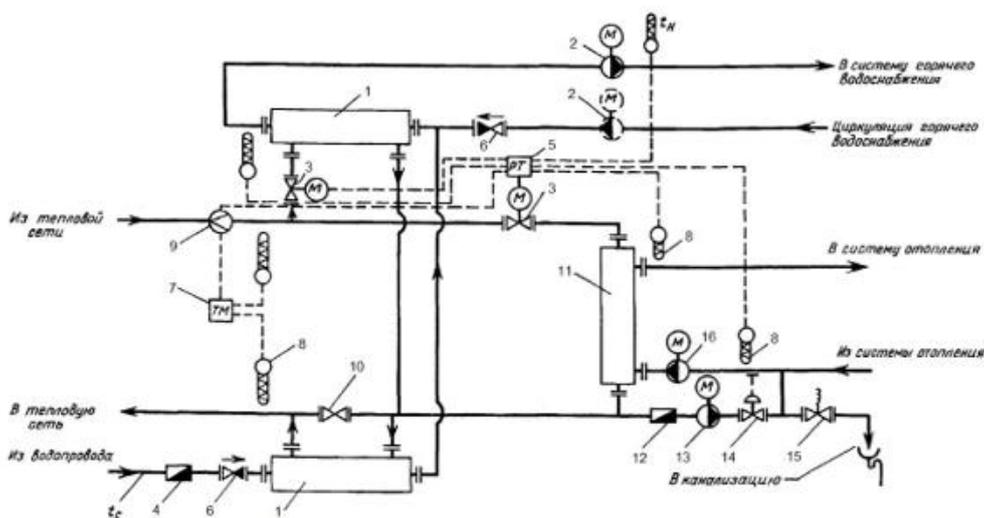


Рисунок 1 – Схема ИТП

В данной работе рассматривается шестнадцатизэтажное жилое здание с двухступенчатой схемой присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения и с независимым присоединением системы отопления, представленной на рисунке 1 [3].

Холодная вода из водопровода подогревается двумя теплообменниками – сначала на первой ступени, потом на второй (1), а система отопления присоединяется третьим теплообменным аппаратом (11).

С целью выбора оптимального теплообменника был выполнен тепловой, гидравлический и технико-экономический расчёт пластинчатого и кожухотрубчатого теплообменных аппаратов, установленных в ИТП. Результаты первых двух расчётов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты гидравлического и теплового расчётов теплообменных аппаратов

Назначение и тип ТО	$\alpha_1, \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})}$	$\alpha_2, \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})}$	$k, \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})}$	$F, \text{ м}^2$	$\Delta P_{\text{н}}, \text{ кПа}$	$\Delta P_{\text{гр}}, \text{ кПа}$
КТТО отопления	1778	6525	1489	13,02	9,76	5,42
ПТО отопления	5543	10147	2343	9	31,2	3,4
КТТО ГВС I ступени	3064	4042	1851	6,66	92,9	66,3
ПТО ГВС I ступени	6835	5603	2066	6,6	32	25,2
КТТО ГВС II ступени	3663	5120	2260	4,44	62	44,2
ПТО ГВС II ступени	7992	6879	2402	4,2	19,8	15,7

После проведения теплового и гидравлического расчетов для определения наиболее эффективного теплообменника были рассчитаны основные технико-экономические параметры оборудования. Результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Стоимость теплообменного оборудования ИТП

Назначение аппарата	Тип	Название	Цена, руб.
Отопление	Кожухотрубчатый	ВВП 05	132 090
Отопление	Пластинчатый	Ридан НН №12М	163297
ГВС I ступени	Кожухотрубчатый	ВВП 01	97542
ГВС II ступени	Кожухотрубчатый	ВВП 01	65028
ГВС I ступени	Пластинчатый	Ридан НН №12М	131 311
ГВС II ступени	Пластинчатый	Ридан НН №12М	101 449

Для системы отопления наиболее эффективным является кожухотрубный теплообменник ВВП 05-89х2000 [4]. Несмотря на его большую поверхность теплообмена, он имеет меньшей потерю давления при более низкой стоимости.

Для системы горячего водоснабжения обеих ступеней оптимальным выбором являются пластинчатые теплообменные аппараты Ридан НН №12М [5]. Их гидравлические потери в данном случае, ниже, чем у кожухотрубных, они более компактны за счет меньшей поверхности теплообмена, однако имеют большую стоимость.

Таким образом, выбор теплообменного оборудования для ИТП зависит от множества факторов, которые включают в себя технические требования, характеристики системы, бюджетные ограничения и другие факторы. Выбор теплообменного аппарата требует внимательного анализа и согласования с требованиями выбранной системы.

Литература

1. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: МЭИ, 2009. 472 с
2. Краснов В.И. Повышение эффективности теплоснабжения зданий и сооружений путём замены в ЦТП кожухотрубных теплообменников на пластинчатые // Энергобезопасность в документах и фактах. 2006. № 2.
3. СП 41-101-95. Свод правил. Проектирование тепловых пунктов.
4. Секция подогревателя водоводяного ВВП 05-89х2000. [Электронный ресурс]. - Режим доступа :<https://promsnabob.ru/kotelnoe-oborudovanie/kozhukhotrubnye-podogrevateli/vodo-vodyanye-podogrevate-li-vvp/05-89x2000/>
5. Теплообменник пластинчатый Ридан НН№12М. [Электронный ресурс]. - Режим доступа :<https://www.teploprofi.com/catalogue/show/teploobmennik-plastinchatyj-razbornyj-ridan-nn-12m/>

*В.А. Галковский, доцент, к.т.н., Е.Г. Новикова студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛОГО МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ

Системы отопления являются важной частью любого здания, так как они обеспечивают тепло в холодное время года. Они также играют ключевую роль в создании искусственного климатического режима, предполагающего нормативно заданный диапазон температур и влажности, необходимый для создания комфортных условий человеку и длительного сохранения жилищных конструкций.

Оптимальный выбор и грамотное расположение отопительных приборов является определяющим для обеспечения энергоэффективности здания за счет уменьшения расхода энергии и снижения стоимости отопления. Наиболее распространенным способом обогрева жилых зданий являются горизонтальные системы отопления. Они имеют ряд достоинств:

- высокая степень контроля теплоотдачи;
- возможность отдельной настройки каждого участка;
- возможность скрытой прокладки;
- надежность.

Горизонтальные системы отопления бывают различных типов. Для сравнения и выявления наиболее эффективной и выгодной системы, нами было спроектировано три системы отопления для пятиэтажного здания, расположенного в г. Смоленске.



Рис. 1 – Схема этажа отапливаемого здания.

На рисунках 2, 3 и 4 представлены различные виды разводки систем отопления для выбранного здания.

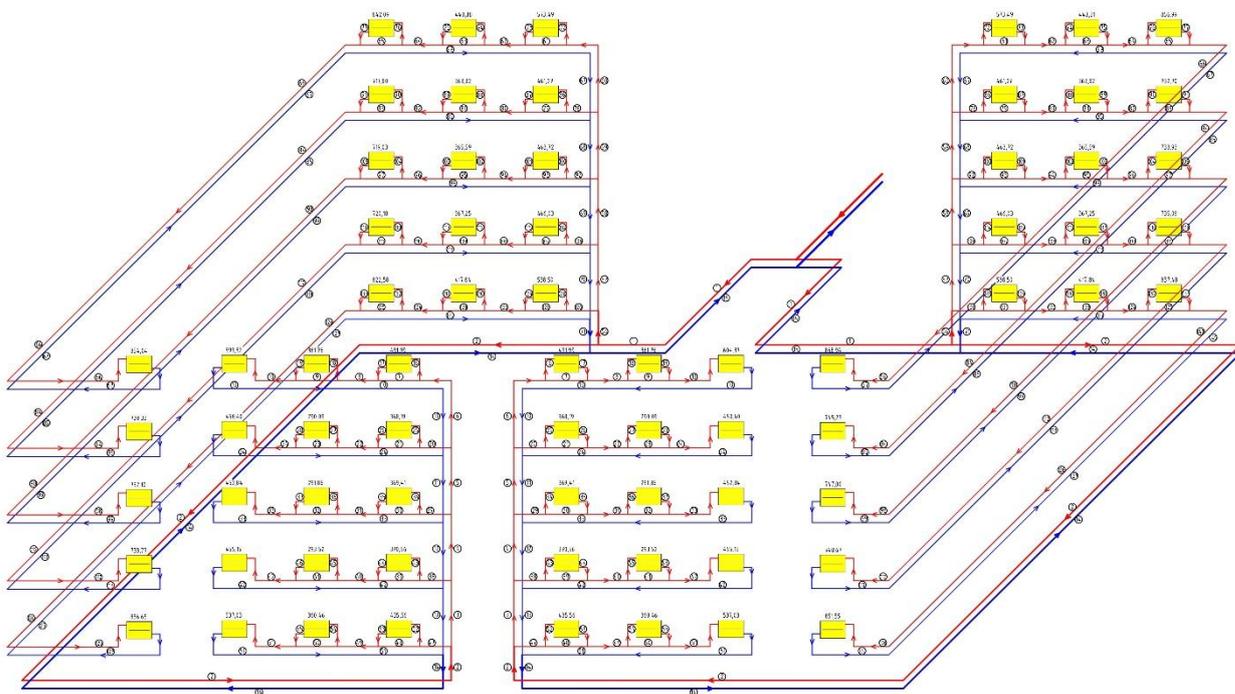


Рис. 2 – Однотрубная система отопления с горизонтальным расположением трубопроводов.

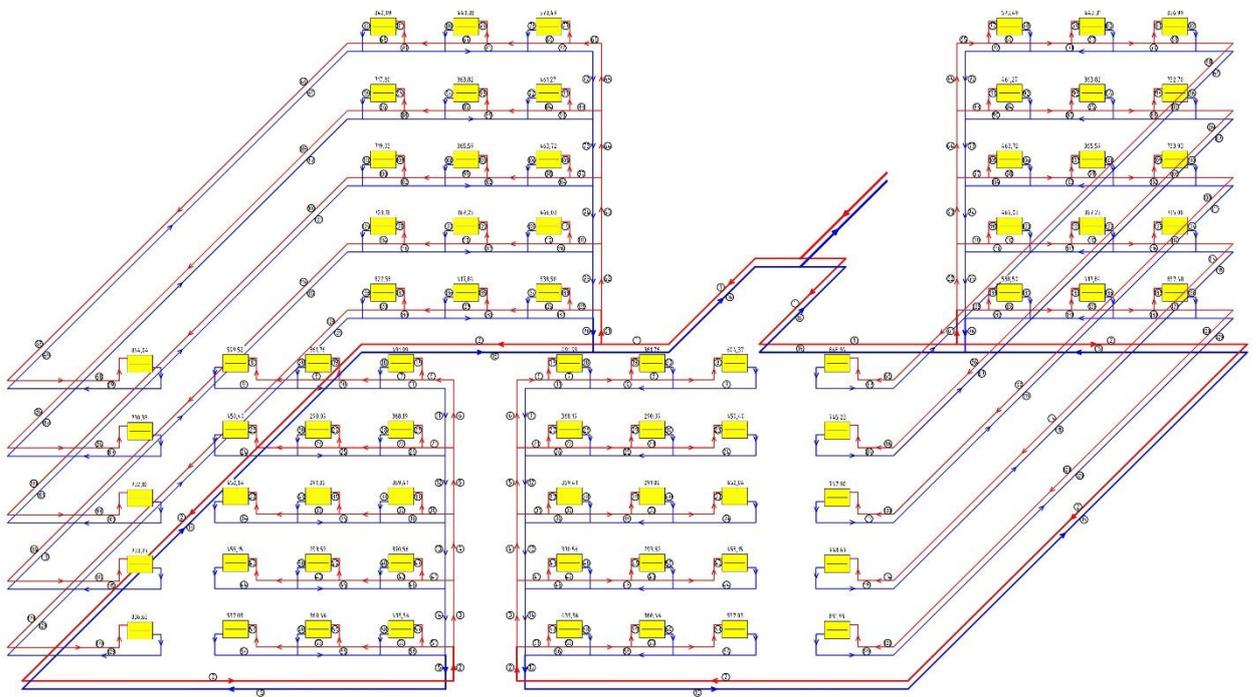


Рис. 3 - Двухтрубная системы отопления с тупиковым движением теплоносителя.

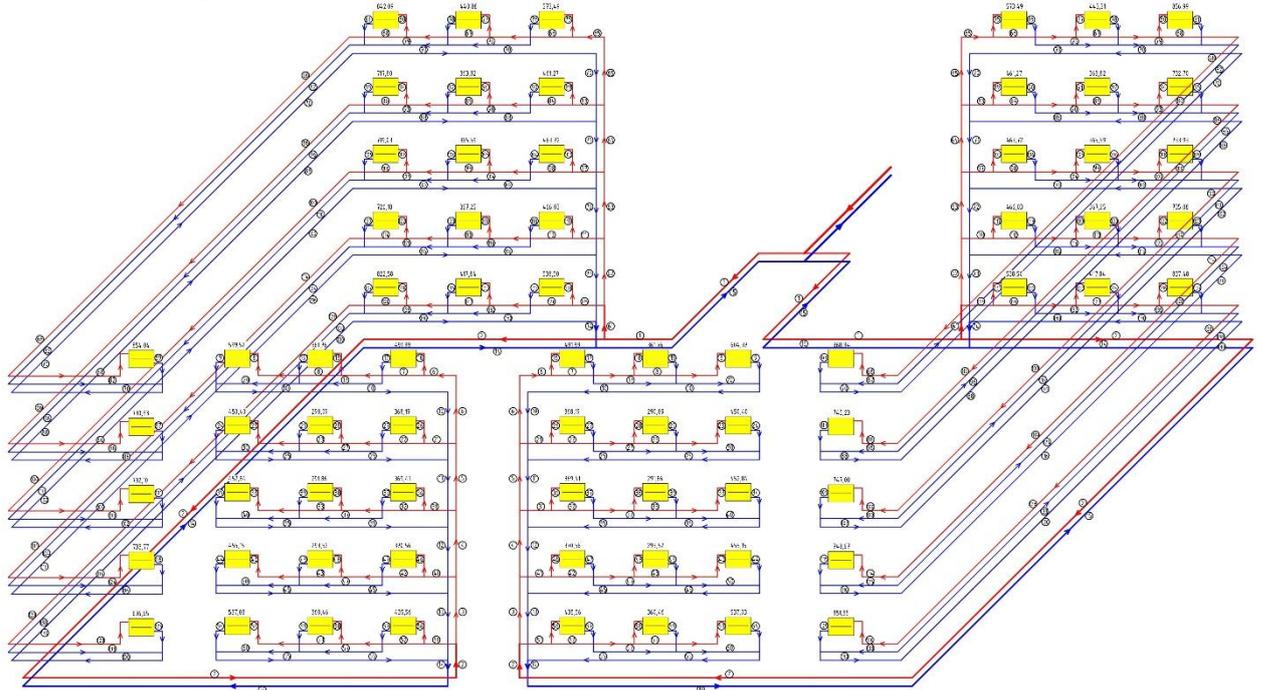


Рис. 4 – Двухтрубная системы отопления с попутным движением теплоносителя.

Тепловой расчет был выполнен по подробной методике для определения точного количества тепловой энергии, потребляемой каждым помещением жилого здания. Гидравлический расчет основан на методике, где основной принцип заключается в выборе оптимального диаметра труб, обеспечивающего равномерное изменение температуры теплоносителя вдоль всей магистрали.

Результаты гидравлического расчета показывают, что присутствует незначительная разница в потерях давления двухтрубной системы отопления с попутным движением теплоносителя и однотрубной системы. Причина этого заключается в значительных размерах трубопроводов в двух-

трубной системе, где происходит потеря давления из-за его протяженности, и потери местных сопротивлений на участках однетрубной системы. Но относительно капиталовложений однетрубная более выгодная, так как не требует дополнительной магистрали для обратного движения теплоносителя к источнику. Существенную разницу в гидравлических показателях показывает двухтрубная система с тупиковым движением теплоносителя в магистралях для рассматриваемого объекта отопления. Система имеет наименьшие потери давления. Следовательно, горизонтальная двухтрубная система отопления с тупиковым движением воды в магистралях будет выгодна для данного жилого здания по рассмотренным параметрам, не смотря на небольшую разницу в материальном показателе относительно однетрубной системы. Однетрубная система отопления с горизонтальным расположением труб позволит обеспечить эффективную работу в объектах, не требующих протяженных сетей трубопроводов. Это позволит избежать значительных потерь давления в системе и обеспечит равномерное распределение тепла до удаленных отопительных приборов. Анализ результатов сравнения приведен в таблице 1.

Таблица 1

Анализ результатов расчетов рассмотренных систем водяного отопления

	Затраты на трубопровод, руб.	Затраты на отопительные приборы, руб.	Общие потери давления, Па	Затраты на насосное устройство, руб.	Общие затраты, руб.
Двухтрубная с тупиковым движением	105826,65	295132,8	27337,7	59080	460039,45
Двухтрубная с попутным движением	134319,51		42753,7		488532,31
Однетрубная	104235,81		38666,24		458448,61

На основании сравнительного анализа, для практической реализации рекомендуется использовать двухтрубную систему отопления с тупиковым движением теплоносителя, т.к. она имеет следующие преимущества:

1. Благодаря тому, что линейный расход горячей воды по каждому трубопроводу равен, система позволяет добиться равномерного нагрева помещения;
2. Горизонтальная двухтрубная система с тупиковым движением теплоносителя позволяет менять температуру отопления в каждом помещении отдельно;
3. Благодаря возможности регулировки температуры отопления в каждом помещении, можно экономить энергоресурсы нагревая только те помещения, которые используются в данный момент;
4. Каждый радиатор имеет свой подводящий и обратный трубопровод, что упрощает управление и обслуживание системы;

5. Горизонтальная двухтрубная система с тупиковым движением теплоносителя позволяет легко включать в систему дополнительные отопительные приборы;

6. Т.к. каждый радиатор имеет свой подводящий и обратный трубопровод, система более устойчива к авариям, таким как прорыв трубы, чем системы с одним трубопроводом.

Литература:

1. Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление: Учеб. для вузов. М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.: ил.
2. Назарова, В. И. Современные системы отопления / В. И. Назарова. — М. : РИПОЛ классик, 2011. — 320 с. : ил. — (Энциклопедия строительства).
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 9-е изд., стереотип. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 472 с.

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

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СХЕМАХ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Наибольшее распространение среди аппаратов тепловой сушки получили конвективные сушильные установки, они применяются для сушки различных материалов. Сушка материалов это энергоемкий технологический процесс, в течение которого тратится значительное количество тепла и энергии. Поэтому необходимо подобрать оптимальные параметры агента сушки, которые будут минимизировать расход тепла и энергии, выбрать скорость сушки, при которой достигаются наилучшие показатели технологического процесса. Анализ тепло- и массообменных процессов в конвективных сушилках показывает, что наибольшие потери связаны с уходящим сушильным агентом (рисунок 1).

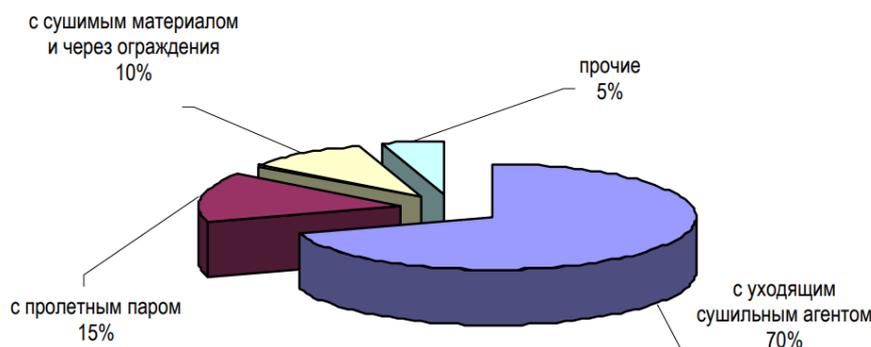


Рисунок 1 – Распределение потерь в конвективных сушильных установках

Эти потери составляют 70% от всех потерь в сушилке, поэтому целесообразно рассмотреть методы энергосбережения связанные с уменьшением потерь данного вида. Одним из таких методов повышения эффективности является применение теплонасосных технологий, которые позволяют снизить энергозатраты и улучшить эффективность процесса сушки. Тепловой насос это устройство, которое преобразует низкопотенциальную энергию в энергию более высокого потенциала. ТНУ работают по принципу термодинамического цикла, в котором цель процесса - нагрев.

Сушильным агентом в таких установках наиболее часто используется воздух, поэтому рассмотрим разомкнутую схему ТНУ по воздуху (рисунок 2).

Принцип работы такой установки заключается в том, что влажный обработанный воздух после сушильной установки поступает в испаритель (И), где охлаждается и отдает своё тепло рабочему агенту, а сам удаляется в окружающую среду, за счет этой теплоты работает теплонасосная установка с рабочим агентом. Проходя испаритель (И), он поступает в компрессор (КМ), где происходит его сжатие, этот процесс сопровождается увеличением температуры. Затем рабочий агент попадает в конденсатор (К), где конденсируется и нагревает воздух, поступающий туда же. Далее рабочий агент поступает в дроссель (ДР), процесс дросселирования сопровождается уменьшением температуры и давления до температуры и давления испарения в испарителе (И). При снижении температуры воздуха ниже значения точки росы, происходит выпадение конденсата, который затем эффективно удаляется в атмосферу.

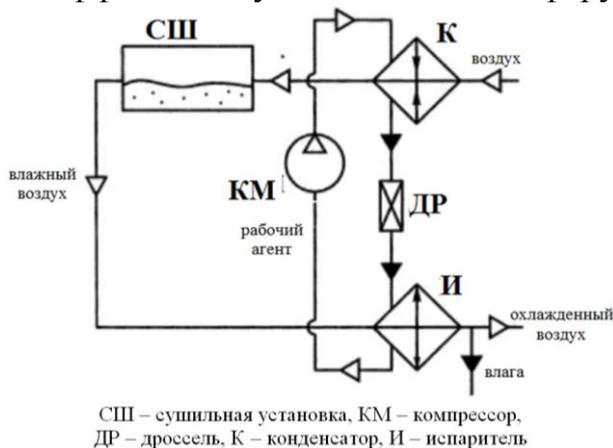


Рисунок 2 – Разомкнутая схема ТНУ по воздуху

Эффективность процесса сушки достигается путем увеличения теплоты, выделяющейся при конденсации рабочего агента в конденсаторе (К). Это можно достичь путем увеличения количества теплоты на испарение рабочего агента цикла теплового насоса. При этом из установки отводится поток охлажденного воздуха [1].

Схема сушильной установки с использованием теплового насоса представлена на рисунке 3.

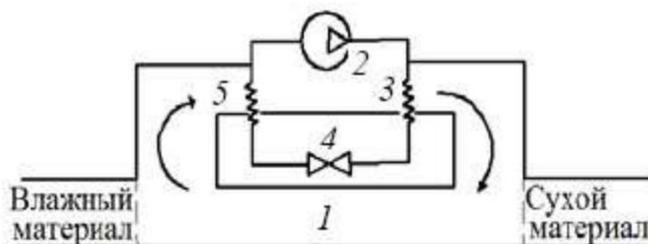


Рисунок 3 – Схема сушилки с ТНУ: 1 – камера; 2 – компрессор; 3 – конденсатор; 4 – дроссель; 5 – испаритель

Рабочим агентом теплонасосных установок обычно является хладагент, который циркулирует по системе и осуществляет процесс теплопередачи. Наиболее распространенными рабочими агентами для ТНУ являются фреоны.

При использовании схемы сушильной установки с применением ТНУ необходимо учитывать климатические условия, значения температуры и влажности, а также правильную настройку и обслуживание компонентов установки для обеспечения их эффективной работы.

Чтобы оценить эффективность применения тепловых насосов в процессах тепловой сушки используется выражение, позволяющее количественно оценить предельный отопительный коэффициент [2]:

$$\varepsilon_{от} = \frac{T_{вх} + 10}{(T_{вх} + 10) - (T_{вых} - 10)} = \frac{T_{вх} + 10}{\Delta T_c + 20} \quad (1)$$

где $T_{вх}$, $T_{вых}$ – температура на входе и на выходе сушильного агента, °С; ΔT_c – перепад температур в сушилке, °С, определяемый по формуле:

$$\Delta T_c = T_{вх} - T_{вых} \quad (2)$$

В ходе исследования была проведена оценка выражения (1) при изменяющихся значениях температур сушильного агента на входе и на выходе, результаты которого представлены на рисунках 4 и 5.

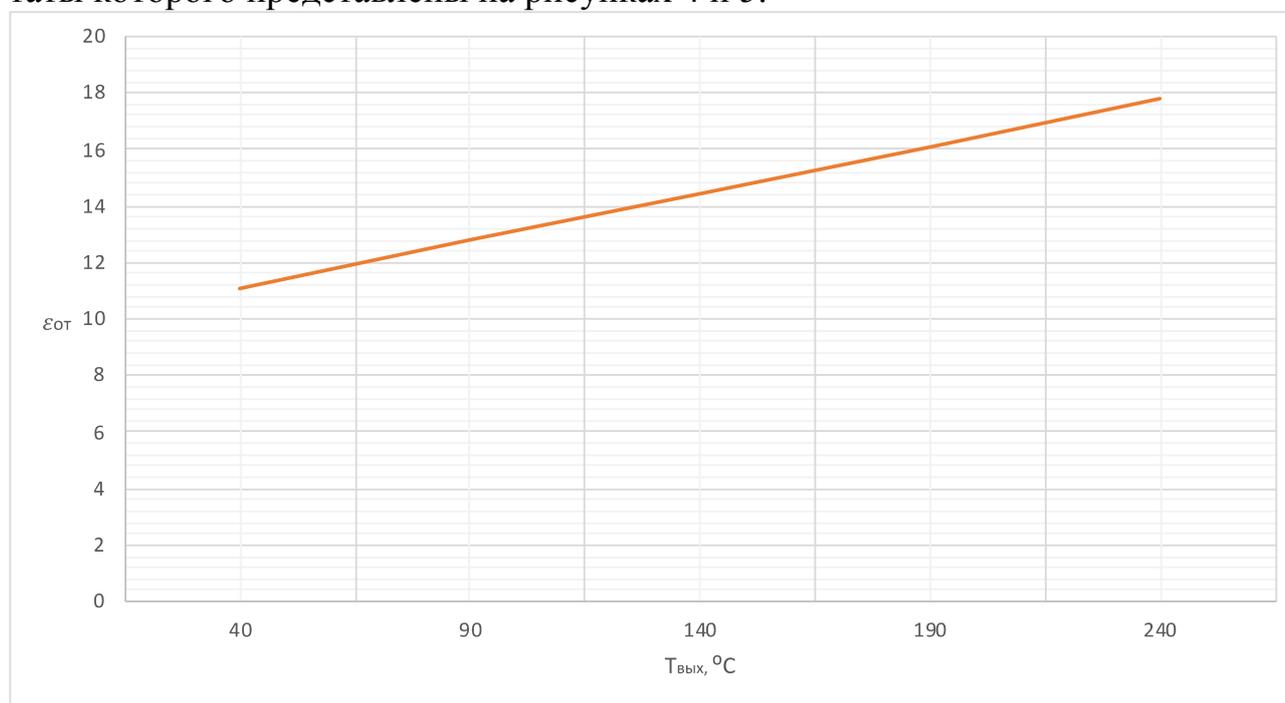


Рисунок 4 – Зависимость $\varepsilon_{от}$ от температуры на выходе $T_{вых}$ при постоянном перепаде температур в сушилке $\Delta T_c = 10^\circ\text{C}$

Проанализировав рисунок 4, можно сделать вывод, что с увеличением температуры на входе сушильного агента от 50°C до 250°C предельный отопительный коэффициент $\varepsilon_{от}$ увеличивается, анализ при перепаде температур в

сушильной установке $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ позволяет сделать вывод, что предельный отопительный коэффициент возрастает с 11,1 до 17,8, то есть увеличивается в 1,6 раз.

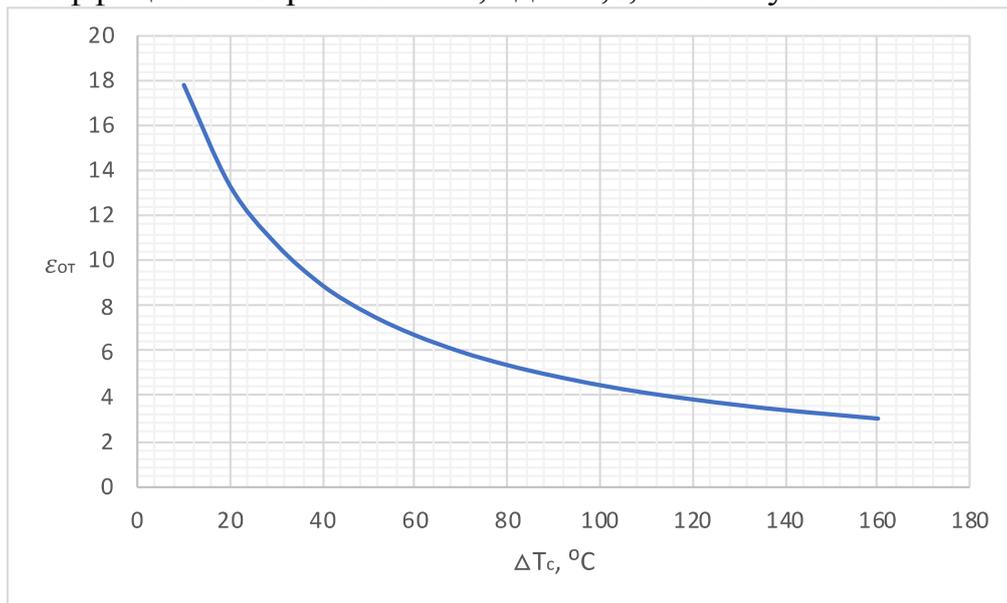


Рисунок 5 – Зависимость $\epsilon_{от}$ от перепада температур в сушильной установке ΔT_c при температуре на входе $T_{вх} = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$

Из рисунка 5 видно, что при температуре на входе в сушилку $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ и увеличении разности температур ($T_{вх} - T_{вых}$) от $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит уменьшение предельного отопительного коэффициента $\epsilon_{от}$ с 17,8 до 2,96. Это означает, что эффективность процесса сушки уменьшается в 6 раз. Такой результат недопустим для реального процесса, который обычно имеет эффективность ниже в 2-3 раза по сравнению с идеальным процессом сушки.

Анализ выражения (1) показал, что при высокой температуре сушки использование тепловых насосов менее эффективно. Экономичность процесса сушки достигается за счет уменьшения температуры выходящего сушильного агента, но это сопровождается увеличением температурных перепадов в ТНУ и соответствует увеличению энергозатрат на сжатие.

Таким образом применение тепловых насосов в схемах сушильных установок может быть ограничено температурным уровнем процесса сушки различных материалов.

Список литературы

1. Ибрагимов, У. Х. Утилизация теплоты отработанного газа и воздуха в конвективных сушильных установках с помощью теплового насоса / У. Х. Ибрагимов, Т. Р. Аванесов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2021. — № 21 (363). — С. 31-33. — URL: <https://moluch.ru/archive/363/80658/> (дата обращения: 25.09.2023).
2. Липин, А.Г. Энергосбережение в сушильных установках : учебное пособие / А. Г. Липин, А. А. Липин; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. - Иваново, 2012. - 84 с. ISBN 978-5-9616-0433-4

*И.А. Кабанова, доцент, к.т.н., М.А. Германов студ.,
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КИСЛОРОДА

Химическая промышленность – является одной из лидирующих отраслей народного хозяйства. Она влияет на ускорение научно – технического прогресса, повышение эффективности производства. Укрепление сельского хозяйства, расширение сырьевой базы для производства легкой промышленности и товаров народного потребления требует увеличения производства химической продукции и ее использования во всех отраслях народного хозяйства.

Воздухоразделение – технологический процесс выделения из воздушной смеси кислорода, азота и благородных газов (за исключением гелия и радона).

В таблице 1 представлен состав атмосферного воздуха у поверхности земли.

Таблица 1 – Усредненный состав атмосферного воздуха

Газ	Молекулярная масса, г/моль	Объемное содержание, %	Массовое содержание, %	Нормальная температура кипения, К
N ₂	28,015	78,08	75,54	77,37
O ₂	32,01	20,93	23,12	90,20
Ar	39,942	0,92	1,26	87,31
CO ₂	44,02	0,04	0,051	194,62
Ne	20,181	0,00182	0,00124	27,01
He	4,004	0,000523	$0,73 \cdot 10^{-4}$	4,24
Kr	83,9	0,00011	0,00032	119,03
H ₂	2,015	0,000055	$0,037 \cdot 10^{-4}$	20,42
N ₂ O	44,014	0,000052	0,000081	184,64

Одним из основных продуктов разделения является кислород. По данным, использование кислорода в отраслях промышленности образом (в % от общего производства кислорода) составляет:

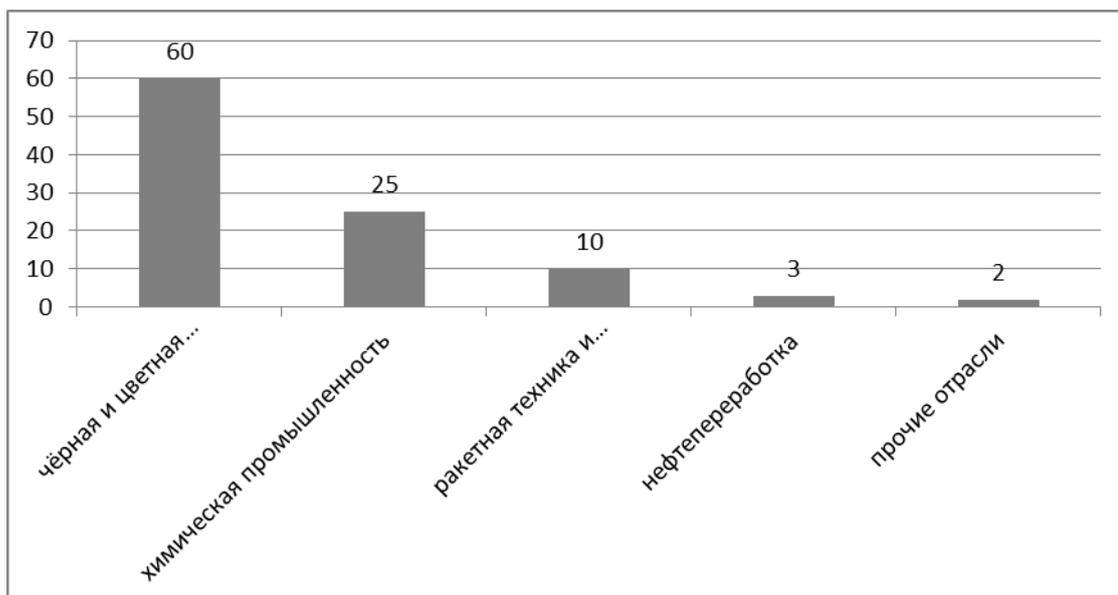


Рисунок 1 - Использование кислорода в отраслях мировой промышленности.

Воздухоразделение – технологический процесс выделения из воздушной смеси кислорода, азота и благородных газов (за исключением гелия и радона). Перед разделением обычно производится осушка и очистка воздуха от примесей углеводородов, диоксида углерода, оксидов азота, серы.

Исторически существовали следующие методы разделения воздуха:

- фракционная конденсация паров воздуха;
- фракционное испарение жидкого воздуха;
- ректификационный;
- адсорбционный;
- мембранный.

Типы установок: адсорбционные, мембранные и криогенные. Рассмотрим преимущества и недостатки.

Процесс криогенной дистилляции

Преимущества:

1. высокая чистота продуктов разделения;
2. высокая степень извлечения при любом количестве продукта;
3. одновременное получение нескольких продуктов разделения, как газообразном, так и жидком состоянии;
4. с увеличением количества получаемых продуктов эффективность процесса в установке повышается;
5. минимальное воздействие на окружающую среду;
6. длительный срок службы и минимальное техническое обслуживание оборудования;
7. высокая гибкость процесса.

Адсорбционный метод

Преимущества:

1. Адсорбент дешевле мембран и имеет более длительный срок службы, 10-15 лет.

2. Технология практически не подвержена влиянию температуры сжатого воздуха, как по производительности, так и по износу.

3. Процесс высокоавтоматизирован, а оборудование безопасно и надежно.

Недостатки:

1. невозможно получать сжиженный газ, технический кислород чистотой более 95%;

2. наличие водяных паров в сжатом воздухе снижает эффективность адсорбента и требует установки осушителя сжатого воздуха;

3. ограниченная способность разделения;

4. высокая чувствительность к загрязнениям.

Диффузионный метод (мембранный)

Преимущества:

1. Мобильность. Благодаря компактным размерам агрегат можно перевозить с площадки на площадку.

2. Производительность/чистота газа легко регулируется с помощью регулятора расхода.

3. Система нечувствительна к присутствию водяных паров в сжатом воздухе.

Недостатки:

1. Чистота производимого азота ограничена.

2. Чувствительность мембраны к парам компрессорного масла и температуре подаваемого воздуха (требуется использование дополнительного оборудования для подготовки воздуха).

3. Ограниченный срок службы мембраны (до 5 лет) и её высокая стоимость, которая составляет значительную часть общей цены мембранной установки.

В таблице 2 представлены удельные затраты электрической энергии и потребность в тепловой энергии для установок разных типов с производительностью кислорода 40000 Нм³/час.

Таблица 2 - Удельные затраты электрической энергии и потребность в тепловой энергии установок

Установка	Потребность в электрической энергии кВт*час/Нм ³	Потребность в тепловой энергии, Гкал
Криогенная	0,40–0,45	1000
ВКЦА	0,42–0,47	13870

Для адсорбционных установок вариантов по комплектации намного меньше. Может появиться необходимость в дожимных компрессорах кислорода, более мощных воздухоподогревателях в сравнении с криогенной установкой, а

так же в дополнительных фильтрах. Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод о целесообразности применения криогенной технологии для получения 40 000 Нм³/ч кислорода

Литература:

1. Свит Т.Ф. «Основы разделения воздуха методом глубокого охлаждения и ректификации: учебное пособие» / Т. Ф. Свит; Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – Изд. 2-е, переработано и дополнено – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. – 128 с.
2. Кельцев Н. В. «Основы адсорбционной техники» / Н. В. Кельцев. - 2-е изд., переработано и дополнено - Москва: Химия, 1984. -591 с.

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

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Доля энергопотребления на производство сжатых газов на промышленных предприятиях может варьироваться в зависимости от конкретного процесса и используемых технологий. Однако, в целом, процесс сжатия газов требует значительного количества энергии.

Основным источником энергопотребления на производстве сжатых газов является компрессорное оборудование. Компрессоры работают на электрической энергии или могут быть приводимы в действие с помощью двигателей внутреннего сгорания, которые потребляют топливо.

Другие факторы, влияющие на энергопотребление, включают использование охлаждающих систем, систем очистки и фильтрации газа, а также системы управления и контроля процесса [1].

При производстве сжатого газа можно применять следующие методы энергосбережения:

1. Оптимизация процессов: Использование эффективных и современных технологий, оборудования и процессов может снизить энергопотребление при производстве сжатого газа. Например, использование эффективных компрессоров с переменной скоростью вращения, оптимизация рабочих параметров и режимов работы компрессорной установки.

2. Тепловая интеграция: Использование теплоты, выделяющейся при сжатии газа, для предварительного нагрева подаваемого газа может снизить потребление энергии. Также возможно использование теплоты от охлаждения компрессорной установки для работы теплового насоса или для обогрева помещений.

3. Герметичность трубопроводов: Поможет снизить потери давления и повысить эффективность работы системы.

4. Регулярное обслуживание и настройка оборудования: Правильное обслуживание компрессоров и другого оборудования позволяет поддерживать их работоспособность и эффективность. Регулярная проверка и настройка оборудования помогут избежать утечек, снизить трение и потери энергии.

5. Мониторинг и управление энергопотреблением: Внедрение автоматизированных систем мониторинга и управления оборудованием.

Повышение эффективности использования энергии на производстве сжатых газов является важной задачей для снижения затрат и экологического воздействия. Внедрение энергоэффективных технологий и использование возобновляемых источников энергии может помочь уменьшить долю энергопотребления на производстве сжатых газов.

Совершенствование системы охлаждения сжатого газа может быть полезным для улучшения эффективности процесса и снижения энергопотребления. Вот несколько возможных способов оптимизации системы охлаждения:

1. Использование эффективных теплообменных устройств: Установка высокоэффективных теплообменников поможет улучшить передачу тепла между газами и охлаждающей средой. Выбор подходящего типа теплообменника (например, пластинчатый, трубчатый или спиральный) может повысить эффективность охлаждения.

2. Оптимизация параметров охлаждения: Регулирование параметров охлаждения, таких как расход охлаждающей среды, температура и давление, может помочь достичь оптимального баланса между энергопотреблением и требуемой температурой сжатого газа.

3. Использование рециркуляции тепла: Возможно использование системы рециркуляции тепла, которая позволяет использовать отработанное тепло для предварительного нагрева охлаждающей среды перед ее повторным использованием. Это может снизить требования к дополнительной энергии для нагрева охлаждающей среды.

4. Применение управления переменной скоростью: Установка компрессоров и насосов, способных работать с переменной скоростью, позволяет регулировать поток газа и охлаждающей среды в зависимости от текущих требований процесса. Это позволяет более точно контролировать температуру сжатого газа и снижает избыточное потребление энергии [2].

Промежуточное охлаждение в промышленных компрессорных установках является важной технологической операцией, которая позволяет снизить температуру рабочего газа или пара между ступенями компрессора. Это особенно важно в случае использования многоступенчатых компрессоров, где каждая ступень компрессии повышает температуру рабочего газа.

Промежуточное охлаждение выполняется с целью предотвращения перегрева рабочего газа, что может привести к повреждению компрессора и снижению эффективности работы системы. Охлаждение может осуществляться различными способами, в зависимости от конкретных требований и условий эксплуатации.

Один из распространенных методов промежуточного охлаждения - использование промежуточного охладителя (intercooler). Промежуточный охладитель представляет собой теплообменное устройство, в котором рабочий газ или пар охлаждается за счет передачи тепла другому рабочему или охлаждаю-

щему среде. Таким образом, температура рабочего газа снижается перед его подачей на следующую ступень компрессии.

Промежуточное охлаждение позволяет увеличить эффективность работы компрессорной установки, так как снижает тепловые потери и уменьшает нагрузку на последующие ступени компрессора.

Действительно, недоохлаждение газа в промежуточных охладителях может приводить к перерасходу энергии на компрессорных станциях. Это происходит из-за неэффективной передачи тепла между газом и охлаждающей средой.

Повышение КПД (коэффициента полезного действия) компрессора за счет промежуточного охлаждения может быть достигнуто следующими способами:

1. Использование промежуточных охладителей: Установка промежуточных охладителей между ступенями компрессора позволяет снизить температуру газа перед каждой последующей ступенью. Это снижает объем работы, который должен выполнить каждая ступень компрессора, и улучшает его КПД.

2. Оптимальное выбор рабочих параметров: Настройка рабочих параметров компрессора, таких как давление и температура, может помочь достичь оптимального КПД. Оптимальные параметры зависят от конкретных условий эксплуатации и требований процесса.

3. Использование эффективных охлаждающих сред: Выбор эффективных охлаждающих сред, таких как хладагенты с высокой теплоотдачей, может улучшить процесс охлаждения и повысить КПД компрессора.

4. Использование теплоты, выделяющейся при охлаждении компрессорной установки, для работы теплового насоса [3].

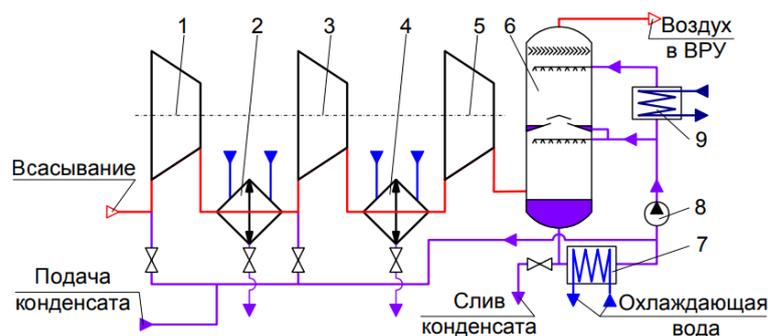


Рисунок 1 – Схема комбинированного охлаждения трёхсекционного компрессора с концевым холодильником скрубберного типа: 1, 3, 5 — секции сжатия; 2, 4 — межсекционные холодильники; 6 — скруббер; 7, 9 — теплообменники; 8 — насос

Принцип работы схемы: использование концевой холодильника скрубберного типа, а также охлаждение конденсата перед его подачей в проточную часть компрессора. Причём, в данном случае скруббер 6 выполняет роль не только концевой холодильника, но и термостабилизатора, обеспечивающего поддержание оптимальной температуры на входе в блок осушки и комплексной очистки сжатого воздуха ВРУ. С этой целью скруббер разбит на две секции, а охлаждение конденсата, соответственно - на две ступени. В нижнюю секцию скруббера, которая представляет собой форсуночную камеру, подаётся конден-

сат, охлаждённый в теплообменнике 7 за счёт теплообмена с водой оборотного охлаждающего контура. В верхнюю секцию — конденсат, дополнительно охлаждённый в теплообменнике 9 за счёт работы холодильной машины или рекуперации холода отбросных потоков ВРУ. Кроме этого, в схеме предлагается применять холодильники скрубберного типа также и для межсекционного охлаждения компримируемого воздуха. Замена обычно используемых кожухотрубных холодильников помимо устранения известных недостатков, связанных с их эксплуатацией, позволяет сократить гидравлические сопротивления и тем самым снизить удельный расход энергии на сжатие газа на 4-6%.

Тепловой насос может использовать выделяющуюся теплоту для генерации тепла в помещениях или для обогрева воды. Это позволяет использовать отходящую тепловую энергию, которая ранее просто рассеивалась в окружающую среду, и повышает энергетическую эффективность системы в целом. Использование теплоты от охлаждения компрессорной установки для работы теплового насоса позволяет сократить или даже полностью исключить использование других источников энергии для отопления. Это может снизить операционные расходы и сэкономить деньги на оплате энергии. Путем использования теплоты от охлаждения компрессорной установки для работы теплового насоса, можно увеличить общую утилизацию тепла в системе.

Литература

1. Парамонов, А.М. Системы воздухообеспечения предприятий [Текст] / А.М. Парамонов, А.П. Стариков. - СПб., Издательство «Лань»: 2011. - 160 с.
2. Разработка энергоэффективной схемы промежуточного охлаждения сжимаемого газа в промышленных компрессорных установках [Электронный ресурс] // Режим доступа URL: <https://www.dissercat.com/content/razrabotka-energoeffektivnoi-skhemy-promezhutochnogo-okhla-zhdeniya-szhimaemogo-gaza-v-promys> (дата обращения: 07.10.2023).
3. Технологические энергоносители и энергосистемы предприятий Н.В. Калинин, Н.А. Логина, Е.В. Жигулина, Ю.В. Яворовский Москва Издательство МЭИ 2021.

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

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

В настоящее время существуют различные виды систем отопления для обеспечения нормального температурно-влажностного режима в помещениях жилых и общественных зданий. Но, как правило, различают три основные разновидности: потолочное, стеновое и напольное отопление [2]. Выбор оптимального вида системы отопления будет зависеть от ряда факторов: требования к микроклимату помещений, конструктивные и технологические особенности здания, энергоэффективность и экономичность использования данного вида системы отопления.

Широко известный и привычный нам радиатор отопления настенного типа – проверенное решение. Его можно подобрать по размерам, дизайну, материалу изготовления, эффективности теплоотдачи и способу подключения. В таблице 1

представлена сравнительная характеристика стандартных радиаторов отопления.

Таблица 1 – Технические характеристики радиаторов отопления.

Материал изготовления	Чугунные		Алюминиевые		Биметаллические		
Средняя высота, см	50 – 60		60 – 70		40 – 50		
Длина одной секции, см	7 – 10		7 – 9		8 – 10		
Рабочее давление, атм	9 – 18		6 – 16		20 – 35		
Модель	Ogint 500	MC-140M-500x4	ROMMER Al Optima 500x4	Rifar Alum 500x4	ROMMER Optima Bm 500x4	Sira Ali Metal 500 x4	Rifar Base 500x4 500/100
Номинальная тепловая мощность одной секции, Вт	120	160	155	183	160	187	204
Стоимость секции, руб.	1230	508	359	550	396	560	700
Срок эксплуатации, год	30 – 50		10 – 15		более 20		

Таким образом, самую низкую теплоотдачу имеют чугунные радиаторы, а показатель теплоотдачи биметаллических радиаторов является самым высоким из – за особенностей их конструкции, т.к. нагрев воздуха осуществляется за счет наружной алюминиевой поверхности и расположенных внутри стальных проводящих каналов. Несмотря на это чугунные батареи отлично выдерживают любые перепады давления и устойчивы к коррозии. Алюминиевые радиаторы по показателю теплоотдачи близки к биметаллическим батареям, однако имеют много эксплуатационных нюансов: необходимость поддержания определенной кислотности теплоносителя и рабочее давление иногда даже не превышает 10 атм.

Но в ряде случаев из-за ограниченности доступного пространства в помещении принцип настенного размещения невозможен. Также настенные радиаторы обладают рядом недостатков: необходимость надежного крепления оборудования на стенах, вывод труб сказывается на эстетике помещения. Но одним из главных недостатков настенного размещения радиаторов является неравномерный обогрев отапливаемого помещения. Теплый воздух, направленный в стороны и вверх, при этом не распространяется на ту часть, которая расположена ниже уровня радиатора.

Для решения этих проблем и увеличения эффективности обогрева вместо традиционных способов предлагается новейшая технология — плинтусная си-

стема отопления. Использование водяного плинтусного отопления, позволяет прогревать нижнюю зону помещения, ограждающие конструкции, и равномерно распределять температуры по всему помещению (рис. 1).

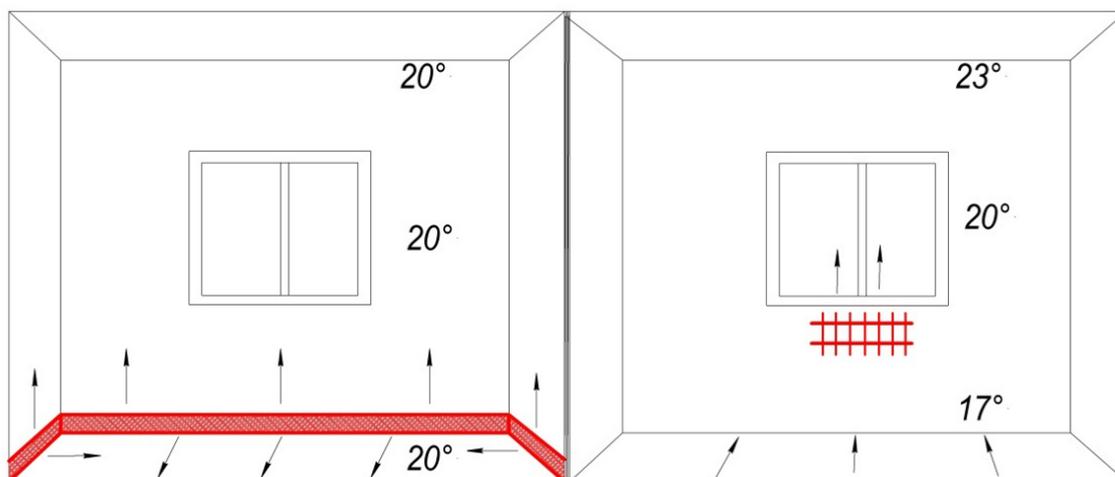


Рисунок 1. Распределение температур в помещении.

Принцип работы системы плинтусного отопления заключается в том, что помещение прогревается за счет поверхностей ограждения, вдоль которых установлены отопительные приборы конвективного типа. То есть от плинтусного прибора теплый поток воздух поднимается вдоль стен, которые излучают тепловую энергию на все предметы внутри помещения. Благодаря равномерному распределению температуры по высоте и периметру помещения создается комфортный микроклимат для людей.

Отечественные и зарубежные производители предлагают широкий ассортимент приборов плинтусного водяного отопления. Характеристики современных конструкций конвекторного типа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики плинтусных конвекторов.

Тип конвектора	Удельный тепловой поток, Вт/м	Размеры, мм		Рабочее давление, атм	Стоимость погонного метра, руб./м
		Высота	Глубина		
Конвектор «Mr. Tektum»	218	140	30	16	7540
Конвектор «Techno Board»	700	120	60	16	8543
Конвектор ПЛК	342	145	37	16	6700
Конвектор «Best Board»	226	137	28	10	3900

Каждая система отопления «теплый плинтус» выдерживает давление гидравлического испытания до 35 атмосфер. При изготовлении конвекторов массово применяют сталь, медь и алюминий, которые обладают разными теплопроводностями.

Основные элементы конструкции плинтусного водяного конвектора представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Элементы плинтусного конвектора.

Элемент конструкции	Особенности выполнения
Теплообменник с присоединительными патрубками	две вертикально расположенные медные трубы; алюминиевые либо латунные пластины оребрения.
Основание с кронштейнами	выполняют из оцинкованной стали и окрашивают методом порошкового напыления.
Кожух	выполняют из оцинкованной стали или алюминия и окрашивают порошковой эпоксидно-полиэфирной краской.
Воздухоспускной клапан	ручные и термостатические клапаны, либо шаровые краны

Оценим эффективность применения системы плинтусного отопления для помещения многоэтажного дома, расположенного в г. Смоленск **на основе сравнительной характеристики систем низкотемпературного отопления с высокотемпературным отоплением.**

Объектом для расчета является комната размером 6х4 м., с высотой потолков 2,7 м. Одна внешняя стена, направленная на запад, имеет среднюю степень изоляции – не утепленные стены в два кирпича. **Расчетная температура наружного воздуха для проектирования системы отопления – 23 °С [3].** Над потолком отапливаемое жилое помещение. Одно окно с тройным стеклопакетом. Отношение площади остекления к площади пола менее 0,1. Радиатор практически не покрыт подоконником и не покрыт экраном.

Расчет минимальной необходимой мощности радиаторов и конвекторов отопления выполняется отдельно для каждого помещения по известной методике [1], которая учитывает дополнительные факторы, оказывающие влияние на тепловой режим помещения. Таким образом, минимальная необходимая мощность системы отопления данной комнаты составила 1,92 кВт.

1. Организация в помещении системы отопления настенного типа.

Для того что бы обеспечить необходимым теплом помещение нужно рассчитать количество секций радиаторов, учитывая номинальную тепловую мощность одной секции из табл.1. По полученному количеству секций рассчитана стоимость батарей различных моделей, монтируемых в помещении площадью 24 м². Результаты расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчета радиаторов настенного типа.

Модель	Ogint 500	MC-140M-500x4	ROMMER Al Optima 500x4	Rifar Alum 500x4	ROMMER Optima Bm 50 x4	Sira Ali Metal 500 x4	Rifar Base 500x4 500/100
Количество секций, шт.	16	12	13	10	12	10	9
Стоимость радиатора, руб.	19680	6096	4667	5500	4750	5600	6300

2. Организации в помещении системы отопления «теплый плинтус».

Плинтусные конвекторы позволяют осуществлять периметральное отопление. Как правило, плинтусная система устанавливается вдоль наружного ограждения помещения. Если мощности в данном варианте недостаточно для компенсации тепловых потерь, то система устанавливается и по внутренним стенам помещения. Следовательно, чтобы обеспечить теплом данное помещения необходимо рассчитать длину греющего модуля плинтусной системы, учитывая удельный тепловой поток из табл. 2. Расчеты затрат для системы теплый плинтус представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчета плинтусных конвекторов.

Тип конвектора	Конвектор «Mr. Tektum»	Конвектор «Techno Board»	Конвектор ПЛК	Конвектор «Best Board»
Длина греющего модуля, м	8,8 (9)	2,7	5,6	8,5
Стоимость конвектора, руб.	66352	23066	37520	33150

Сравнивая полученные результаты, очевидно, что плинтусное отопление имеет более высокие удельные показатели теплового потока, но стоимость этой системы во много раз дороже системы отопления настенного типа (рис.2).

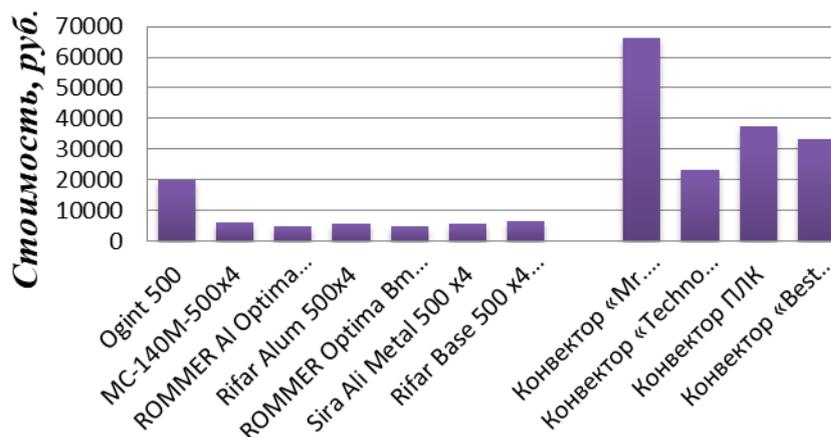


Рисунок 2. Зависимость капиталовложений от вида системы отопления.

Однако системы плинтусного отопления хорошо себя зарекомендовали благодаря комфортности, безопасности, быстрому реагированию на изменения параметров температуры внутреннего и наружного воздуха. В виду высокой стоимости оборудования системы, организация такого вида отопления целесообразна в помещениях с хорошей тепловой изоляцией, организованной системой вентиляции и в регионах с более мягким климатом. Для использования плинтусной системы отопления необходимо предварительно провести мероприятия по улучшению изоляции помещения. Кроме того, при использовании системы водяного плинтусного отопления прогревается нижняя зона помещения, включая ограждающие конструкции, что предотвращает образование плесени и грибка на стенах и повышает прочностные качества ограждающих конструкций.

Список литературы

1. Андреевский, А.К. Отопление / А.К. Андреевский. Под ред. М.И. Курпана. – Минск, Высшая школа, 1982. – 364 с.
2. Михайлов, Ф.С. Отопление и основы вентиляции / Ф.С. Михайлов. – Москва, Стройиздат, 1972. – 416 с.
3. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 2021-06-25.

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

АНАЛИЗ РАЦИОНАЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МУРМАНСКА

В феврале 2023 года в Архангельской области состоялась конференция по развитию лесопромышленного комплекса, на которой президент РФ Владимир Владимирович Путин заявил о выделении средств для перевода муниципальных котельных на использование пеллет. Эта мера была принята с целью поддержки производителей пеллет, которые ранее основным образом экспортировали свою продукцию в Европу до введения санкций в 2022 году.

Топливные гранулы, изготавливаемые из древесных отходов, торфа и отходов сельского хозяйства, называются пеллетами.

Перевод котельных на пеллеты, – по словам Путина, – имеет смысл при наличии экономической обоснованности и целесообразности. Для этого необходимо обеспечить компаниям ЖКХ стабильные закупочные цены, а производителям пеллет – стабильный рынок сбыта.

Предлагаем разобраться в каких случаях данное нововведение будет являться экономически обоснованным и целесообразным на примере города Мурманска.

В северо-западной части России, на побережье Кольского залива Баренцева моря расположен город Мурманск. В настоящее время в границах города функционирует 14 источников тепловой энергии, среди которых 1 крупный источник с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии – Мурманская ТЭЦ [1].

Основные виды топлива для генерации энергии в г. Мурманске представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Основные виды топлива для генерации энергии в г. Мурманск

Основная марка мазута, используемая на источниках теплоснабжения – мазут топочный 100 [2].

В процессе анализа системы теплоснабжения города Мурманска был выявлен ряд существующих проблем надежного и безопасного теплоснабжения.

Одной из главной проблемой энергетики города является мазутозависимость – примерно 80% региона находится в «черной» зависимости.

Также мазут наравне с углем считается самым неэкологичным топливом. Его использование приводит к выбросу огромного количества вредных химических соединений в атмосферу, таких как метан, угарный газ, диоксид азота и прочие вещества. Однако благодаря использованию различных систем очистки и фильтрации, влияние мазута на экологию становится менее разрушительным.

С точки зрения экономики, использование мазута не выгодно. Стоимость данного «вторсырья» значительно больше угля и тем более газа. Однако по сегодняшний день вопрос о сроках газификации Мурманской области остается открытым [2].

Рассмотрим подробнее характеристики пеллет.

– Топливные гранулы (пеллеты) являются экологически чистым видом топлива, по нормам, в котором содержится не более 3% золы.

– Обладают меньшей влажностью 8–12%, по сравнению с сырой древесной 35–50% и большей в 1,5 плотностью по сравнению с дровами.

Эти характеристики обеспечивают высокую теплотворную способность по сравнению с щепой или дровами – 19 МДж/кг (4500 ккал/кг).

По сравнению с сжиганием традиционных видов топлива, при сжигании топливных гранул выделяется в 2–3 раза меньше тепла.

В таблице 1 приведены основные показатели различных видов топлива.

Относительно велик КПД сжигания топливных гранул. Однако, при сравнении показателей природного газа и электроэнергии, пеллеты уступают. На рисунке 2 приведена диаграмма, отражающая какое количество топлива необходимо для получения **5000 кВт** энергии [3].

Таблица 1 – Основные показатели различных видов топлива

Топливо	Средняя теплота сгорания, ккал/кг (м ³)	Содержание			Средний КПД сгорания топлива и тепловой установки	Средняя цена единицы объема топлива, руб.	Стоимость выработки тепла, руб./Гкал
		Сера	Зола	Углекислый газ			
		%		кг/ГДж			
Свежая древесина	1890	0	2	0	45-50	1,8	1905
Древесные гранулы	4253	0	0,6	0	85	3,47	959
Уголь каменный	4270	0,8	24	60	50-60	2	937
Мазут топочный	9590	3,5	0,1	78	60-70	11	1639
Дизельное топливо	10150	0,3	0	78	81,5	24	2956
Природный газ, ρ = 0,7 кг/м ³	8400	0	0	57	87	5,74	803



Рисунок 2 – Сравнительная характеристика

В Мурманской области плата за отопление она из самых в высоких в стране, что объясняется, в первую очередь, дороговизной мазута, во-вторых, затратами на логистику. Всё это в совокупности влияет на стоимость отопления. Очень похожая ситуация во всех северных регионах, в Приморье и на Камчатке.

Относительная стоимость единицы тепловой энергии

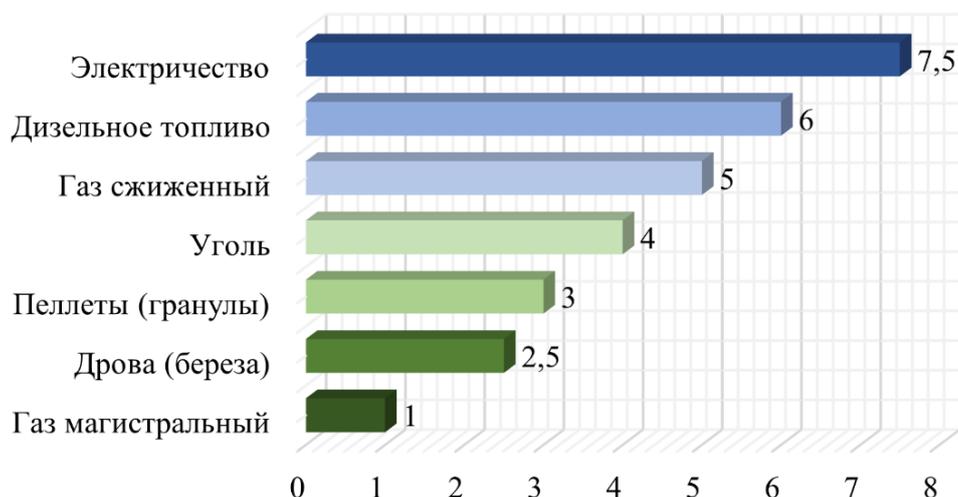


Рисунок 3 – Относительная стоимость единицы тепловой энергии, производимой различными видами топлива

Проведем анализ затрат на отопление различными видами топлива. Из всех видов топлива самым дешевым является природный газ из магистральных сетей, однако в Мурманской области он отсутствует. А самым дорогим – электричество. Эта зависимость хорошо иллюстрируется рис. 4, на котором приведена диаграмма относительной стоимости единицы тепловой энергии (1 кВт·час), производимой различными видами топлива (стоимость 1 кВт·час энергии от сжигания магистрального газа принята за 1).

Обратимся к вопросу экологичности. Из литературных данных следует, что пеллеты обладают многими экологическими преимуществами:

- нормализация выбросов углекислого газа в атмосферу, при сжигании выделяется столько же CO_2 , сколько при естественном разложении дерева;
- отсутствие запаха при горении;
- длительный срок хранения без особых условий, но необходимо исключить контакт с влагой.

По планам развития системы теплоснабжения г. Мурманска предполагается модернизация и строительство новых котельных, на некоторых из которых будет задействовано биотопливо – RDF-топливо, топливные гранулы, щепа.

Традиционные технологии пеллетирования биомассы уже внедрены в производство. Одним из способов улучшения потребительских характеристик брикетированной биомассы является торрефикация, которая представляет собой комплексный термический процесс преобразования биомассы в угледобный материал с лучшими топливными свойствами. Такие решения помогут снизить мазутозависимость. Использование биоэнергетики в регионе уменьшит затраты на энергоресурсы.

Таким образом, преимуществами пеллеты перед другими видами топлива являются: минимум отходов (около 1% массы), экологическая чистота, относительно высокая теплоотдача, ценовая доступность, удобство хранения и транспортировки. В свою очередь отказ от транспортировки мазута и угля на большие расстояния позволит повысить надежность энергоснабжения путем задействования местных энергоресурсов [4].

Среди регионов России использование данного биотоплива наиболее рационально для регионов Сибири, Карелии, Архангельской, Вологодской области и отдаленных регионов с развитой деревообрабатывающей и лесной промышленностью. На данный момент в Вологодской области функционирует 327 котельных, а в Архангельской области 369, которые в качестве основного топлива используют пеллеты.

Российский рынок пеллетного теплоснабжения – перспективен, но он ставит перед собой комплекс задач, требующих высокоэффективное сотрудничество государства, производителей пеллет и производителей котлов.

Литература

1. Схема теплоснабжения муниципального образования городской округ город-герой Мурманск на период с 2023 по 2042 годы. Глава 1. Существующее положение г. Мурманск. [Электронный ресурс] // Режим доступа URL: https://www.citymurmansk.ru/img/all/2344_glava_1_sushestvuyushee_polozhenie_g_murmansk.pdf (дата обращения 21.09.2023).

2. Схема теплоснабжения муниципального образования городской округ город-герой Мурманск на период с 2023 по 2042 годы. Глава 10. Перспективные топливные балансы [Электронный ресурс] // Режим доступа URL: https://www.citymurmansk.ru/img/all/2071_glava_10_perspektivnye_toplivnye_balansy.pdf (дата обращения 21.09.2023).
3. Полищук А.И., Рубинская А.В. Пеллеты – современный экологически чистый вид биотоплива // Текст научной статьи по специальности «Промышленные биотехнологии» [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pellety-sovremennyy-ekologicheski-chisty-vid-biotopliva> (дата обращения: 07.10.2023).
4. Лазарев Н. И. Развитие биоэнергетики в Мурманской области // Текст научной статьи по специальности «Энергетика и рациональное природопользование» [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-bioenergetiki-v-murmanskoy-oblasti> (дата обращения: 07.10.2023).

*И.А. Кабанова, к.т.н., доц.; А.В. Сенина, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ЗДАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАСТРОЙКИ НА БАЗЕ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРА

Современный мир, где все чаще используются самые новые технологии, становится все более осознанным в проблеме утилизации ресурсов и экономии энергии. Вероятность истощения мировых запасов топлива и ухудшение экологической ситуации являются серьезными проблемами, которые требуют поиска альтернативных источников энергии. Солнечная энергия является одним из наиболее перспективных источников возобновляемой энергии. Гелиоустановки используют солнечные коллекторы для преобразования солнечного излучения в тепло и электричество. В связи с этим возрастает количество зданий, использующих для своего энергообеспечения солнечные коллекторы.

Гелиоколлектор – это устройство, которое использует солнечную энергию для обогрева воды или воздуха в здании. Оно состоит из солнечных панелей, которые преобразуют солнечное излучение в тепловую энергию, и трубопроводов, которые переносят тепло в здание.

Для энергообеспечения здания с помощью гелиоколлектора необходимо установить на крыше здания солнечные панели. В зависимости от потребностей здания, можно выбрать различные типы гелиоколлекторов: для обогрева воды или воздуха. Плоские гелиоколлекторы для обогрева воды имеют бак для хранения горячей воды, который может использоваться для горячего водоснабжения и отопления здания [1].

Гелиоколлекторы имеют ряд преимуществ перед другими источниками энергии. Они экологичны, так как не производят выбросов вредных веществ. Кроме того, они экономичны, так как солнечная энергия бесплатна и не требует дополнительных затрат на обслуживание.

Однако для эффективной работы гелиоколлектора необходимо учитывать множество факторов, таких как климатические условия, угол наклона и ориентация панелей, а также размер и мощность гелиоколлектора. Поэтому перед установкой гелиоколлектора необходимо провести тщательный расчет и выбрать наиболее подходящий тип и размер устройства.

Объектом исследования является жилой двухэтажный дом, расположенный в городе Сочи, общая площадь дома 200 м², количество проживающих человек – 4. Город Сочи выбран как наиболее оптимальный регион по среднемесячной

температуре наружного воздуха и количеству солнечной радиации. Экспериментальный плоский коллектор ориентирован на юг с углом наклона $b=42^\circ$. С учетом климатических условий Сочи принимаем: $t_{вн}=18^\circ\text{C}$, $t_{но}=-3^\circ\text{C}$, $t_{ср}=6,6^\circ\text{C}$, $n_{от}=93$ сут. [2]. Анализ литературных данных показывает, что температуру воды в подающей и обратной линии трубопроводов индивидуального теплоснабжения в городе Сочи стоит принять $55/5^\circ\text{C}$.

По методике расчета плоского гелиоколлектора необходимо определить годовое теплопотребление жилого дома, по этим данным определить КПД солнечной установки и необходимую с учетом резервного источника площадь поверхности коллектора.

Для определения необходимой мощности системы теплоснабжения здания необходимо учесть: систему отопления и горячего водоснабжения.

Нагрузка системы отопления в соответствии с методикой из [3] определяется по укрупненным показателям. Результаты расчета по формуле (1) представлены в таблице 1:

$$Q_o^{мес} = Q_o^{сут} \cdot n_{сут} \cdot \frac{t_{вн} - t_H^{ср}}{t_{вн} - t_{но}} \quad (1)$$

Таблица 1 – Тепловая нагрузка системы отопления

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
$n_{сут},$ сут	31	28	3	-	-	-	-	-	-	-	-	31
$t_H^{ср},$ $^\circ\text{C}$	6,0	6,2	8,3	12,2	16,1	20,0	23,0	23,3	19,8	15,6	11,3	7,9
$Q_o^{мес},$ кВт	11074	10523,6	935,5	-	-	-	-	-	-	-	-	10062,3

Суточное количество теплоты на горячее водоснабжение в максимально зимнем режиме рассчитывается по формуле (2) в соответствии с нормативными рекомендациями по параметрам из [4]:

$$Q_{зв.з}^{ср} = \frac{1,2 \cdot m \cdot a \cdot (5 - t_{хз})}{3600} \cdot C_{воды} \quad (2)$$

В летнем режиме суточное потребление теплоты ГВС рассчитывается по формуле (3) с учетом изменения температуры холодной воды в летней период [3]:

$$Q_{зв.л}^{ср} = Q_{зв.з}^{ср} \cdot \frac{55 - t_{хл}}{55 - t_{хз}} \cdot \beta_{ГВС} \quad (3)$$

Среднемесячное теплопотребление ГВС определяется по формулам (2–4) и расчеты сводятся в таблицу 2:

$$Q_{зв}^{мес} = n \cdot Q_{зв}^{ср}, \quad (4)$$

где n – количество дней в месяце, сут.

Таблица 2 – Среднемесячное теплотребление горячей воды

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
n, сут	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$Q_{ГВ}^{мес}$, кВт	1039,12	938,56	1226,83	1206,72	1246,94	1206,72	1246,94	1246,94	1206,72	1246,94	1206,72	1039,12

Для определения КПД солнечного коллектора применяется формула [5]:

$$\eta = 0,8 \cdot \left(\theta - \frac{8 \cdot k \cdot \Delta t}{q_{i\Sigma}} \right), \quad (5)$$

где θ – приведенная оптическая характеристика коллектора (при отсутствии паспортных данных для одностекольных коллекторов $\theta=0,73$ и $\theta=0,63$ – для двустекольных) [3];

k – приведенный коэффициент теплопередачи солнечного коллектора [3];

Δt – разность температуры нагреваемой воды и температуры наружного воздуха, °С:

$$\Delta t = 0,5 \cdot \left(t_1 + t_2 \right) - t_H^{cp}. \quad (6)$$

Расчет интенсивности падающей солнечной радиации производится по формуле (7):

$$q_i = P_s \cdot I_s + P_d \cdot I_d, \quad (7)$$

где P_s и P_d – коэффициент расположения солнечного коллектора для прямой и рассеянной радиации, Вт/м²;

I_s и I_d – интенсивность излучения солнечной радиации на горизонтальную поверхность, Вт·ч/м².

Полученные результаты расчета представлены в таблицы 3.

Таблица 3 – Оценка эффективности работы солнечного коллектора в течение года

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
t_H^{cp} , °С	6,0	6,2	8,3	12,2	16,1	20,0	23,0	23,3	19,8	15,6	11,3	7,9
Δt , °С	29	28,8	26,7	27,8	23,9	20	17	16,7	20,2	24,4	28,7	27,1
$q_{i\Sigma}$, кВт/(м ² ·мес)	63,4	92,1	126,8	122,5	134	118,9	108,5	108,7	107,3	94,4	77,5	50,1
η_i , %	55,1	55,8	56,3	56,2	56,5	56,5	56,6	56,6	56,4	56,1	55,5	54,6

Включение в состав системы теплоснабжения резервного источника позволяет уменьшить требуемую площадь солнечного коллектора, которая определяется по формуле (8):

$$A_i = \frac{\sum Q_i}{\eta_i \cdot q_i \Sigma}, \quad (8)$$

где $\sum Q_i = Q_o^{\text{мес}} + Q_{\text{гв}}^{\text{мес}}$ – суммарное количество теплоты потребителя, кВт.
 Результаты расчетов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Площадь поглощающей поверхности коллекторов

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
$\sum Q_i$, кВт	13113,12	11662,36	2171,33	1206,72	1246,94	1206,72	1246,94	1246,94	1206,72	1246,94	1206,72	11201,42
A_i , м ²	369	222,8	29,9	17,2	16,2	17,6	20	19,9	19,6	23,1	27,6	401,8

Анализируя полученные результаты по максимальной величине $q_{i\Sigma} = 126,8$ кВт/(м²·мес), соответственно принимается площадь коллектора $A = 29,9$ м².

Для отопления зданий требуется большая разность температур, которую также могут обеспечить высокоэффективные вакуумированные коллекторы, но их стоимость и срок окупаемости будет значительно выше. При росте цен на традиционные энергоносители, выбор другого гелиоколлектора или улучшение характеристик солнечных коллекторов в перспективе уменьшит срок окупаемости, и будет способствовать повсеместному применению солнечных установок в системах энергообеспечения зданий.

В целом, использование гелиоустановок имеет положительные социальные и экологические эффекты, способствуя улучшению условий жизни и труда населения, а также снижению загрязнения окружающей среды.

Литература

1. Мотулевич В.П. Солнечное тепло- и хладоснабжение и ветроэнергетические установки: метод. пособие / В.П. Мотулевич, Н.В. Калинин, А.Г. Спиридонов. – М.: Издательство МЭИ, 2006 – 68 с.
2. СП 131.13330.2020 СНиП 23-01-99* Строительная климатология. – М., 2020. – 146 с.
3. Коротинский В.А. Использование солнечной энергии в системах теплоснабжения. Курсовое проектирование: учебно-методическое пособие / В.А. Коротинский, В.Ф. Клинцева, А.В. Ожелевский. – Минск: БГАТУ, 2017. – 104 с.
4. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов / Е.Я. Соколов – М.: Издательство МЭИ, 2001 – 472 с.

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

СТРУКТУРНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ТЭС

Технический прогресс не стоит на месте, с каждым годом создаются всё более новые и технологические решения в области современной теплоэнерге-

тики. Но даже с учетом появления тенденции к развитию возобновляемых и нетрадиционных источников энергии, главными источниками выработки тепла и электричества являются тепловые электрические станции (ТЭС), а парогазовая установка (ПГУ) является оптимальным вариантом основного оборудования при их конструировании и эксплуатации. Имея свои преимущества и недостатки, она превосходит паротурбинную установку (ПТУ) по энергетическим, экономическим и экологическим параметрам [1].

На основе анализа диаграмм на рисунке 1, отображающих структуру установленной мощности тепловых электростанций в единой энергетической системе (ЕЭС) России за последние десять лет по виду генерирующих установок можно сделать вывод о постоянном увеличении процента установленной мощности ТЭС парогазовых и газотурбинных установок на протяжении исследуемого периода времени, а паросиловое оборудование постепенно выводится из использования и заменяется более совершенным [2].

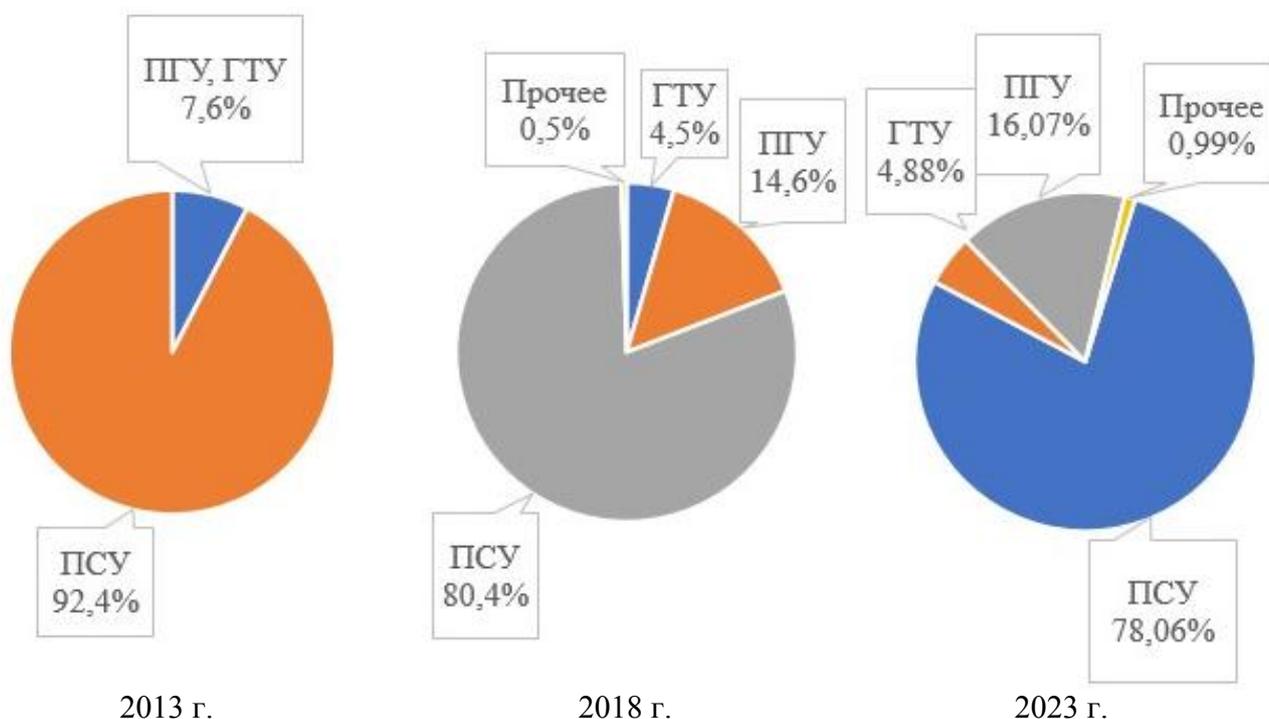


Рисунок 1 – Структура установленной мощности электростанций ЕЭС на протяжении десяти лет [2]

Из этого следует, что ПГУ действительно востребованы в мире и с каждым годом только набирают популярность.

Цикл традиционной парогазовой установки достаточно сложный, но не идеальный, поэтому постоянно дорабатывается в связи с развитием технического прогресса и для повышения эффективности данной установки используются разные вариации технологических схем ПГУ.

Один из таких элементов, который можно рассмотреть на предмет дополнительной модификации, – это газотурбинная установка, которая является важной частью ПГУ, и её качественная работа влияет на эффективность парогазовой установки в целом.

На основе опыта использования ГТУ следует, что температура окружающего воздуха на входе в компрессор оказывает серьёзное влияние в целом на работу установки. При её повышении мощность и частота вращения вала газотурбинной установки убывают, при этом снижается и её производительность. Вместе с тем падает коэффициент полезного действия оборудования.

Поэтому для повышения коэффициента полезного действия этих установок следует задуматься над охлаждением воздуха, который подаётся в компрессор ГТУ. Чтобы этого добиться, необходимо в конструкции использовать теплообменные устройства (теплообменники-охладители), благодаря которым есть возможность значительно увеличить эффективность использования топлива и увеличить КПД оборудования путём понижения температуры наружного воздуха [3].

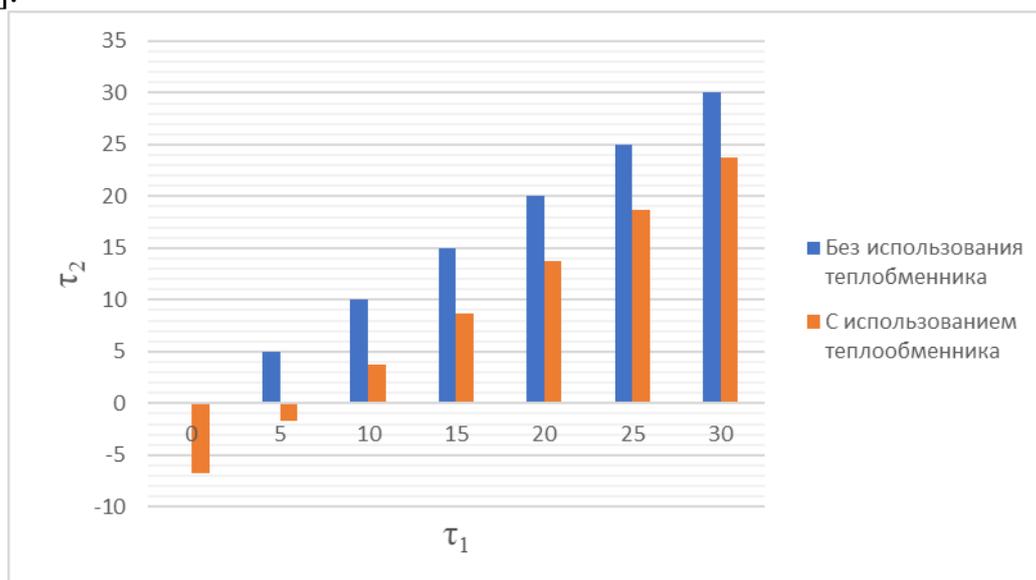


Рисунок 2 – Диаграмма сопоставления температур τ_2 с использованием теплообменника и без него [3]

На основе расчётов конечной температуры холодного теплоносителя τ_2 имеем данные, представленные на рисунке 2. Из диаграммы видно, что температура охлаждённого воздуха на порядок ниже, чем она была бы без использования теплообменника [3].

Использование теплообменных аппаратов (ТА) в конструктивных схемах газотурбинных установок позволяет снизить входную температуру атмосферного воздуха перед компрессором, в итоге это увеличит полную эффективность ГТУ, а в последующем и эффективность парогазовой установки в целом.

Также существует ещё один метод повышения эффективности ПГУ, а именно добавление в конструктивную схему ещё одного элемента – теплового насоса.

Тепловые насосы становятся всё более популярными в различных отраслях, включая энергетику. Они являются эффективными устройствами для преобразования тепла из окружающей среды в тепло, которое может использоваться для различных целей. Одной из областей применения тепловых насосов является схема парогазовой установки.

Одним из преимуществ использования тепловых насосов в схеме парогазовой установки является повышение эффективности процесса. Тепловой насос может значительно повысить использование низкотемпературного отходящего тепла, что позволяет снизить затраты на топливо и улучшить общую энергетическую эффективность установки.

На рисунке 3 представлена принципиальная тепловая схема ПГУ-ТЭЦ с использованием парокомпрессионной теплонасосной установки (ТНУ).

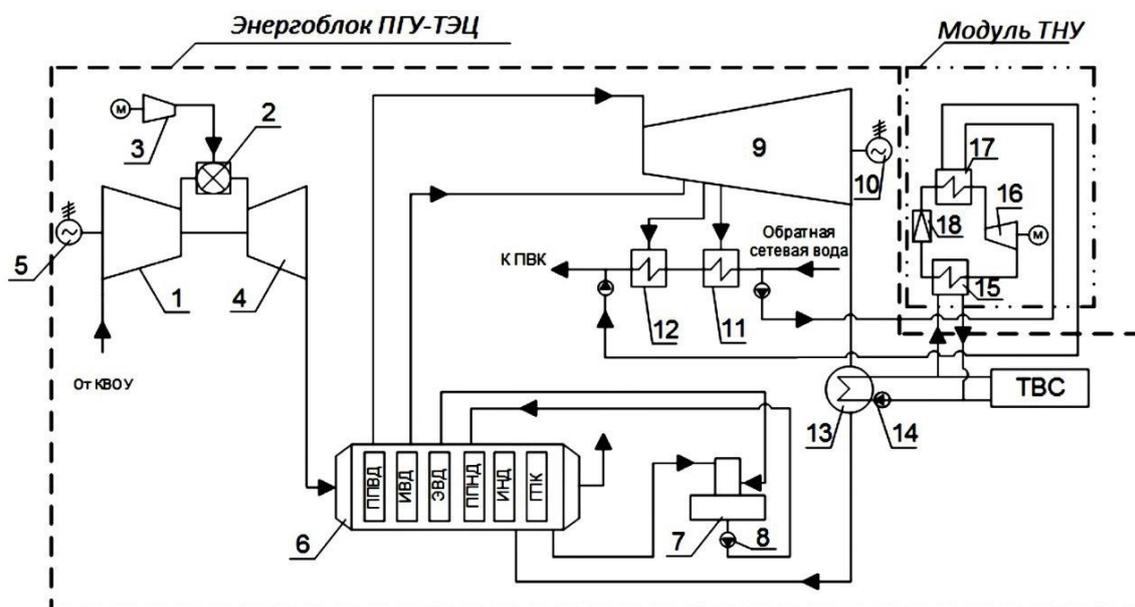


Рисунок 3 – Принципиальная схема ПГУ-ТЭЦ с теплонасосной установкой:

- 1 – компрессор ГТУ; 2 – камера сгорания; 3 – газодожимной компрессор;
 4 – газовая турбина; 5 – электрический генератор ГТУ; 6 – котел-утилизатор; 7 – деаэратор;
 8 – питательный насос; 9 – паровая турбина; 10 – электрический генератор паровой турбины;
 11, 12 – сетевые подогреватели; 13 – конденсатор ПТУ; 14 – циркуляционный насос;
 15 – испаритель ТНУ; 16 – компрессор ТНУ; 17 – конденсатор ТНУ; 18 – дросселирующее устройство; ТВС – техническая система водоснабжения; ППВД, ППНД – пароперегреватель высокого и низкого давления соответственно, ИВД, ИНД – испаритель высокого и низкого давления соответственно; ЭВД – экономайзер высокого давления; ГПК – газовый подогреватель конденсата

Тепловые насосы позволяют снизить затраты на топливо, улучшить энергетическую эффективность. Их использование становится все более популярным и оправданным в современных энергетических системах парогазовых установок.

На основании методики расчета эффективности и параметров работы ПГУ, представленной в [1], в ходе проведения исследования были произведены расчеты коэффициента полезного действия как традиционной парогазовой установки, так и ПГУ с дополнительными элементами в её конструктивной схеме. Итогом расчётов является следующая формула:

$$\eta_{\text{ПГУ}} = \frac{N_{\text{ГТУ}} + N_{\text{ПТУ}}}{Q_{\text{T}}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{ГТУ}}$ – мощность газотурбинной установки, МВт, $N_{\text{ПТУ}}$ – мощность паротурбинной установки, МВт; Q_{T} – теплота сгорания топлива, МВт.

Данная формула применима к классической парогазовой установке и ПГУ с теплообменником. Для установки с тепловым насосом используется та же методика расчёта из [1], но с учетом добавления ТНУ в конструктивную схему парогазовой установки. Итоговая формула будет выглядеть следующим образом:

$$\eta_{\text{ПГУ+ТНУ}} = \frac{N_{\text{ГТУ}} + N_{\text{ПГУ}} + Q_{\text{ТНУ}}}{Q_{\text{т}} + Q_{\text{т.ТНУ}}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{ТНУ}}$ – тепловая мощность ТНУ, МВт; $Q_{\text{т.ТНУ}}$ – затраты топлива на привод ТНУ, МВт.

Результаты расчета приведены на рисунке 4. Из диаграммы видно подтверждение теории повышения эффективности установок за счёт применения в конструктивной схеме теплового насоса и теплообменного аппарата, КПД установки за счет введения в схему дополнительного ТА и ТНУ повышается на 1,46 % и 2,64 % соответственно.

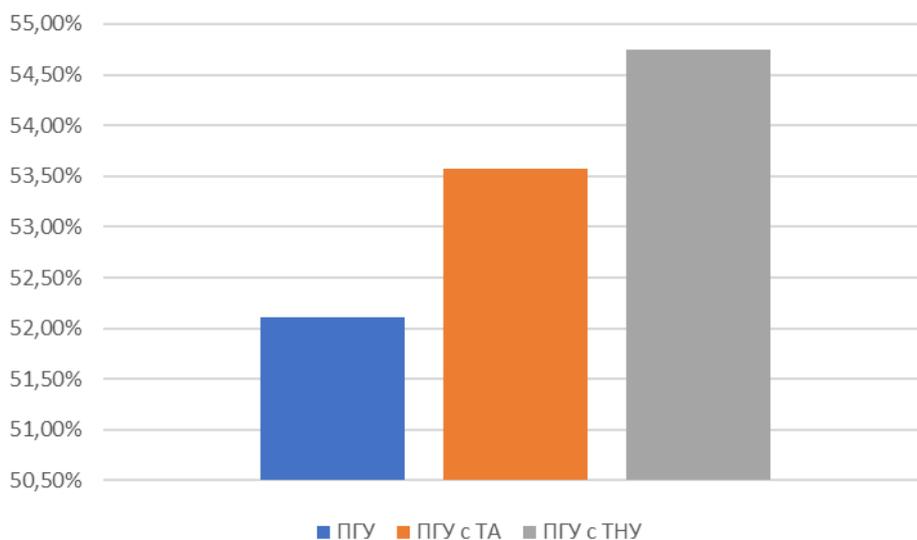


Рисунок 4 – Диаграмма сравнения эффективности установок

Итак, из всего вышесказанного можно сделать вывод, что добавление дополнительных элементов (теплообменные аппараты либо теплонасосные установки) в конструктивную схему ПГУ повышают её эффективность, что в глобальном смысле предполагает значительное снижение расходов перед запуском ТЭС и в дальнейшем ускорение их окупаемости. Оба этих метода эффективны с точки зрения энергетической составляющей, а далее уже требуется рассматривать каждый конкретный случай на предмет эксплуатационных затрат на новое оборудование.

Литература

1. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / Под ред. С.В. Цанева. - М.: МЭИ, 2008. - 584 с.
2. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2022 году [электронный ресурс] – режим доступа: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2023/ups_rep2022.pdf.
3. Шамплетов Р.Н., Кабанова И.А. Оценка эффективности газотурбинных установок в составе ПГУ // Сборник трудов XII Международной научно-технической конференции «Энергетика, информатика, инновации – 2022» Смоленск: «Универсум», 23 ноября 2022. С.76-79.

ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИКЛОННОГО МОДУЛЬНОГО РЕКУПЕРАТОРА

Расчет эффективности использования циклонного модульного рекуператора представляет собой сложный процесс, который включает в себя оценку как капитальных затрат на его внедрение и обслуживание, так и операционных расходов, включая затраты на топливо и электроэнергию, а также учет воздействия на окружающую среду.

При анализе экономической эффективности проектов по энергосбережению важно учесть, что, как правило, для их выполнения не требуется больших капиталовложений, их можно финансировать из собственных средств предприятий, то есть из прибыли. При этом сами инвестиции в эти проекты считаются единоразовыми. Когда такие мероприятия реализуются, объем и качество производимой энерготехнологической установкой продукции (и, следовательно, выручка от ее продажи) остаются неизменными в разных проектах.

Для оценки эффективности проекта по энергосбережению или выбора наилучшей альтернативы из нескольких проектов, следует сравнивать разницу между чистыми дисконтированными доходами, получаемыми в анализируемых сценариях, которые достигаются за счет изменений, внесенных в одно из этапов технологического процесса. Напоминаем, что чистый дисконтированный доход (или ЧДД, также известный как интегральный эффект или NPV) представляет собой основной показатель для оценки эффективности инвестиционного проекта и отражает превышение дисконтированных денежных поступлений над дисконтированными денежными выплатами, связанными с выполнением этого инвестиционного проекта.

Метод чистого дисконтированного дохода основан на сравнении начальных инвестиций (K) с общей суммой дисконтированных доходов, получаемых в течение прогнозируемого периода. Поскольку денежные поступления от проекта происходят в разные моменты времени, они подвергаются дисконтированию с использованием коэффициента E , который представляет собой минимально приемлемую норму дисконта (или норму дисконтирования, норму эффективности). Эта норма дисконта определяет, какой ежегодный процентный доход инвестор ожидает получить на каждый вложенный в проект капитал.

По формуле 1 мы можем получить чистый дисконтированный доход, то есть получить данные по эффективности внедрения циклонного рекуператора, измеренного путем сравнения дисконтированных операционных расходов и капитальных затрат.

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^{T_p} \frac{(3_{ot} - 3_{jt})}{(1 + E)^t} - K_j, \quad (1)$$

где ЧДД – чистый дисконтированный доход за расчетный период времени T_p ; 3_t – денежные выплаты, осуществляемые на t -м интервале расчетного периода; T_r – горизонт расчета; K_j – сумма дисконтированных капиталовложений в

энергосберегающее мероприятие; индексы o и j относятся к вариантам «без проекта» и «с проектом».

После определения целесообразности внедрения модульного циклонного рекуператора на основе максимального ЧДД, важно оценить стабильность проекта с использованием таких показателей эффективности, как внутренняя норма доходности (ВНД) и срок окупаемости ($T_{ок}$). Внутренняя норма доходности, также известная как ВНД, внутренняя норма дисконта или IRR, представляет собой значение ставки дисконтирования, при которой чистый дисконтированный доход равен нулю. Срок окупаемости, с другой стороны, указывает на минимальное время, за которое чистый дисконтированный доход становится положительным, что означает, что инвестиции в проект окупаются из дисконтированных денежных потоков от проекта.

Для того чтобы инвестиционные проекты были экономически эффективными, важно, чтобы срок окупаемости ($T_{ок}$) был меньше, чем установленный расчетный период (T_p). Следовательно, сделанные инвестиции должны окупиться в пределах заданного времени. Если внутренняя норма доходности ($E_{вн}$) попадает в интервал между E и $1,1E$, и срок окупаемости приближается к продолжительности расчетного периода, то результаты оценки эффективности инвестиционных проектов становятся менее устойчивыми, и проект может иметь недостаточный "запас прочности".

Энергосберегающие мероприятия в теплотехнологических установках требуют не только капитальных вложений, но и приводят к изменениям в текущих расходах. При внедрении энергосберегающих мероприятий происходит сокращение расходов на топливо и выбросы отработавших продуктов сгорания. Полученная экономия должна компенсировать капитальные затраты на внедрение мероприятия, а также дополнительные расходы на электроэнергию, текущий ремонт и техническое обслуживание энергосберегающего оборудования.

При расчёте эффективности рекуператора мы также должны приводить расчёт текущих и капитальных затрат.

Перед проведением расчетов по капитальным затратам необходимо выполнить тепловой и аэродинамический анализ циклонного рекуперативного устройства. В результате этих расчетов следует определить следующие параметры: расход топлива на высокотемпературную технологическую установку B (в $m^3/ч$ или $кг/ч$), объемный расход воздуха V_v и объем продуктов сгорания V_r (оба в $m^3/ч$), потери напора в рекуператоре по воздушному и газовому трактам ΔP_v и ΔP_r (в $кПа$) и количество компонентов продуктов сгорания, которые наносят вред окружающей среде и за выброс которых предприятие подлежит оплате в соответствии с установленными нормами.

Суммарные капитальные расходы, связанные с производством и установкой рекуператора, обозначаются как $K_{рек}$, а также расходами на покупку и установку обслуживающего оборудования для рекуператора тягодутьевых устройств, которые обозначаются как K_d по формуле 2.

$$K = K_{рек} + K_d \quad (2)$$

Более подробно формулы представляются в методическом пособии к циклонному модульному рекуператору [1].

Также необходимо предварительно провести экспертное исследование для определения срока службы рекуператора, среднегодового коэффициента инфляции за этот период и нормы дисконтирования для инвестируемых средств.

Среди текущих расходов, которые необходимо учитывать при оценке эффективности энергосбережения, включаются расходы на топливо, затраты на электроэнергию, текущее обслуживание и ремонт оборудования, оплата за воздействие на окружающую среду и налог на дополнительную прибыль от внедрения мероприятия.

Также при расчете энергоэффективности циклонного модульного рекуператора необходимо учитывать влияние выбросов в атмосферу. Это включает в себя оценку воздействия на окружающую среду, связанное с выбросами продуктов сгорания или другими потенциально вредными компонентами, которые могут возникнуть при работе установки. Такие выбросы должны соответствовать нормативам и стандартам экологической безопасности, и их возможные последствия для окружающей среды должны быть учтены при расчетах эффективности, чтобы обеспечить экологически устойчивое функционирование циклонного модульного рекуператора.

Кроме того, при оценке энергоэффективности циклонного модульного рекуператора, необходимо учитывать влияние выбросов на финансовые показатели проекта. Это включает в себя оценку возможных экономических затрат, связанных с соблюдением стандартов по снижению выбросов и оплатой загрязнения природной среды. Такие затраты могут влиять на общую экономическую эффективность проекта и должны быть учтены в расчетах для достижения более точной оценки его целесообразности и устойчивости.

Следует отметить, что успешность проекта также зависит от факторов, таких как стоимость оборудования, техническая надежность, длительность службы, инфляция и другие экономические и технические параметры. Важно проводить комплексный анализ, учитывая все эти факторы, чтобы определить наилучший вариант внедрения циклонного модульного рекуператора и обеспечить наибольшую эффективность в энергосбережении и соблюдении экологических стандартов. Более низкие капитальные и операционные затраты, более высокая эффективность в снижении энергопотребления и влияние на окружающую среду позволяют сделать вывод о более высокой эффективности внедрения циклонного модульного рекуператора.

Литература

1. Леухин, Ю. Л. Циклонный модульный рекуператор: учебное пособие / Ю. Л. Леухин. — Архангельск: САФУ, 2017. — 112 с. — ISBN 978-5-261-01268-9. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/161766> (дата обращения: 03.10.2023).

О ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ДЕФЕКТА МАСС, ЭНЕРГИИ СВЯЗИ АТОМНЫХ ЯДЕР И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВЫХОДА ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

В школьных и вузовских курсах физики весьма важными являются расчеты дефекта масс, энергии связи и энергетического выхода той или иной ядерной реакции. Это простые арифметические выкладки, которые, в конечном счете, сводятся к вычислению разности двух очень близких чисел, что естественно сопровождается потерей нескольких начальных разрядов.

Необходимые для этого данные о массах частиц, нейтральных атомов и энергетических соотношениях приводятся в соответствующих сборниках задач, например [1].

Обычно массы даны в таблицах с точностью до пятой значащей цифры после запятой (в атомных единицах массы – а.е.м.).

Упрощать эти данные нельзя, так как ошибка всего в 0,001 а.е.м. приводит, например, к ошибке в энергии связи порядка 1 МэВ.

Дефект масс Δm атомного ядра изотопа химического элемента ${}_Z^A X$

$$\Delta m = Z \cdot m_1^1 H + (A - Z)m_0^1 n - M_a, \quad (1)$$

Где Z – число протонов в ядре, $(A-Z)$ – число нейтронов, $m_1^1 H$ – масса нейтрального атома водорода, $m_0^1 n$ – масса нейтрона, а M_a – масса соответствующего нейтрального атома ${}_Z^A X$.

Все расчеты при этом производятся в атомных единицах массы – а.е.м.

Энергия связи атомного ядра отрицательна и по модулю равна работе, которую нужно затратить для расщепления ядра на составляющие его нуклоны. Благодаря отрицательности энергии связи ядро представляет собою прочную структуру.

Если сообщить атомному ядру энергию, по модулю равную энергии связи, то энергия ядра станет равной нулю и оно диссоциирует, т.е. развалится на нуклоны [2].

Аналогично этому атом водорода ${}_1^1 X$, имеющий в нормальном состоянии энергию – 13,6 эВ, диссоциирует при сообщении ему тем или иным способом энергии +13,6 эВ, т.е. превращается в две частицы – протон и электрон. Происходит ионизация атома.

Энергия связи атомного ядра по модулю равна (в МэВ)

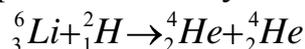
$$\Delta E_{cs} = \Delta mc^2 = \Delta m(\text{в а.е.м.}) \cdot 931,5 \frac{\text{МэВ}}{\text{а.е.м.}}$$

Как протекает ядерная реакция, когда некая частица проникает в атомное ядро?

По одной из моделей процесса на короткое время образуется составное или промежуточное ядро, которое находится в состоянии сильного возбуждения. В

дальнейшем, испытав колебания, оно либо приходит в основное состояние, испустив γ -квант, либо распадается, образуя новые ядра и частицы.

Как производить энергетические расчеты при ядерных реакциях? Разберем это на примере термоядерной реакции между изотопами лития и водорода [3]



С одной стороны, можно подсчитать энергетический выход ядерной реакции Q по закону сохранения массы и энергии

$$(m_3^6\text{Li} + m_1^2\text{H})c^2 = 2m_2^4\text{He} \cdot c^2 + Q, \quad (2)$$

где, как и в формуле (1), находятся массы нейтральных атомов соответствующих изотопов, откуда

$$Q = (m_3^6\text{Li} + m_1^2\text{H} - 2m_2^4\text{He}) \cdot 931,5 \frac{\text{МэВ}}{\text{а.е.м}}, \quad (3)$$

где массы атомов даны в а.е.м.

Данный способ расчета дает для энергетического выхода $Q = 22,38$ Мэв., т.е. реакция проходит с выделением энергии и называется поэтому экзотермической.

С другой стороны, суммарная энергия связи исходных ядер равна суммарной энергии связи образовавшихся ядер плюс энергетический выход ядерной реакции.

Тогда для данной ядерной реакции справедливо равенство

$$\Delta E_{св\ 3}^6\text{Li} + \Delta E_{св\ 1}^2\text{H} = 2\Delta E_{св\ 2}^4\text{He} + Q,$$

откуда

$$Q = \Delta E_{св\ 3}^6\text{Li} + \Delta E_{св\ 1}^2\text{H} - 2\Delta E_{св\ 2}^4\text{He} \quad (4)$$

где все $\Delta E_{св} < 0$. Они были вычислены и оказались равными

$$\Delta E_{св\ 3}^6\text{Li} = -32,02 \text{ Мэв}; \quad \Delta E_{св\ 1}^2\text{H} = -2,24 \text{ Мэв}; \quad \Delta E_{св\ 2}^4\text{He} = -28,32 \text{ Мэв}$$

Энергетический выход данной ядерной реакции, вычисленный вторым способом, оказался равным $Q = 22,38$ Мэв.

Итак, оба способа вычислений Q дали полное совпадение, как это и должно было быть.

Легко видеть, что приведенный пример расчета Δm , $\Delta E_{св}$ и Q является для учащихся принципиально простым, хотя и достаточно трудоемким.

При производстве подобных математических выкладок следует использовать технику приближенных вычислений. К большому сожалению, и в средней школе и в вузах этому не уделяется должного внимания.

Приложение

1. Атомные массы некоторых частиц и изотопов, а.е.м.

Изотопы	Масса нейтрального атома
1_0n (нейтрон)	1,00867
1_1H (водород)	1,00783

2_1H (дейтерий)	2,01410
6_3Li (литий)	6,01513
4_2He (гелий)	4,00260

2. Массе 1 а.е.м эквивалентна энергия 931,5 МэВ.

Литература

1. Кирик Л.А. Физика – 9. Разноуровневые самостоятельные и контрольные работы. Механика, электромагнетизм, строение атома. М.:ИЛЕКСА, 2021.-208 с
2. Яворский Б.М. и Детлаф А.А. Справочник по физике. М., Физматгиз. 1963.-848с.
3. Курс физики, т.2. Под редакцией Лозовского В.Н. СПб.; “Лань”, 2000.- 592с.

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

СПЕЦИФИКА ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЗДАНИЙ КУЛЬТУРНО-БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В современном обществе системы энергообеспечения являются неотъемлемой частью инфраструктуры промышленных предприятий и объектов жилищно-коммунального хозяйства. Среди них в качестве специфических можно выделить здания и сооружения, используемые для хранения и популяризации исторического и культурного наследия общества, в частности историко-краеведческие музеи. Эти учреждения представляют собой уникальные комплексы, включающие экспозиции, хранилища, а также общественные и административные здания. Для поддержания соответствующих условий хранения экспонатов и комфорта посетителей необходима эффективная система энергообеспечения, как правило, включающая системы отопления, горячего, холодного водоснабжения и вентиляции. Многие историко-краеведческие музеи сталкиваются с проблемами устаревших систем энергообеспечения, которые не соответствуют современным требованиям эффективности, экономичности и экологичности.

Можно выделить следующие специфические и проблемные области при проектировании энергообеспечения музеев и выставочных залов:

1. Необходимость учета широкого набора исходных данных, включая результаты геологического, геодезического и гидрографического обследования местности расположения объекта энергообеспечения;
2. Энергообеспечение должно осуществляться с учетом требований создания микроклиматических условий обеспечивающих специфические условия хранения отдельных экспонатов и экспозиций и одновременно создавать комфортные условия для посетителей и обслуживающего персонала. А следовательно, необходимо обеспечивать существенные пространственные градиенты температуры и влажности;
3. Обеспечение гармоничности и эстетичности восприятия оборудования, используемого для целей тепло-, водоснабжения и вентиляции с музейными экспозициями;

4. Обеспечения эффективного и экономичного режима использования энергоресурсов за счет разработки и применения узлов их учета, адаптированных к условиям энергообеспечения музея;

5. Комплексный выбор оборудования для энергообеспечения с учетом приведенных выше требований.

Исходя из рассмотренной проблематики, нами была разработана система энергообеспечения для краеведческого музея в г. Вязьма. Он создается на базе реконструкции здания кинотеатра, построенного в 1954 году, с разработкой новой систем водоснабжения и отопления с возможностью представления экспозиций разных временных периодов.

- основной фонд музея - 16 538 единиц хранения;
- научно-вспомогательный фонд - 6 796 единиц хранения;
- количество посетителей 10-12 тысяч человек в год.

Реконструируемое здание сложной формы в плане, с размерами в осях 42.07 x 17.58м. Оно имеет 3 этажа с подвалом под частью здания. Помещения музея сгруппированы по целевому назначению. Технические помещения расположены в подвальном этаже. В качестве источника водоснабжения здания историко-краеведческого музея, проектом предлагается использование централизованной системы водоснабжения г. Вязьма, а для отопления - индивидуальных тепловой пункт.

Аксонометрическая схема водоснабжения приведена на рисунке 1.

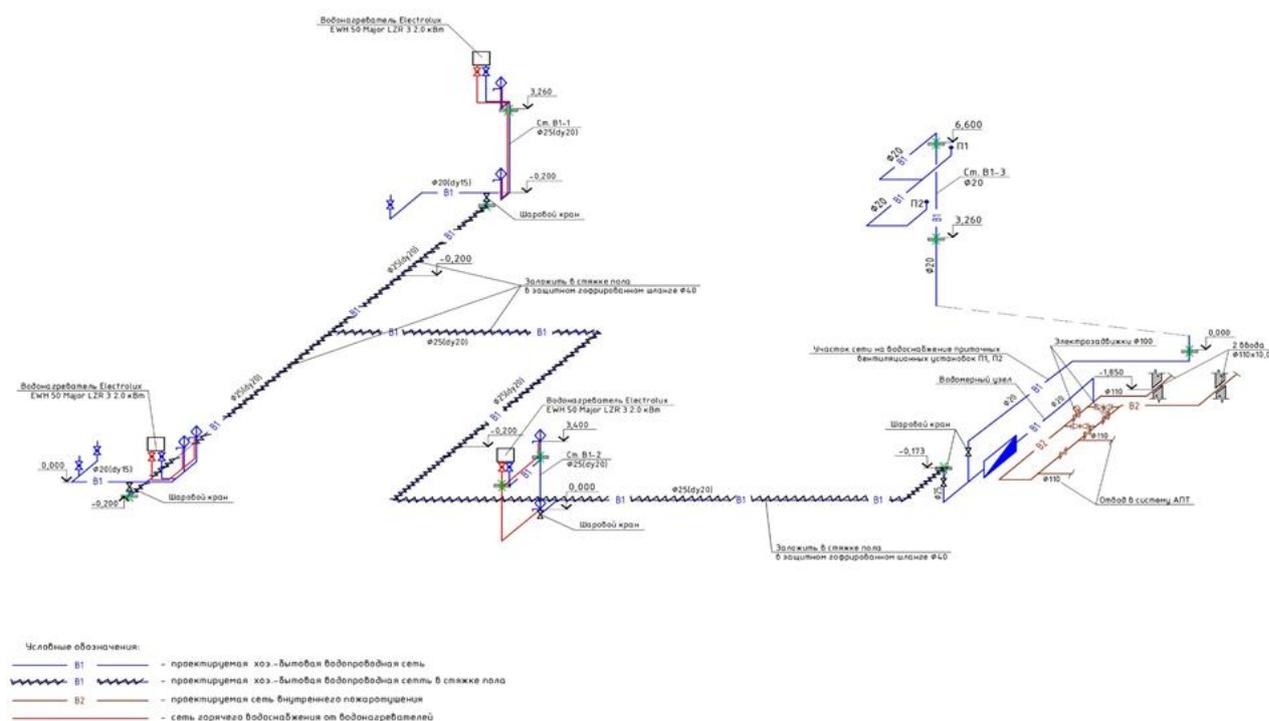


Рисунок 1 – Аксонометрическая схема водоснабжения.

Аксонометрическая схема теплоснабжения приведена на рисунке 2.

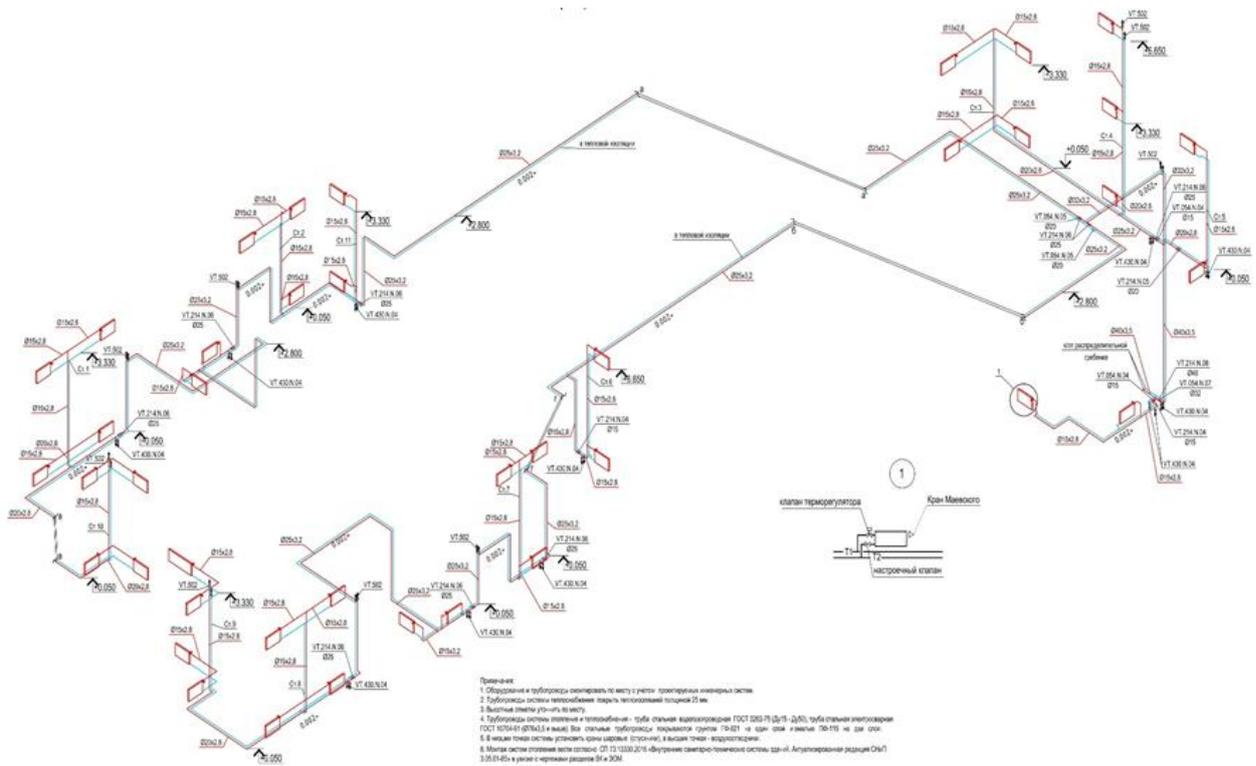


Рисунок 2 – Аксонометрическая схема теплоснабжения.

3. Принципиальная схема узла учета тепловой энергии приведена на рисунке

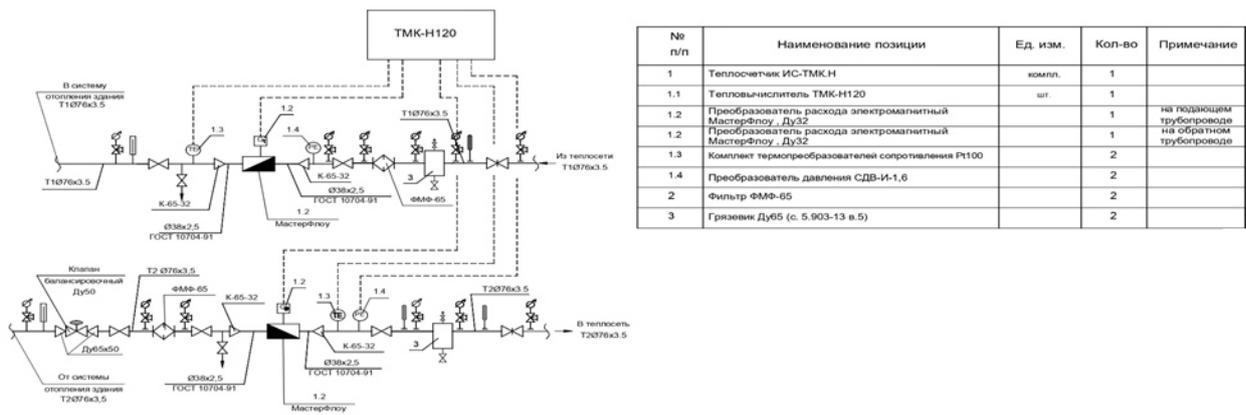


Рисунок 3 – Принципиальная схема узла учета тепловой энергии.

Таким образом реконструкция, с учетом специфических требований, системы энергообеспечения зданий культурно бытового назначения, утративших с течением времени свою социальную значимость, позволяет использовать снова с максимальной эффективностью.

Литература:

1. Назарова, В. И. Современные системы отопления / В. И. Назарова. — М. : РИПОЛ классик, 2011. — 320 с.: ил. — (Энциклопедия строительства).
2. Сибикин Ю. Д. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / Ю. Д. Сибикин. — 8-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2015. — 336 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Организация энергетического обеспечения и обслуживания предприятий является важным аспектом их деятельности. Эффективное энергетическое обеспечение позволяет предприятию обеспечить непрерывное и надежное энергоснабжение, что является ключевым фактором для успешной работы [1].

Ниже приведены основные шаги и рекомендации по организации энергетического обеспечения и обслуживания предприятий:

1. Анализ энергопотребления: Проведите анализ потребления энергии на предприятии, определите основные потребители энергии и выявите возможности для оптимизации энергопотребления.

2. Энергоаудит: Проведите энергоаудит, чтобы выявить потенциальные утечки энергии, неэффективное использование оборудования и другие проблемы, которые могут приводить к излишним затратам на энергию.

3. Оптимизация энергопотребления: Используйте результаты энергоаудита для определения мер по оптимизации энергопотребления. Включите в план мероприятия такие действия, как установка энергоэффективного оборудования, внедрение системы управления энергопотреблением, изоляция зданий и трубопроводов, а также обучение сотрудников по энергоснабжению.

4. Применение возобновляемых источников энергии: Рассмотрите другие использования энергии: ветряная, солнечная, геотермальная. Установка солнечных панелей или ветрогенераторов может значительно снизить зависимость предприятия от традиционных источников энергии и снизить экологическое воздействие.

5. Регулярное техническое обслуживание: Поддерживайте регулярное техническое обслуживание оборудования, чтобы обеспечить бесперебойную и надежную работу его.

Энергетическое хозяйство – это дополнительное место для предприятий, но и элемент энергетической системы района, который отвечает за производство, преобразование и распределение всех видов энергоресурсов [2].

Каждый технологический процесс нуждается в постоянном потреблении топлива, всех видов энергии (будь то электрическая или тепловая), именно из-за этого все пром. предприятия служат колоссальными потребителями всевозможных типов топлива и энергии. Промышленность потребляет в районе 45-55% всего топлива и 60-70% энергии. В компании, как топливо используют уголь, мазут, дрова и древесные отходы, газ (природный и углекислый – используется в сварочных делах и производстве). С развитием науки, техники и огромным приростом производства потребление энергии систематически увеличивается. Доля затрат на электроэнергию также растет [3].

За последнее время количество используемой (затрачиваемой) энергии возросло в 10-12 раз, что не может не говорить о повышении роли энергетиче-

ского хозяйства в обслуживании постоянного функционирования производственной работы. Электропотребление стремительно растет и это невозможно отрицать. Спрос на этот вид энергии в России взлетел до своих рекордных максимумов.

Количество ресурсов, используемых на предприятиях за 12 месяцев очень огромные. В настоящее время процент себестоимости товара достигает 23-30%.

По способу потребления энергии, ее можно разделить на 4 вида: бытовую, технологическую, электрическую и промышленную.

Силовая энергия приводит в движение техн-ое оборудование, в качестве примера (различные подъемные и транспортные аппараты); технологическая применяется, когда надо преобразовать состояние материала; производственно-бытовая – относится к таким видам энергии, которая идет на отопление, вентиляцию и т.д.

Рассмотрим пару тройку вариантов использования энергии потребителями:

- Внутреннее (децентрализованное) энергоснабжение, это когда компания не нуждается в энергии от иного источника и расходует его только для себя (к примеру, можно отнести – выработка электроэнергии от собственной станции, выработка пара от своей котельной и т. д.), не имеющих отношения к другой энергосистеме.

- Энергоснабжение, при котором электроэнергия предприятия идет от межрайонной энергосистемы, а тепло от своего источника (ТЭС, котельная) называется – Комбинированным. Собственными установками восполняются какие-либо недостатки энергии.

- Внешнее (Централизованное) энергоснабжение применяется маленькими предприятиями, а именно когда комбинированная энергия (электрическая и тепловая) передается от главной энергосистемы или от ТЭЦ, а топливо от топливоснабжающих компаний. [4]

Основными факторами энергетического хозяйства являются:

- 1) непрерывная подача энергии с заданными ее характеристиками (давление, температура, напряжение и т.д.) предприятия и рабочих пунктов;

- 2) своевременный ремонт и обслуживание энергетического оборудования, а также качественное его использование;

- 3) минимальные расходы и рациональное использование в развитии энергии.

Экономия энергии очень важный пункт, исходя из этого можно провести следующие задачи для повышения этого фактора:

- Снижение потерь в сетях и у потребителей (ужасное качество трубопроводов, вентилях и т.д.)

- Ввод дополнительных средств на приобретение нового оборудования для улучшения и модернизации технологических процессов.

- Должен быть такой режим работы оборудования, чтобы покрывал полное использование мощности трансформаторов, а также уменьшения холостых расходов энергии (увеличивается мощность в сети)

- Использование тепла отходящих газов, тепла охлаждающей воды и т.д.
- Четкое разбиение всех потреблений энергии, должен вестись учет и контроль (составление балансов по видам энергии).

Для экономии энергии на предприятиях создаются так называемые «энергетические фермы». Эти фермы напрямую зависят от следующих факторов:

- Тип производства,
- Выходной объем,
- Энергоемкость продукта,
- Развитие сотрудничества с другими отраслями промышленности и т.д.

Для крупных предприятий (в рамках Ассоциации) подразделение главного энергетика (UGE) отвечает за энергетическую экономию, для средних предприятий подразделение главного энергетика (OGE) отвечает за энергетическую экономию, а для малых и средних предприятий-главный механик (OGE). Подразделение отвечает за энергетическую экономию [5].

Литература

1. Арсеньев Г.А. и др. «Тепловое оборудование и тепловые сети». Издательство М: Энергоатомиздат, 1988.
2. Кругликов П.А. Техничко-экономические основы проектирования ТЭС и АЭС. Письменные лекции СПб, СЗТУ, 2003.
3. Соколов Е.Я. "Теплофикация и тепловые сети". Издательство М.: Энергия, 2008.
4. Яковлев Б.В. «Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения». Издательство М: «Новости теплоснабжения», 2008.
5. «Технологический процесс в энергетике. Классификация электрических сетей» <https://myslide.ru/presentation/skachat-texnologicheskij-process-v-energetike-klassifikaciya-elektricheskix-setej>

*А.М. Фокин, ст.пр.; А.О. Журавлев, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА УДЕЛЬНУЮ ОТОПИТЕЛЬНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ ЗДАНИЙ

Потребление тепловой энергии в секторе централизованного теплоснабжения в России в 2020 г. составило 1126 млн Гкал., из которых 39% пришлось на население и бюджетофинансируемые организации, что на 4% меньше, чем в 2019 г. Снижения теплопотребления в условиях расширения застройки связано в первую очередь с ростом энергетической эффективности зданий новой постройки. Так в сравнение с 1998 годом, требования к термическим сопротивлениям ограждающих конструкций увеличились в среднем в 1,5 раза [1]. Снижение удельной отопительной характеристики здания может быть достигнуто различными методами, например, применением современных материалов и исполнений ограждающих конструкций. Такими конструкциями, например, являются системы с вентилируемым воздушным зазором или «жидким» фасадом. Однако повышение энергоэффективности зданий может достигнута с помощью рационального использования тепла от различных внутренних источников,

солнечной радиации, с помощью использования рациональных планировочных решений [2].

В данной работе рассмотрены зависимости этой мощности системы отопления зданий от различных параметров на основании нормативных документов.

При расчетах сделаны следующие допущения: рассматривается только отапливаемый объем здания, без учета неотапливаемых подвалов и чердаков; термические сопротивления теплопередачи для ограждающих конструкций принимаются в соответствии с действующими требованиями [1]; светопрозрачные конструкции распределены на фасадах здания равномерно; здания не подвержены влиянию прочей застройки, так как темой работы является рассмотрение зависимости удельной отопительной характеристики от различных параметров, то инфильтрационной составляющей теплопотерь здания было пренебрежено.

Существуют различные методики расчета удельной отопительной характеристики здания. В данной работе представлены только результаты расчета по методике, представленной в СП 50.13330.2012 как наиболее подробной и закрепленной нормативно. Кроме того, прочие методики расчета имеют значительную погрешность расчета или не учитывают параметры, значительно влияющие на теплопотери здания. Для всех зданий для расчета теплопоступлений от солнечной радиации используются одинаковые светопропускающие конструкции с параметрами светопропускания для стеклопакетов 4М1-16-4М1.

Расчетная внутренняя температура для проектирования систем отопления равна 20 °С, наружная температура равна по СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» -23°С.

$$ГСОП = (20 + 2) \cdot 207 = 4554 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \frac{\text{сут}}{\text{год}}.$$

Ориентация здания по сторонам света следующая: торцевые стены направлены на восток и запад, лицевые стены на юг и север, географическое расположение г. Смоленска - 54,8 градуса с.ш., отопительный сезон с 10 по 4 месяц включительно:

Для данных условий окружающей среды термические сопротивления [1]:

$$R_{СТ} = 0,00035 \cdot ГСОП + 1,4 = 0,00035 \cdot 4554 + 1,4 = 2,994 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}};$$

$$R_{П} = 0,0005 \cdot ГСОП + 2,2 = 0,0005 \cdot 4554 + 2,2 = 4,477 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}};$$

$$R_{ПЕР} = 0,00045 \cdot ГСОП + 1,9 = 0,00045 \cdot 4554 + 1,9 = 3,949 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}};$$

$$R_{OK} = 0,56 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}.$$

Расчетную удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, q_{OT}^P , Вт/(м³°С) следует определять по формуле:

$$q_{OT}^P = k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) \beta_{КПИ},$$

$k_{об}$ - удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м³ °С);

$k_{вент}$ - удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/(м³ °С);

$k_{быт}$ - удельная характеристика бытовых тепловыделений здания, Вт/(м³°С);

$k_{рад}$ - удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м³°С);

$\beta_{КПИ}$ - коэффициент полезного использования теплопоступлений;

$$k_{об} = K_{комп} K_{общ};$$

$K_{общ}$ - общий коэффициент теплопередачи здания, Вт/(м²°С):

$$K_{общ} = \frac{1}{A_N^{сум}} \sum_i \left(n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{0,i}^{пр}} \right);$$

$K_{комп}$ - коэффициент компактности здания, м⁻¹:

$$K_{комп} = \frac{A_N^{сум}}{V_{об}},$$

Удельная характеристика теплопоступлений в здание от проникающей солнечной радиации $k_{рад}$, Вт/(м³°С)[3]:

$$k_{рад} = \frac{11,6 * Q_{рад}^{OP}}{V_{от} * ГСОП}$$

Были рассмотрены здания прямоугольной, Г – образной и П – образной в плане компоновки.



Рисунок 1 – Расчетная схема здания прямоугольной компоновки

Для выбранного здания отопливаемый объем по наружному обмеру, при учете высоты этажа равной 3 м, равен 7125 м³.

В результате расчетов была получена следующая зависимость удельной отопительной характеристики от метода регулирования системы отопления:

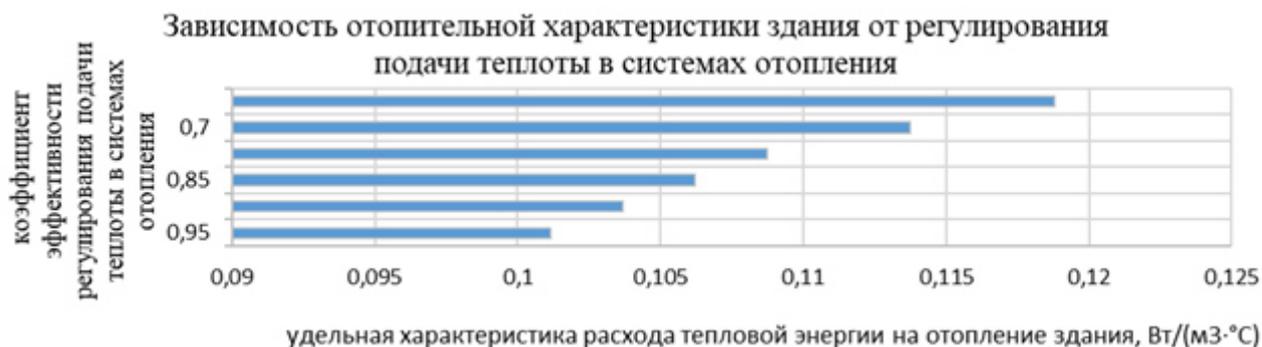


Рисунок 2 – Зависимость удельной отопительной характеристики от способа регулирования в системе отопления (П – образная компоновка)

Таблица 1 – Мощность системы отопления здания.

Описание системы регулирования	$K_{рег}$	Q, Вт
без местных терморегуляторов и без авторегулирования на вводе	0,6	38281,56
без местных терморегуляторов и центральным авторегулированием на вводе	0,7	36673,09
без местных терморегуляторов и пофасадным авторегулированием	0,8	35064,62
с местными терморегуляторами и центральным авторегулированием на вводе	0,9	34099,54
с местными терморегуляторами и пофасадным авторегулированием на вводе	0,95	32491,07

Полученные результаты показывают, что применение развитой системы автоматизации отопления позволяет снизить требуемой мощность системы отопления на 15% в сравнение с системой с центральным регулированием на источнике за счет более эффективного использования притоков теплоты от бытовых источников и солнечной радиации.

Аналогичные расчеты были приведены для зданий Г и П – образной компонок в плане, результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика расчета зданий

Компоновка в плане	$V_0, м^3$	ΔV_0	$k_{об}, \frac{Вт}{м^3 \cdot ^\circ C}$	$\Delta k_{об}$	$k_{рад}, \frac{Вт}{м^3 \cdot ^\circ C}$	$\Delta k_{рад}$	$q_{от}^P, \frac{Вт}{м^3 \cdot ^\circ C}$	$\Delta q_{от}^P$
Прямоугольная	7125	1	0,149	1	0,051	1	0,109	1
Г-образная	7248	1,017	0,183	1,228	0,064	1,255	0,133	1,22
Примечание								
$q_{от}^P$ представлено при значении $K_{рег} = 0,8$								

На основании анализа таблицы 2 видно, что при близких значениях отапливаемого объема зданий, происходит увеличение теплоступлений от солнечной радиации в 1,255 раз, что, однако, не способно компенсировать ухудшение теплозащитной и удельной отопительной характеристики здания в 1,228 и 1,22 раз соответственно, что может быть объяснено неоптимальным значением фактора формы, зависящего от соотношения периметра и площади здания, для здания Г – образной в плане компоновке. Здание П – образной же компоновки в плане значительно отличается от прочих и в сравнительной таблице не представлено.

Для зданий, представленных выше, был проведен расчет зависимости удельной отопительной характеристики от ориентации по сторонам света – был выполнен поворот на 90° по направлению часовой стрелки. Результаты расчета представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Сводная таблица расчета удельной отопительной характеристики здания

Вид в плане	$q_{от}^P, \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$	$q_{от}^{P2}, \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$	$ \Delta , \%$
Прямоугольный	0,114	0,119	4,39
Г-образный	0,139	0,138	0,72
П-образный	0,0971	0,0970	0,11

На основании расчета фасада здания прямоугольной в плане формы может быть найдена величина теплопотерь и поступлений тепла радиацией для отдельной стены:

Таблица 4 – Теплопотери фасада при различных ориентациях по сторонам света

Ориентация фасада	Теплопотери фасада за отопительный период, $\frac{МДж}{год}$	Относительное изменение теплопотери фасада за отопительные периоды, %
Южная	20511,9	32,82
Западная	62622,1	99,81
Восточная	62505,8	100
Северная	85669,3	137,06

Таблица 5 – Относительные теплоступления от радиации для фасадов.

Ориентация фасада	Поступления тепла от радиации
Южная	1,936
Западная	1,003
Восточная	1,000
Северная	0,488

Полученные результаты показывают, что применение более совершенных методов автоматизированного регулирования позволяют эффективно использовать внутренние теплопритоки и теплопритоки от солнечной радиации и, как итог, снизить требуемую мощность системы отопления, кроме того приведенные в таблице 4 и 5 результаты расчета теплопотерь отдельно взятых фасадов подчеркивают необходимость применения систем отопления с пофасадным регулированием для предотвращения перетоков или недотоков отдельных поме-

щений и обеспечения комфортных условий для проживания или работы человека.

Здания прямоугольной компоновки наиболее подвержены изменению отопительной характеристики в зависимости от ориентации по сторонам света, при возможности их следует располагать в застройке длинной ориентированной на юг. Для зданий же Г-образной и П-образной в плане компоновки ориентация фасадов по сторонам света оказывает незначительное влияние на расход тепловой энергии на отопление здания, кроме случаев, когда площади остекления фасадов значительно отличаются.

Литература

1. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. Учебник для вузов // М.: Издательский дом МЭИ. – 2009.
3. Хрусталева Б.М. Теплоснабжение и вентиляция. Дипломное проектирование – М.: Изд-во АСВ. – 2008.

*А.М. Фокин, ст.пр.; Н.А. Колесов студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)»*

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА ТОА

Необходимость передачи теплоты, возрастает по мере развития промышленности. Современные агрегаты работают на высоких мощностях, что приводит к их нагреву и поломке. Поэтому для создания и поддержания температурного режима, на технологических объектах, в энергетике, в химической, металлургической, нефтегазовой, пищевой и других отраслях промышленности, необходимо осуществлять подвод или отвод тепловой энергии от рабочей среды. Эту функцию выполняют теплообменные аппараты. Поскольку основных видов теплообменных аппаратов много, а видов теплообменников в целом гораздо больше, то при выборе необходимого оборудования встает вопрос – правильного подбора теплообменного аппарата, т.е. правильного расчета теплообменника.

Наиболее распространенными методами теплового расчета ТОА являются:

1. Метод среднего логарифмического температурного напора ($k - \Delta t_{\text{лог}}$);
2. Метод $k - \Delta t_{\text{лог}}$, с определением температуры стенки итерационным способом;
3. Метод числа единиц переноса ($\epsilon - N$);
4. Графо – аналитический метод определения коэффициента теплопередачи и поверхности нагрева.

Для сравнения результатов тепловых расчетов разных методов, был выбран теплообменный пароводяной аппарат фиксированной мощности и переменной температурой греющего теплоносителя (пар), а также разных компоновок (горизонтальной и вертикальной). Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные расчета пароводяного ТА.

Исполнение установки:	-
Производительность: $Q_{\text{ОВГВС}}, \text{МВт}$	8,78
Температура прямой сетевой воды: $T_1, ^\circ\text{C}$	150
Температура сетевой воды перед ПСВ: $T_2, ^\circ\text{C}$	70
Теплопроводность труб: $\lambda_{\text{ст}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot^\circ\text{C}}$	105
Размеры труб: $d_{\text{н}} \times \delta_{\text{ст}}, \text{мм}$	20x2
Высота трубного пучка: $h, \text{м}$	6
Скорость теплоносителя в трубах: $\omega_{\text{т}}, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	1,5
Толщина слоя накипи: $\delta_{\text{нак}}, \text{мм}$	0,5
Теплопроводность слоя накипи: $\lambda_{\text{нак}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot^\circ\text{C}}$	1,5

Результаты расчета были сведены в диаграммы 1, 2.

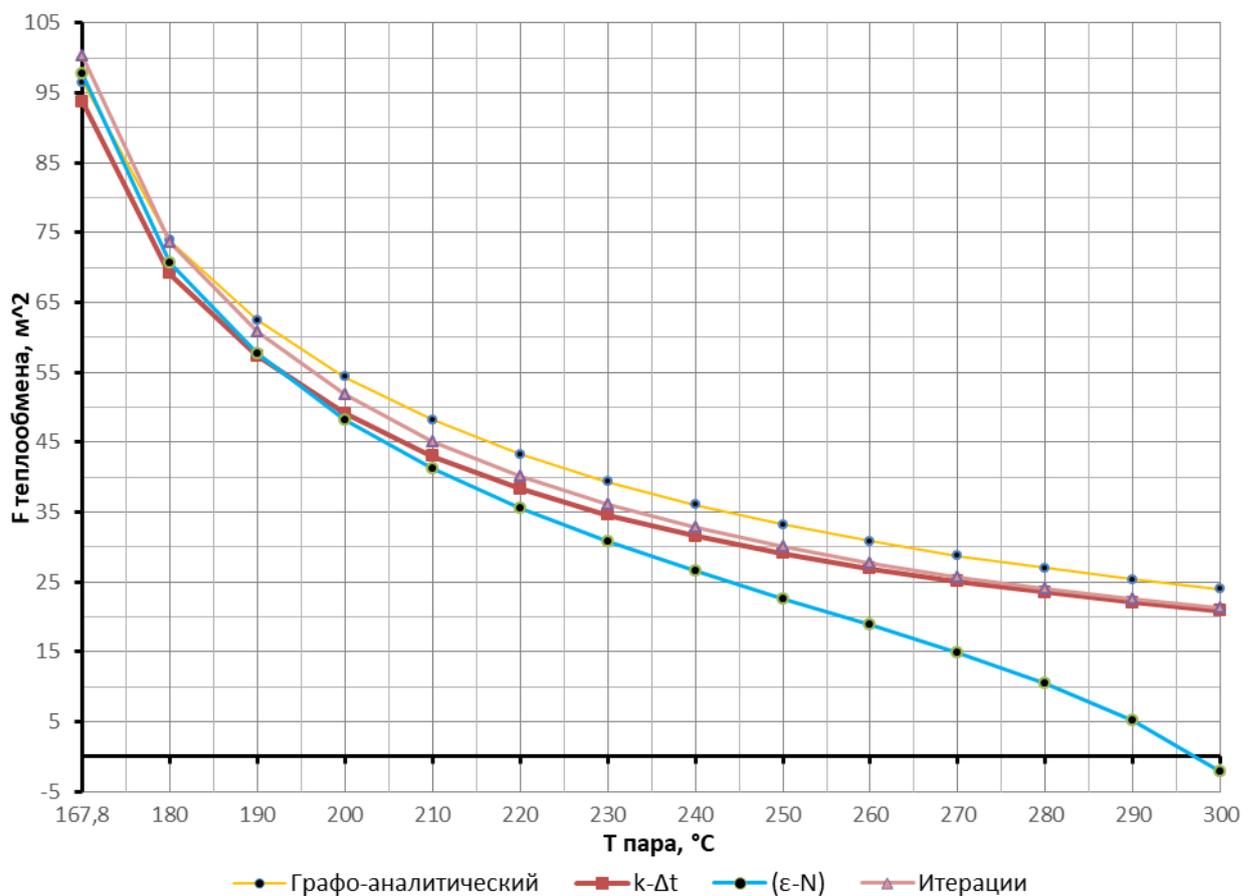


Диаграмма 1 – зависимость площади теплообмена от температуры пара (вертикальная компоновка)

По полученным зависимостям на диаграмме было выявлено, что данные методы расчета ведут себя по-разному в трех температурных диапазонах:

- от 167,8 до 195°C - В этой области кривым, построенным по результатам изученных методов, свойственно пересекаться, что не дает однозначно определить эффективность различных методов.

- от 195 до 220°C - В этом диапазоне температур полученные кривые проявляют склонность к параллельному движению. Пересечение расчетных кривых не наблюдается. Наблюдается качественное распределение методов по точности.

- от 220 до 300°C - При дальнейшем увеличении температуры метод числа единиц переноса начинает показывать сильное отклонение и выпадает из области результатов других методов. При 297°C площадь имеет отрицательную величину, что физически невозможно при проектировании ТА. При этом, кривые двух методов, а именно: $k - \Delta t_{\text{лог}}$ и итерационный; начинают соединяться, погрешность при 300°C достигает 0,4%, и с увеличением температурного напора имеет тенденцию к уменьшению.

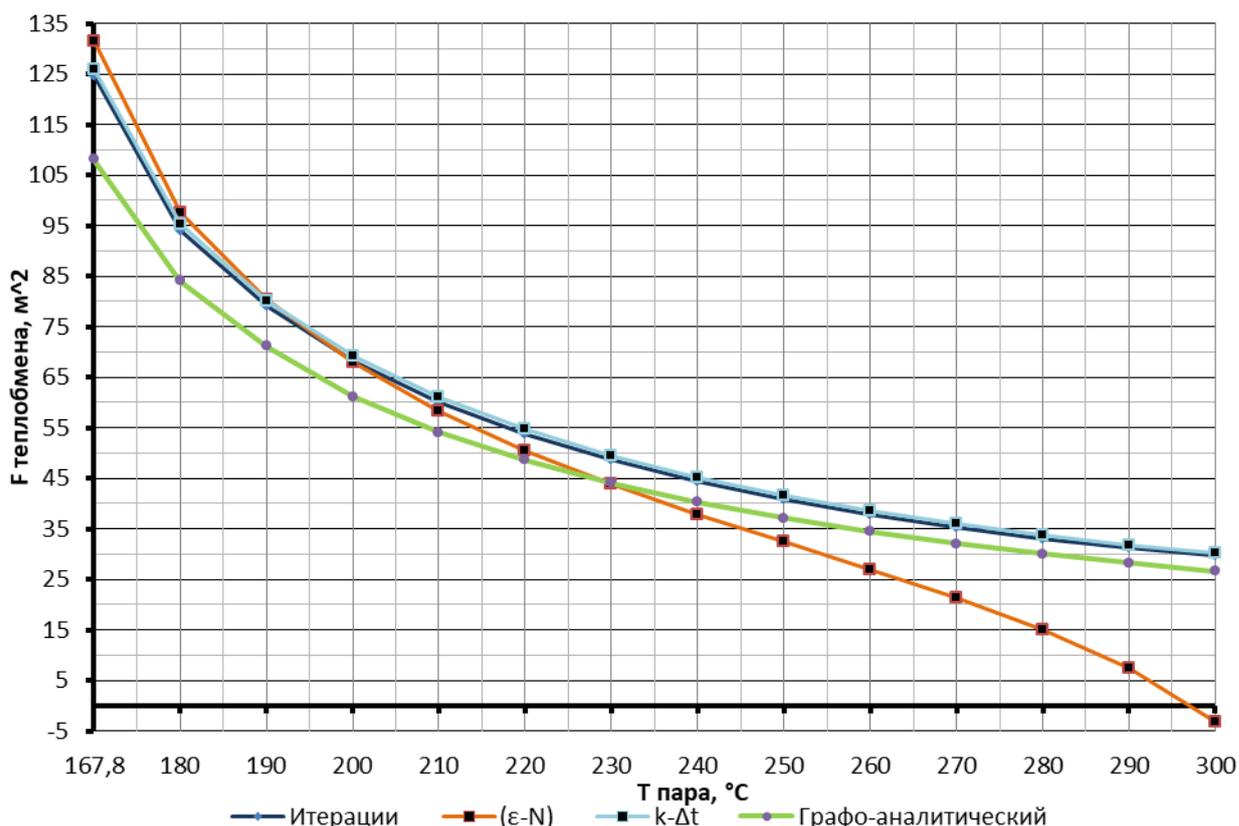


Диаграмма 2 – зависимость площади теплообмена от температуры пара (горизонтальное исполнение)

По полученным зависимостям на диаграмме было выявлено, что данные методы расчета ведут себя по-разному в двух температурных диапазонах:

- от 167,8 до 230°C - Наблюдается пересечения кривых всех методов, что усложняет определение наиболее эффективного. Применение всех методов допустимо.

- от 230 до 300°C - Кривая метода числа единиц переноса пересекает наиболее отдаленную по погрешности кривую графоаналитического метода.

Далее погрешность метода ($\varepsilon - N$) возрастает с увеличением температурного напора, что указывает на неэффективность применения этого метода. В то же время кривые методов $k - \Delta t_{\text{лог}}$ и итерационный, сближаются по мере увеличения температурного напора и уже при 300°C погрешность расчетов равна 0,52%.

Для окончательного завершения работы подобного типа нужно произвести фактические замеры площади теплообмена на реальном, собранном ТОА выбранных характеристик (импирическим путем). Полученные результаты внести на диаграммы и сделать окончательные выводы.

Литература

1. Банных О.П. Основные конструкции и тепловой расчет теплообменников. Учебное пособие. СПбНИУ ИТМО, 2012. – 42 с.
2. Барановский, Н.В. Пластинчатые и спиральные теплообменники / Н. В. Барановский, Л. М. Коваленко, А. Р. Ястребенецкий. – М. : Химия, 2003. – 240 с
3. Коваленко, Л. М. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи / Л. М. Коваленко, А. Ф. Глушков. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 240 с

Т.В. Широких, к.т.н., доцент

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

ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ В УГЛАХ ЗДАНИЙ

В теплотехнических расчетах ограждающих конструкций зданий необходимо учитывать все явления, происходящие в отдельных узлах ограждений. Например, если не будет учтено уменьшение температуры внутренней поверхности стены в углах, то в этих местах может образоваться конденсат, что приведет к появлению плесени, в то время как на гладкой стене этого явления не будет.

Результаты исследований температурных полей в угловых частях стен, представленные в работах К.Ф. Фокина [1] и В.Н. Богословского [2], указывают на то, что потери тепла в углах больше, чем на других плоскостях стены. Это происходит потому, что площадь теплоотдающей поверхности угловой части стены $S_{\text{нв}}$ больше площади тепловоспринимающей поверхности $S_{\text{вн}}$. Согласно [3,4] тепловые потери для угла в 90° составляют 5%. Эти тепловые потери учитываются в расчетах вертикальных ограждений административно-бытовых, общественных и производственных зданий.

Для внешнего угла, согласно [1,2] изотермы смещаются в сторону внутреннего помещения, что приводит к снижению температуры как на внутренней, так и на внешней поверхностях (рис.1). Тепловые потери в углах всегда повышены по сравнению с плоской стеной.

Согласно расчетам, выполненным для однородной стены толщиной 0,5 м и коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,55 \text{ Вт/м } ^\circ\text{C}$ при температуре наруж-

ного воздуха $(-19)^{\circ}\text{C}$ и внутреннего $(+18)^{\circ}\text{C}$ перепад температур внутри помещения составляет $\Delta t_{\text{в}} = \tau_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}^{\text{в}} = 5^{\circ}\text{C}$, а снаружи $\Delta t_{\text{н}} = \tau_{\text{н}} - \tau_{\text{н}}^{\text{в}} = 4^{\circ}\text{C}$.

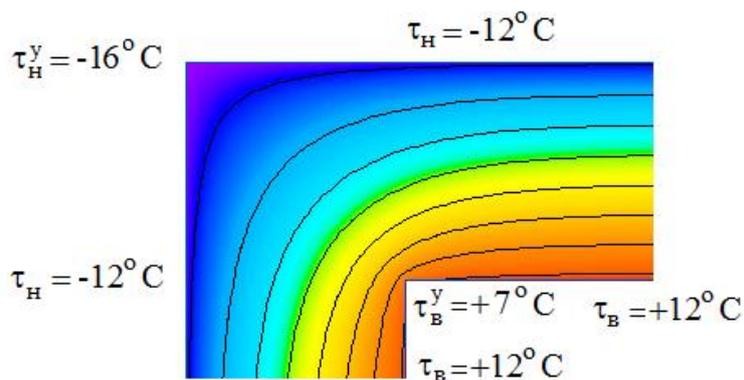


Рис.1 Распределение температуры в угловой части стены

Следует предположить, что 5-ти процентные потери тепла характерны для углов примыкания стен 90° , а для других углов эти потери будут иными.

В данной работе представлены результаты исследований тепловых потерь для углов, отличных от 90° .

Для упрощения расчетов примем толщину стен $d_{\text{нс}} = 0,5$ м, длину внутренней поверхности угла $L_{\text{вв}} = 1$ м. Известно [5], что тепловые потери линейно зависят от площади теплоотдающей $S_{\text{нв}}$ и тепловоспринимающей $S_{\text{вв}}$ поверхностей. Для заданных условий отношение внешней площади стены к внутренней равно отношению длины внешней стены $L_{\text{нв}}$ к длине внутренней стены $L_{\text{вв}}$, поэтому в дальнейших расчетах будем пользоваться длинами стен.

При угле $\beta = 90^{\circ}$ (рис. 2) и толщине стены $d_{\text{нс}}$ длина наружной стороны угла может быть рассчитана по формуле

$$L_{\text{нв}} = L_{\text{вв}} + d_{\text{нс}}, \quad (1)$$

Тогда отношение длины внешней стороны к длине внутренней стороны угла имеет вид

$$\frac{L_{\text{нв}}}{L_{\text{вв}}} = 1 + \frac{d_{\text{нс}}}{L_{\text{вв}}} \quad (2)$$

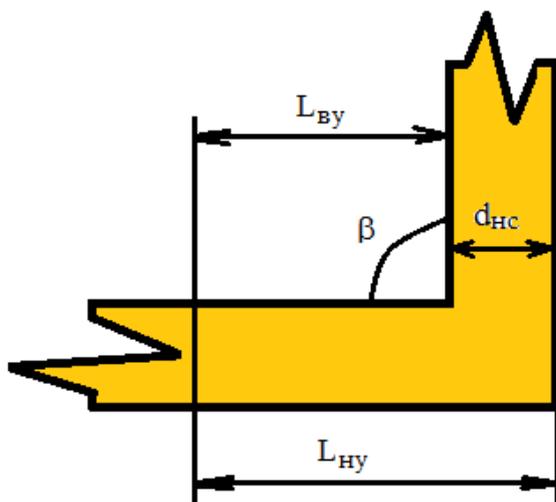


Рис.2 Угол примыкания стен $\beta = 90^{\circ}$

При угле $\beta < 90^\circ$ (рис. 3) и угле $\beta > 90^\circ$ (рис. 4) длина наружной стороны угла может быть рассчитана по формуле:

$$L_{\text{н\u044e}} = L_{\text{н\textc}} + L_{\text{в\textc}} = \frac{d_{\text{н\textc}}}{\text{tg}\frac{\beta}{2}} + L_{\text{в\textc}}, \quad (3)$$

Тогда отношение длины внешней стороны к длине внутренней стороны угла имеет вид

$$\frac{L_{\text{н\u044e}}}{L_{\text{в\textc}}} = 1 + \frac{d_{\text{н\textc}}}{L_{\text{в\textc}} \text{tg}\frac{\beta}{2}} \quad (4)$$

где $L_{\text{н\textc}}$ - расстояние между внутренним и внешним углом.

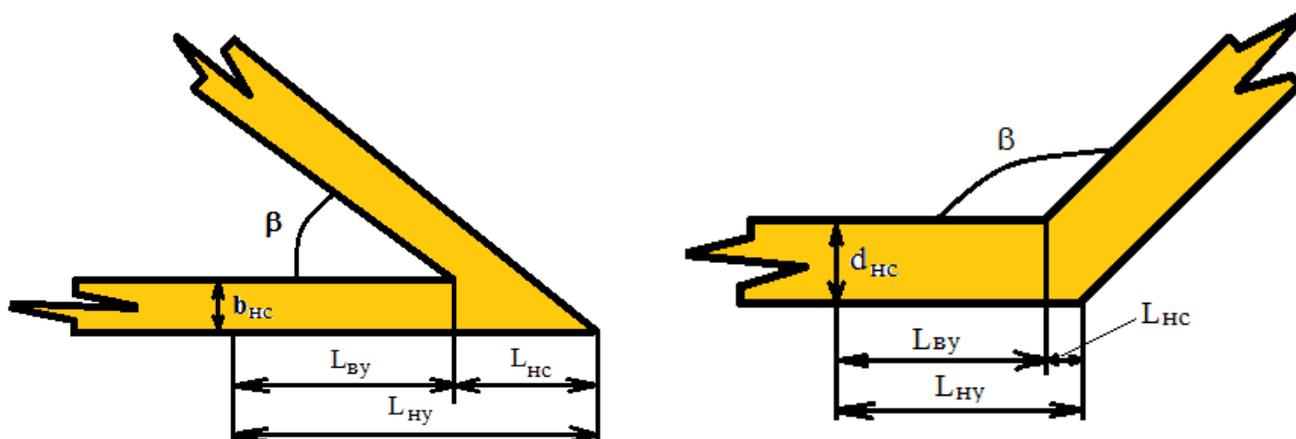


Рис.3 Угол примыкания стен $\beta < 90^\circ$

Рис.4 Угол примыкания стен $\beta > 90^\circ$

Тепловые потери (в %) для всех рассмотренных выше вариантов можно рассчитать по формуле

$$Q(\%) = 5\% \frac{(L_{\text{н\u044e}})_\beta / (L_{\text{в\textc}})_\beta}{(L_{\text{н\u044e}})_{90} / (L_{\text{в\textc}})_{90}} \quad (5)$$

В качестве примера приведем расчет потери тепла в угловой части стены для $\beta = 60^\circ$:

1) по формуле (2) рассчитаем $(L_{\text{н\u044e}})_{90} / (L_{\text{в\textc}})_{90} = 1 + \frac{0,5\text{м}}{1\text{ м}} = 1,50$

2) по формуле (4) рассчитываем $(L_{\text{н\u044e}})_{60} / (L_{\text{в\textc}})_{60} = 1 + \frac{0,5\text{м}}{1\text{ м} \text{tg}30^\circ} = 1,87$

3) по формуле (5) определяем тепловые потери $Q(\%) = 5\% \frac{1,87}{1,50} = 6,23\%$

В таблице приведены результаты расчетов для углов $\beta = 45 \div 135$ градусов.
Таблица. Зависимость потерь тепла от величины угла примыкания стен зданий

β , град	45	60	75	90	105	120	135
Q, %	7,36	6,23	5,53	5,00	4,61	4,30	4,02

На основании данных расчетов сложилась определенная картина, чем больше угол примыкания стен, тем меньше потери тепла через него.

Полученные результаты могут быть полезны при проектировании зданий.

Литература

1. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд. 4-е, перераб. и доп. - Москва: Стройиздат, 1974
2. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). Учебник для ВУЗов. Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва: Высшая школа, 1982.
3. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»
4. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»
5. Соловьев А.К. Физика среды. Учебник:- М.: Изд-во АСБ, 2011.

СЕКЦИЯ 4

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

*Д.И. Ерохова, студент; Ю.В. Вайнилович, к. т. н., доцент
(Белорусско-Российский университет, г. Могилев)*

ОБ АКТУАЛЬНОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ И РАЗМЕРА ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ

В разработке программного обеспечения существует ряд проблем, связанных с необходимостью оценки сложности и размера программных продуктов:

- отсутствие единых подходов и метрик для количественной оценки сложности по. сложность зависит от многих факторов и её трудно выразить одним числом;
- субъективность визуальной оценки сложности программы. оценка зависит от опыта и субъективного мнения эксперта;
- затруднения в оценке сложности на ранних этапах разработки, когда код еще не написан;
- необходимость прогнозировать сложность;
- трудности с учетом всех аспектов сложности – архитектуры, алгоритмов, интерфейса, поддержки и т.д.;
- необходимость оценивать не только трудоемкость написания кода, но и сопровождения, масштабируемости, надежности продукта;
- различия в оценке сложности для внутреннего и внешнего применения (например, при оценке стоимости проекта);

Отсутствие единого подхода к количественной оценке сложности программного обеспечения усложняет планирование и управление IT-проектами.

Поэтому актуальной является задача создания специализированного программного обеспечения для объективной оценки сложности создаваемых программных продуктов.

Это приложение будет полезно менеджерам проектов, ведущим разработчикам и другим заинтересованным лицам, которые нуждаются в объективной оценке сложности программных продуктов.

Приложение расчета и оценки сложности и размера программных продуктов представляет собой web-приложение, предназначенное для удобного и более точного подсчета сложности и размера программного продукта на основе требований к нему.

Основными методами оценки функциональной сложности программного обеспечения являются метод функциональных точек, модель COSOMO II, модель сложности Хальстеда, модель OMG, модель по количеству классов и объектов (COSMIC - ISO 19761), модель по количеству испытаний (Test Point Analysis), экспертные оценки сложности (Delphi method) по отдельным модулям, функциям.

Для повышения качества оценки функциональной сложности программного обеспечения предлагается комбинировать существующие методы [3].

Выбор того или иного метода зависит от характеристик проекта, стадии разработки, с какой целью производится оценка. Однако есть ряд причин, по которым методы функциональных точек (Function Point Analysis) и СОСОМО II считаются лучшими для оценки сложности ПО[4]:

- ориентированы не только на размер кода, но и на функциональность решения. Учитывают внешние факторы – запросы, выходы, входы;
- позволяют дать количественную оценку на первоначальных стадиях разработки, когда кода еще нет;
- оба метода стандартизованы, есть чёткие методики их применения. Это даёт возможность сопоставления оценок;
- СОСОМО II учитывает не только размерность, но и факторы сложности среды, опыт команды и т.д. Даёт более точный прогноз затрат;
- дают возможность не только оценить размер проекта, но и прогнозировать сроки и затраты на разработку;
- накоплен большой статистический материал, который позволяет калибровать модели под конкретные организации.

Уникальной особенностью разрабатываемого приложения является объединение этих двух ключевых методик.

Метод функциональных точек используется для оценки времени разработки на начальных стадиях проекта, например, на стадиях логического и концептуального проектирования [1]. Чтобы использовать данную методику, необходимо наличие набора требований к разрабатываемому программному продукту. Точность оценки зависит от степени детализации требований. Данный метод применяется с целью оценки трудозатрат, затрачиваемых разработчиками на выполнение задач и объема работы, связанной с созданием программного продукта. В результате проведенного анализа получается определенное количество функциональных точек, которое используется для оценки размера разрабатываемого программного продукта.

На метод функциональных точек не оказывают большое влияние технические факторы и факторы окружающей среды, поэтому является он наиболее подходящим для системы анализа.

СОСОМО II – способ оценки стоимости разработки программного обеспечения [2]. Модель учитывает точность оценки размера программного обеспечения на различных стадиях проекта в зависимости от полноты информации. По мере продвижения от модели прототипа к модели детальной разработки количество факторов, учитываемых в модели, увеличивается

Модель СОСОМО II не только объёмы работ, но и человеческий фактор, технологические особенности разработки для более точной оценки труда и затрат.

Также модель является расширяемой, в случае необходимости уточнения результатов анализа, можно добавить свой собственный коэффициент.

Сочетание метода функциональных точек, обеспечивающего точные размерные данные программного продукта, с моделью СОСОМО II, учитывающей множество факторов, которые не учитываются в первом методе, в разработке, делает это приложение непревзойденным инструментом анализа

Размеры программного продукта, полученные с помощью метода функциональных точек, могут быть использованы для анализа стоимости и общего количества строк программного продукта с использованием конструктивной модели стоимости.

После определения размера программного продукта в функциональных точках с использованием данных анализа, можно получить приблизительное количество строк кода на 1 функциональную точку с помощью справочной таблицы. Затем, используя конструктивную модель оценки стоимости, можно определить общее количество строк кода для всего программного обеспечения. Это позволит более точно спланировать затраты и сроки разработки.

Использование анкет методик обеих моделей в данном приложении позволяет осуществлять более глубокий и всесторонний анализ требований проекта. Таким образом, это приложение предоставляет возможность точно определить сложность и размер программного продукта, а также создает основу для более полного понимания проектных требований.

Литература

1 Будыльский, А. В. Методы функциональных точек / А. В. Будыльский // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. – 2012. – № 2-1. – С. 272-278.

2 Boehm B., et al. «Software cost estimation with COCOMO II». Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2000.

3 Вишня, А. С. Разработка модели оценки трудоемкости и сроков разработки программного обеспечения на основании ГОСТ и метода функциональных точек / А. С. Вишня, Е. В. Немуров // XIX Международная телекоммуникационная конференция молодых ученых и студентов "МОЛОДЕЖЬ И НАУКА" : Тезисы докладов, Москва, 01 октября – 10 2015 года / Ответственный редактор О.Н. Голотюк. Том Часть 3. – Москва: Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", 2015. – С. 51. – EDN WGQITX.

4 Заикина, О. С. Применение методов функциональных точек и СОСОМО для оценки стоимости программного обеспечения / О. С. Заикина // Теория права и межгосударственных отношений. – 2021. – Т. 1, № 7(19). – С. 351-358.

*И.А. Жужгина, к.э.н., доц., М.А. Василькова, студ.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТТОКА КЛИЕНТОВ БАНКА

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2023-0012.

Наметившийся тренд на цифровизацию всех сфер деятельности человеческого общества приводит к необходимости совершенствования инструментальных средств, реализующих информационные технологии в различных предметных областях. Особенно ярко это проявляется в банковской сфере, где внедрение разнообразных и удобных для потребителя новых продуктов и сервисов на основе современных информационных технологий являются необходимым условием успешного развития бизнеса [1]. Задачи создания информационных платформ и инструментов для таких продуктов и

сервисов, воплощения новых бизнес-идей становятся актуальными исследовательскими задачами.

При выборе направлений развития банковской информационной инфраструктуры вначале всегда важно проведение оценки существующего положения дел, а также реализация координационной, методической и информационной поддержки руководства банка в процессе принятия управленческих решений. Ограничиваясь рассмотрением информационных процессов, эти функции выполняет контроллинг информационных технологий (ИТ-контроллинг), являющийся эффективным средством для оптимального использования информационных и коммуникационных ресурсов [2]. В этом смысле задачи ИТ-контроллинга гармонизируются с задачами ИТ-аудита, который нужен, если, в частности, необходимо провести оценку критичности существующих ИТ-сервисов банка, а также предположить, какие ИТ-инновации необходимо внедрить сегодня для снижения затрат завтра.

Одной из проблем, выявленных в рамках проводимых мероприятий контроллинга и аудита, оказалась проблема оттока клиентов (*Customer churn*), характеризуемая метрикой *Churn Rate (CR)*, определяемой как потеря клиентов за определенный период времени. Эта метрика важна для банков, онлайн-сервисов, мобильных приложений, операторов связи, маркетплейсов. Отток клиентов означает прекращение отношений с бизнесом или сокращение взаимодействия с клиентами в течение определенного периода. Стоимость привлечения клиентов может в пять-шесть раз превышать затраты на удержание клиентов, поэтому разумно инвестировать в клиентов с риском оттока. Причинно-следственный анализ модели оттока может предсказать, уйдет ли клиент в обозримом будущем, а также выявить последствия и возможные причины оттока [3].

Как отмечает руководитель подразделения «Малый и Микро «Сбербанк» Валентина Литвинова, «...до 2021 года достижение стратегических целей по росту операционного дохода в «Сбербанке» реализовывалось путем привлечения новых клиентов и кросс-продаж продуктов действующим клиентам. Но в то же время не было определено понятие «оттока» и, соответственно, не существовало процесса работы по сохранению клиентов в банке». Литвинова также отмечает, что привлечение новых клиентов становится все менее эффективными из-за усиления конкуренции на рынке банковских услуг и основным источником операционного дохода выступает имеющийся рынок действующих компаний. В этой связи существенно выросли риски перехода клиента на обслуживание к конкурентам, и актуальной является исследовательская задача разработки инструментов для выявления и прогнозирования оттока клиентов банка.

Целью исследований являлось разработка интеллектуальной модели и создание инструмента для прогнозирования метрики *CR*, характеризующей отток клиентов банка.

В процессе достижения поставленной цели решались задачи анализа существующих подходов к оттоку клиентов банка, выбора концепции для

создания модели прогнозирования *CR*, разработки алгоритмического обеспечения и программы, реализующей предложенную модель обработки данных.

Авторами предложена модель обработки информации на основе методов искусственного интеллекта, позволяющая выявлять клиентов, склонных к прекращению обслуживания в банке, а также прогнозирующая количество таких клиентов.

Из широкого спектра методов искусственного интеллекта в данной работе применялось машинное обучение (*machine learning, ML*), которое представляет собой набор алгоритмов, позволяющих настраивать параметрические аппроксиматоры на основе имеющихся выборочных данных. Причем, в отличие от классических статистических методов, они позволяют выявлять в априорных данных глубинные закономерности за счет особенностей построения рецептивного поля и создания высокоуровневых абстракций их представления.

Проведенный обзор источников информации показал, что применение методов *ML* для анализа оттока клиентов в настоящее время широко и успешно применяется в бизнес-аналитике. Например, в [3] этот подход использован для финансовых учреждений, где авторы предлагают комбинацию различных алгоритмов, таких, как *SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique* – техника пересэмплирования синтетического меньшинства при несбалансированных классах), ансамблевую искусственную нейронную сеть (ИНС), байесовские сети для решения проблем прогнозирования оттока клиентов на основе массивных и многомерных финансовых данных, которые генерируются в финансовых учреждениях благодаря использованию автоматизированных систем управления взаимоотношениями с клиентами. В [4] представлены результаты исследования и анализа алгоритмов *ML* для прогнозирования оттока клиентов в телекоммуникационной компании. В [5] предложен способ прогнозирования оттока клиентов крупного российского ритейлера на основе изменений в моделях их поведения – способ представляет собой расширение модели *RFM (Recency, Frequency, Monetary)* оценками вероятности изменений в поведении клиентов. Однако данный подход имеет ограничения, связанные с нарушением поведенческих моделей внешними шоками. В [6] задача прогнозирования оттока клиентов решается для бизнеса по аренде бытовой техники, причем авторы также используют адаптацию *ML* с учетом специфики предметной области. Проведенный анализ представленных и других источников показал, что в настоящее время наибольший прикладной интерес для построения предиктивных моделей представляют методы искусственного интеллекта, представленные различными моделями *ML*: деревья решений и их разновидности, логистическая регрессия, искусственные нейронные сети различных архитектур, отличающиеся большим количеством скрытых слоев и сложной процедурой построения рецептивных полей. Достоинством классификаторов, основанных на *ML*, а именно задача классификации решается при ответе на вопрос – покинет клиент банк или нет, является отсутствие необходимости оценки параметров распределения

исходных данных. Мера сходства в таких классификаторах формализуется с помощью функции расстояния, например, евклидова.

Научную новизну результатов исследования составляет предложенная двухкаскадная интеллектуальная модель прогнозирования оттока клиентов банка. В первом каскаде осуществляется выявление наиболее значимых факторов, характеризующих вероятность ухода клиента, во втором – применение ансамбля моделей *ML*, таких как случайный лес, логистическая регрессия и многослойный персептрон.

Предложенная на рисунке 1 структура интеллектуальной модели прогнозирования оттока клиентов банка *ML* по сути решает задачу бинарной классификации, поэтому метрика *CR* представляется, как вектор: $CR=[cr_1; cr_2]^T$, где его элементы принимают значения $cr_1=1, cr_2=0$, если клиент покидает банк и $cr_1=0, cr_2=1$, если остается. Однако «уверенность» модели в том, что клиент покинет банк или останется, может изменяться, поэтому cr_1 и cr_2 будут принимать значения из диапазона $[0; 1]$. Это можно использовать для прогнозирования момента времени t_{lim} , когда cr_2 достигнет предельного уровня CR_{lim} (например, 0.5), что будет соответствовать принятию решения клиентом о прекращении обслуживания в банке.

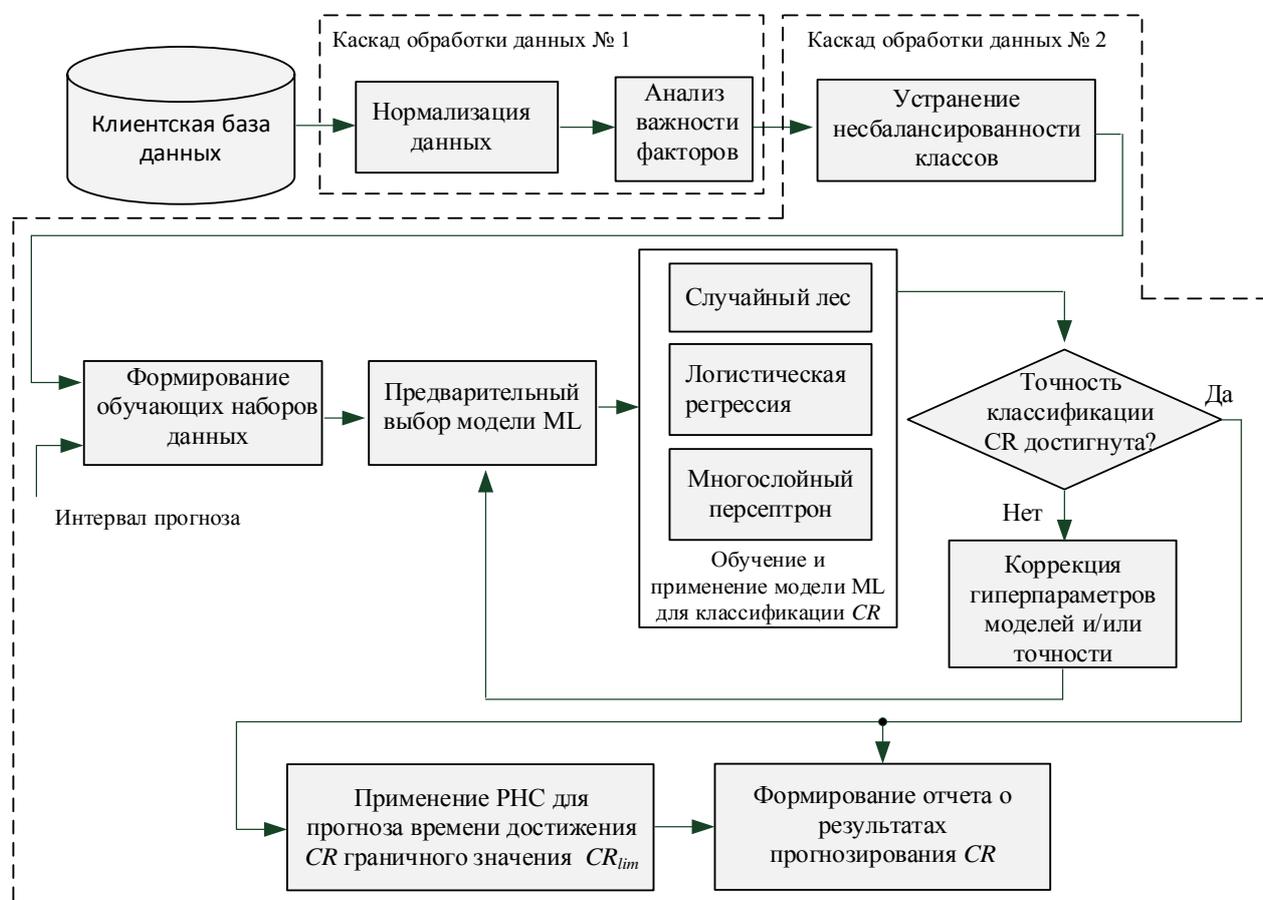


Рисунок 1 – Структура интеллектуальной модели прогнозирования *CR*

Прогнозирование момента времени t_{lim} предполагается осуществлять рекуррентной нейронной сетью (РНС) в специальном блоке, отраженном на

рисунке 1, и использовать при формировании итогового отчета прогнозирования. РНС представлены широким спектром архитектур, но сейчас наибольшую популярность приобрели глубокие нейронные сети с долгой краткосрочной памятью (*Long short-term memory, LSTM*), эффективно используемых для прогноза многомерных временных последовательностей, в том числе и в финансовой сфере [7]. Применение *LSTM* обосновано тем, что такие сети и их модификации обладают наибольшей репрезентативной мощностью по сравнению с другими сетевыми архитектурами и методами прогнозирования. Отметим, что в данном случае не рассматриваются нейронные сети трансформеры, которые хотя и обладают большей точностью и репрезентативностью результатов, но значительно более сложны с точки зрения архитектуры, что делает их применение не всегда обоснованным в прикладных задачах бизнес-аналитики.

Назначение отдельных блоков в модели на рисунке 1 понятно из их названия. Но стоит отметить, что предварительный выбор модели *ML* осуществлялся на основе количества доступных примеров в наборах данных, так как нейронная сеть требует большего объема примеров, чем две другие модели, которые используются параллельно и принимается прогноз *CR*, полученный с большей точностью. При таком подходе к выбору моделей постулируется, что многослойный персептрон имеет более высокую точность прогноза – это подтверждается большинством просмотренных публикаций и является общепризнанным фактом. Кроме того, нейросети являются нелинейными моделями, следовательно, способны классифицировать объекты при отсутствии линейной делимости классов.

Для борьбы с незаполненными данными по отдельным клиентам применялась стратегия «убрать те строки в таблице, которые содержат пустые значения».

Представленная на рисунке 1 модель была положена в основу алгоритмического и программного обеспечения, реализующего инструмент для прогноза *CR*. Программное обеспечение разрабатывалось и тестировалось в облачной среде *Google Collab*, предоставляющей удобный *web*-сервис для написания кода на языке *Python*, в том числе с предустановленными библиотеками для научных исследований и создания и обучения нейронных сетей.

Апробация предложенной модели проводилась на наборе данных о клиентах банка *Bank Turnover Dataset*, выложенных на платформе *Kaggle*, предназначенной для организации конкурсов по исследованию данных и являющаяся «социальной сетью» специалистов по обработке данных и *ML*. Данные загружаются в рабочее пространство блокнота *Google Collab* и затем считываются программой для дальнейшего анализа в соответствии с предложенной моделью. Фрагмент кода загрузки данных и отображения их содержимого представлен в листинге 1.

Листинг 1 – Загрузка и отображение данных о клиентах

```
import pandas as pd
df=pd.read_csv('Churn_Modelling.csv', sep=',')
df.head(3)
import seaborn as sns
sns.pairplot(data=df, hue = 'Exited')
```

В загруженном наборе данных содержится 759 строк и 10 столбцов признаков, которые анализируются для оценки того, останется ли клиент или покинет банк. Последний, 11-й столбец таблицы содержит значение 0, если клиент остался и 1, если он прекратил обслуживаться в банке.

Для оценки важности факторов, с точки зрения их влияния на решение об уходе из банка, применялся корреляционный анализ. Это позволило уменьшить количество учитываемых в моделях *ML* факторов и, тем самым, сократить затраты на их обучение. При обучении многослойного перцептрона выборка из 759 примеров была разбита на две части: 600 примеров использовались для тренировки сети, а 159 примеров – для ее тестирования.

Для оценки точности классификации использовалась метрика F1, объединяющая в себе информацию о точности и полноте, при этом ее значения составили 0.531, 0.561 и 0.721 для случайного леса, логистической регрессии и многослойного перцептрона, соответственно.

Реализация блока прогнозирования времени t_{lim} на данном этапе исследований не проводилась и планируется при расширении функционала программного обеспечения интеллектуальной модели прогноза оттока клиентов банка.

Полученные результаты исследования позволяют сделать вывод, что цели исследования достигнуты – получен работоспособный программный продукт для прогноза оттока клиентов банка на основе ансамбля моделей машинного обучения, который может быть использован в системах поддержки принятия решений в информационном обеспечении банковской деятельности.

Литература

1. Жужгина И.А., Дружинина В.А. Использование информационных технологий в ПАО Сбербанк: возможности и ограничения // Энергетика, информатика, инновации - 2021. Сборник трудов XI Международной научно-технической конференции. В 2-х томах. Смоленск, 2021. С. 109-111.
2. Шурыкин А.С., Жужгина И.А. Исследование недостатков интеграции ИТ-контроллинга // Стратегия социально-экономического развития общества: управленческие, правовые, хозяйственные аспекты. Сборник научных статей 10-й Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. 2020. С. 277-281.
3. Hason Rudd, D., Huo, H. & Xu, G. Improved Churn Causal Analysis Through Restrained High-Dimensional Feature Space Effects in Financial Institutions. Hum-Cent Intell Syst 2, 70–80 (2022). <https://doi.org/10.1007/s44230-022-00006-y>
4. Kamalkhodzhaeva, N. & Shikov, A.N. (2022). Research and analysis of machine learning algorithms for predicting customer churn in a telecommunications company. International Research Journal, 7(121). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.121.7.014>.

5. Зеленков Ю.А., Сучкова А.С. Прогнозирование оттока клиентов на основе паттернов изменения их поведения // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17. № 1. С. 7–14. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.7.17
6. Suh, Y. Machine learning based customer churn prediction in home appliance rental business. JBigData 10, 41 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00721-8>
7. Василькова М.А., Жужгина И.А. Прогнозирование финансовых показателей организации на основе методов машинного обучения // Энергетика, информатика, инновации - 2020. Сборник трудов X Национальной научно-технической конференции с международным участием. В 3 т. Смоленск, 2020. С. 10-13.

*И.А. Жужгина, к.э.н, доц.; А.С. Голощанова, маг.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ИТ-КОНТРОЛЛИНГА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ДЕТСКИХ ТОВАРОВ

В современном мире детские товары становятся все более разнообразными и доступными, предлагая родителям широкий ассортимент. Однако приобретение качественных и безопасных товаров для детей может быть сложной задачей, требующей тщательного анализа информации о производителе, составе продукта и его соответствии нормам безопасности.

Информационные технологии (ИТ) стали незаменимой частью современного бизнеса. Они ускоряют и автоматизируют множество рабочих процессов, обеспечивая эффективность и конкурентоспособность предприятий. Одной из важных областей, где ИТ-технологии находят широкое применение, является контроль качества продукции.

ИТ-контроллинг представляет собой систематический подход к управлению ИТ в организации, направленный на повышение эффективности и результативности бизнес-процессов. Основная цель ИТ-контроллинга заключается в обеспечении эффективного и надежного функционирования ИТ-инфраструктуры организации [1]. Одной из ключевых задач ИТ-контроллинга является контроль качества продукции, в том числе детские товары. С помощью инструментов ИТ-контроллинга можно анализировать данные о прошлых производственных циклах, проводить мониторинг текущих операций и выявлять потенциальные проблемы, которые могут повлиять на качество детских товаров. Одним из основных преимуществ использования ИТ-контроллинга является возможность прогнозирования качества детских товаров. На основе полученных данных можно делать прогнозы о том, какие проблемы могут возникнуть с данным товаром и какие шаги необходимо предпринять для их предотвращения.

Использование ИТ-контроллинга также позволяет организациям более точно определить требования к качеству детских товаров [2]. Автоматизация процессов сбора информации о потребностях и предпочтениях клиентов позволяет создавать более точное представление о том, какие характеристики товаров являются наиболее важными для потребителей. Это позволяет организациям сосредоточить свои усилия на разработке и производстве товаров, которые будут наиболее востребованы и соответствовать требованиям рынка.

Кроме того, ИТ-контроллинг помогает в автоматизации процесса контроля качества детских товаров. С помощью специальных систем мониторинга и аналитических инструментов можно проводить постоянный контроль за производственными процессами и качеством выпускаемых товаров. Это позволяет своевременно выявлять возможные проблемы или отклонения от стандартов качества и принимать меры по их исправлению

Для эффективного прогнозирования качества детских товаров используются различные инструменты ИТ-контроллинга, позволяющие проводить анализ и оценку продукции на всех этапах жизненного цикла – от проектирования до выпуска на рынок. Наиболее подходящие инструменты представлены на рисунке 1.



Рисунок 2 – Инструменты ИТ-контроллинга

Одним из основных инструментов, которые используются для анализа качества детских товаров являются системы управления качеством (Quality Management Systems). Они позволяют автоматизировать мониторинг процессов производства, контроль качества материалов и комплектующих, а также отслеживать соответствие продукции стандартам безопасности. Благодаря этим системам можно обнаружить возможные дефекты и недостатки еще на ранних стадиях производства.

Другим важным инструментом ИТ-контроллинга являются системы управления данными (Data Management Systems). Они позволяют собирать, хранить и анализировать информацию о качестве детских товаров, включая данные о результатах тестирования, отзывах покупателей и проблемах с продукцией. Анализ этих данных позволяет выявить тренды и прогнозировать возможные проблемы с качеством товаров.

Для прогнозирования качества детских товаров используются системы автоматизации процессов (Process Automation Systems). Они позволяют контролировать выполнение всех этапов производства, отслеживать сроки и степень выполнения задач, а также автоматически определять возможные нарушения в процессе. Это помогает предотвратить ошибки и недостатки, а также повысить эффективность и качество производства.

Система управления информацией о поставщиках также играет важную

роль в обеспечении качества детских товаров. Она позволяет компаниям выбирать надежных поставщиков с хорошей репутацией и высокими стандартами качества. Благодаря этой системе компании могут сотрудничать только с проверенными и надежными поставщиками, что снижает риск поставки некачественного сырья и материалов. Такая система собирает данные о каждом поставщике: его история сотрудничества, результаты аудита качества, отзывы клиентов и другую информацию. Это позволяет проанализировать надежность и качество товаров каждого поставщика, что помогает выбирать лучших из них и предугадывать возможные проблемы с качеством.

Автоматизированные системы мониторинга и аналитики данных позволяют собирать данные о качестве товаров из различных источников, например, отзывов покупателей, данных о возвратах и обменах, результатов тестирования и отчетов о проверках качества. Анализ этих данных с помощью специализированных алгоритмов и моделей прогнозирования может помочь выявить тенденции, предсказать возможные проблемы с качеством и принять предупредительные меры.

С помощью виртуальных тестирований и моделирования можно проверить качество товара и его соответствие стандартам безопасности без физического производства и тестирования. Например, с помощью компьютерного моделирования можно определить эргономику детской игрушки или ее потенциальные риски.

С помощью включения датчиков и IoT-технологий в детские товары, можно автоматизировать процессы контроля и мониторинга их качества. Например, датчики могут мониторить температуру, влажность или другие параметры в товаре и предупреждать об отклонениях от стандартов.

Все эти инструменты ИТ-контроллинга совместно обеспечивают возможность более точного прогнозирования качества детских товаров.

В настоящее время нет определенных правил по автоматизации и контролю качества продукции. Каждая организация выбирает наиболее подходящий ей инструмент по ряду показателей. В статье рассмотрены наиболее подходящие инструменты для отрасли детских товаров. В целом, использование инструментов ИТ-контроллинга позволяет более эффективно управлять качеством детских товаров, предсказывать возможные проблемы, принимать меры по их предотвращению и тем самым обеспечивать безопасность и доверие потребителей.

Литература:

1 ИТ-контроллинг как инструмент управления ИТ-затратами и результатами [Электронный ресурс] // eg-online.ru.URL: <https://www.eg-online.ru/article/260098/>

2 Контроллинг как современный метод управления субъектами различных сфер деятельности / Р.В. Нагуманова, А.И. Сабирова. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2016. 82 с

ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОГО УДАЛЕННОГО ДОСТУПА К КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ

Развитие информационно-коммуникационных технологий, в частности сети Интернет, повлекло за собой реализацию передачи информации на дальние расстояния с меньшими затратами. Возможность поддержания контакта между сотрудниками компании, географически находящимися в разных местах и в отличных друг от друга часовых поясах, повлияло на концепцию организации работы персонала. Новый формат занятости, удаленный труд, довольно быстро распространился во многих странах, в том числе благодаря содействию государственных органов.

В настоящее время почти в каждой компании непременно появляется необходимость в организации удаленного доступа к корпоративной сети для ее сотрудников. Основными причинами становятся дистанционная занятость, командирование или болезнь работника. В условиях пандемии коронавирусной инфекции удаленная работа стала единственно допустимым способом организации труда для обеспечения непрерывного рабочего процесса. Однако быстрый и повсеместный переход к дистанционной занятости с предоставлением удаленного доступа к информационным системам организаций выявил наличие нерешенных проблем информационной безопасности в данном направлении. Даже по истечению нескольких лет трансформирования существующих бизнес-процессов и политик безопасности, отмены статуса пандемии, а значит, снижению количества удаленных сотрудников в компаниях, существуют риски осуществления угроз безопасности, связанных с удаленным доступом к сети.

В рамках данного исследования была поставлена цель выявить потенциальные угрозы информационной безопасности, связанные с удаленным доступом к корпоративной сети, а также составить список рекомендаций для их нейтрализации.

Проблеме обеспечения безопасного удаленного доступа посвящено множество работ. В результате анализа научно-методических публикаций было выявлено, что разные исследователи выделяют различные угрозы безопасности удаленного доступа к корпоративной сети [1-4]. Также существенно отличаются градации выявленных угроз по степени опасности для организации.

Следующие уязвимости чаще всего оказываются причиной высокой оценки рисков рассматриваемых угроз [1]:

- неправильная настройка средств удаленного доступа, в частности параметров безопасности;
- уязвимость протоколов сетевого взаимодействия;
- некорректные настройки шлюзов, используемых для доступа к корпоративной сети;
- уязвимости конечных устройств доступа (компьютеров).

Типичным фактором, дающим возможность нанесения информационной системе повреждений, является использование концепции Bring Your Own Device (BYOD). Ее суть в предоставлении разрешения конечным пользователям удаленного доступа подключаться к корпоративной сети с собственных устройств. Такое рабочее место может быть не защищено антивирусным программным обеспечением, что может привести к нарушению целостности, доступности или конфиденциальности данных, обрабатываемых пользователем при вирусной атаке.

В таблице 1 представлены обобщенные итоги анализа возможных угроз безопасности, обусловленные использованием удаленного доступа к информационной системе [2-3].

Таблица 1 – Оценка угроз безопасности удаленного доступа к сети

Угроза	Объект	Уровень угрозы
Атака «человек посередине» (MITM-атака)	Конфиденциальная информация, канал связи пользователя	Средний
Перехват сетевого трафика	Любая информация, в том числе конфиденциальные сведения	Средний
Подмена субъекта или объекта сети	Шлюзы удаленного доступа	Высокий
Атака «грубой силы»	Учетная запись пользователя, информационная система организации	Низкий
Воздействие вредоносных программ	Рабочее место пользователя, серверная инфраструктура	Высокий
Отказ в обслуживании (DoS, DDoS)	Информационная система, веб-сайт, приложение	Высокий
Хакерские атаки	Ресурсы корпоративной сети, конфиденциальная информация	Средний
Уязвимости приложений	Конфиденциальная информация, целостность сетевой архитектуры	Средний
Крекинг	Информационная система, веб-сайт, приложение	Средний
Человеческий фактор	Конфиденциальная информация	Высокий
Кража устройства, носителя информации	Конфиденциальная информация	Средний

Многие авторы в своих работах отмечают необходимость применения комплексных мер защиты от угроз безопасности удаленного доступа к сети. Также высоко оценивается предварительное изучение специфики работы организации и хранения информации в ней для дальнейшей адаптации защитных и предупреждающих мер.

Длительный период противодействия вышеназванным угрозам в формировании информационной безопасности удаленного доступа обозначил методы нейтрализации и предупреждения каждой из них. При обобщении опыта исследователей меры для обеспечения безопасности удаленного доступа к корпоративной сети были ранжированы по важности их применения [1-4].

В первую очередь рассматривают следующие защитные меры: установку и

настройку межсетевого экрана, а также антивирусного программного обеспечения. Функционирование актуальных версий данных программных средств значительно снижает возможность реализации атаки «человек посередине», подмены сетевого трафика и отказа в обслуживании.

Для осуществления рассматриваемых мер доступны отечественные и зарубежные решения, среди которых можно отметить межсетевые экраны Diamond, Континент, Check Point Firewall и антивирусные продукты Kaspersky, Dr. Web, Nano Antivirus.

Частью процесса по налаживанию защищенного канала связи является организация виртуальной частной сети (VPN), поэтому этот метод становится все более используемым. Он также предотвращает перехват сетевого трафика и атаку «человек посередине». Применение VPN осуществляется путем использования набора протоколов, таких как IPsec, PPTP, или установкой специализированного программного обеспечения.

Атаку «грубой силы» и IP-спуфинг способна предотвратить налаженная система аутентификации пользователей. Ограничение количества возможных попыток входа в информационную систему и применение нескольких факторов аутентификации позволяет снизить риск раскрытия конфиденциальной информации.

Второстепенными мерами защиты для обеспечения безопасного удаленного доступа являются:

- использование системы резервного копирования данных для предотвращения потери, изменения и разрушения данных;
- наличие в организации белых списков приложений, использующих ресурсы сети;
- применение систем мониторинга защищенности корпоративной сети и информационной системы в целом;
- применение цифровых сертификатов безопасности.

Эти практики создают препятствия исполнению угроз в виде воздействия вредоносных программ, уязвимостей приложений и кражи устройств и носителей информации. По крайней мере, они снижают наносимый хакерскими атаками ущерб компаний.

Комплексный характер обеспечения безопасности при реализации угроз, обусловленных удаленным доступом к корпоративной сети, реализуется при использовании разнообразных технических и организационных мер.

В качестве организационных мер рассматривают разработку и внедрение в политику информационной безопасности организации пунктов об особенностях работы в режиме удаленного доступа, таких как применение парольной защиты, хранение и эксплуатация конфиденциальной информации на устройствах пользователей.

Таким образом, в процессе данного исследования были выявлены основные угрозы безопасности, потенциально реализуемые с помощью удаленного доступа к сети. Защита данных и информационных систем является важным аспектом при налаживании удаленного доступа к ресурсам сети. Для этого

необходимо использовать многочисленные меры технического и организационного характера, снижающие риски осуществления атак и повышающие в целом уровень защищенности организации.

Литература

1. Осипов И.В., Галимов Р.Р. Защита удаленного доступа к распределенной информационной системе в задаче дистанционного аудита защищенности // Международный научный журнал «Символ науки». 2022. № 6-2. С. 8-11.
2. Гусев А.А., Иванов А.А., Петров А.В. и др. Удаленный доступ к данным и информационной системе: проблемы и меры безопасности // Информационные системы и технологии. 2019. Т. 19, № 2. С. 189-198.
3. Сыроватская А.Е. Комплексное обеспечение информационной безопасности при реализации угрозы попытки доступа в удаленную систему //Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2023. Т. 8. № 4 (30). С. 41-44.
4. Семянова С.И. Организация безопасного удаленного доступа // Столыпинский вестник. 2022. № 6. С. 3383-3390.

*А.В. Зедина, ст. преп.; Е.А. Павлова, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОРГАНИЗАЦИЯ РЕГЛАМЕНТНЫХ РАБОТ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В большинстве организаций в разных отраслях деятельности используются информационные технологии, автоматизирующие осуществляемые бизнес-процессы; это обусловлено их глубокой интеграцией в современную экономику. Вне зависимости от отрасли самые распространенные технологии (например, широкополосный Интернет) используются не менее чем 70% организаций (рисунок 1) [1].

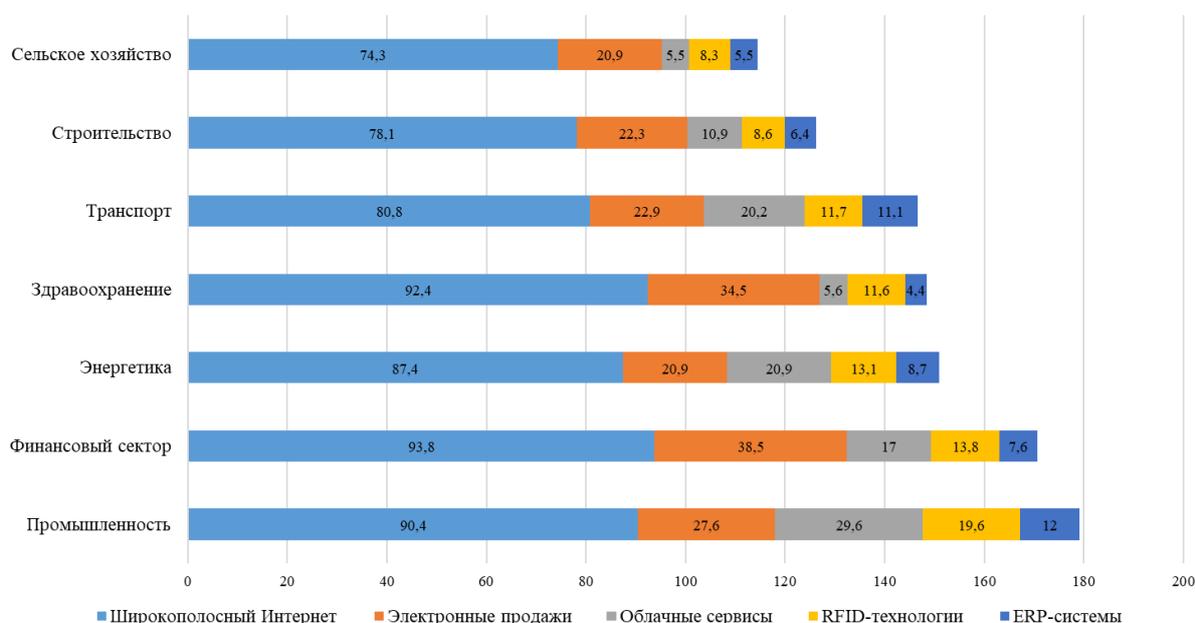


Рисунок 1 – Процент использования информационных технологий в различных отраслях, в %

Для контроля и совместного функционирования информационных технологий внутри организации создаются информационные системы. Под эксплуатацией корпоративной информационной системы понимается

использование взаимодействующих информационно-технологических модулей для минимизации вероятностей возникновения ошибок и повышения эффективности осуществления бизнес-процессов.

Самым крупным вендором решений в отрасли автоматизации бизнеса в России является компания «1С» (рисунок 2) [2]. Таким образом, для российского рынка автоматизации бизнеса использование продуктов «1С» является наиболее актуальным решением, эксплуатация систем в работе рассматривается на примере системы, реализованной на платформе «1С: Предприятие 8.3» в ООО «Простые решения СОФТ».

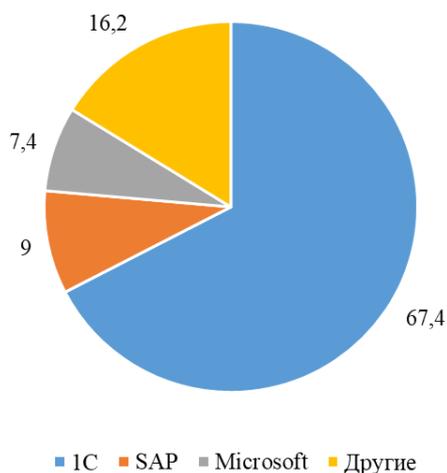


Рисунок 2 – Доли вендоров ERP-систем, лидирующих на российском рынке, в % за 2019-2022 гг.

Эксплуатация является отдельным видом деятельности, учитываемым в бизнес-процессах организации и нуждающемся в контроле и управлении:

- должно выделяться достаточное количества ресурсов для работы системы;
- при недостатке ресурсов гарантированно будут возникать сбои, требующие экстренных работ по их устранению.

Корпоративные информационные системы часто работают с большим количеством активных пользователей, основной функциональной задачей которых выступает поддержание непрерывной и эффективной с технологической точки зрения работы системы с возможностью ее эволюции для соответствия постоянно изменяющимся бизнес-требованиям.

Под технологическим качеством в данном случае понимается:

- доступность системы более 95% времени работы;
- стабильность производительности (или ее улучшение) в процессе эксплуатации;
- стабильность показателей эффективности технологического характера (или их улучшение) после обновления отдельных модулей или полного перехода на новые версии;
- отсутствие ошибок при выполнении операций;

– стабильный соответствующий действительности результат при выполнении операций.

Бесперебойная работа информационной системы прямо пропорционально зависит от функционального наполнения, однако вышеперечисленные требования любая система должна выполнять при любой сложности и полноте функционала.

Для создания любой информационной системы разработчикам необходимо реализовать выполнение следующих функций:

- планирование задач;
- администрирование;
- организация рабочих зон (рабочих мест);
- организация зон разработки и выполнения технических задач, доработки механизмов;
- возможности автоматизации повторяющихся задач.

Под задачами эксплуатации понимаются:

- организация линий (первой в качестве колл-центра принятия обращений, второй в качестве линии информационно технологического сопровождения) технической поддержки;
- классификация обращений, а также их выбор из общего бэклога;
- оперативное взаимодействие с пользователями;
- передача собранной и структурированной информации о вопросах второй линии технической поддержки;
- классификация проблем клиентов;
- тестирование и обновление на новые версии без ухудшения;
- дежурство специалистов для решения текущих задач и оперативные работы по устранению инцидентов;
- конфигурирование программ и регулярное версионирование.

Для планирования задач и организации коммуникации при эксплуатации информационной системы могут использоваться: Сервис Деск, Документооборот, Skype и другие системы [3].

Все системы при эксплуатации нуждаются в регламентных работах, но осуществление регламентных работ невозможно в рамках производственной рабочей конфигурации, соответственно, предлагается использовать кластер тестовых серверов для предварительной работы, которые также будут разбиты на несколько логических зон (по степени готовности внедрения – модуля, расширения или обновления). Предлагаемая система организации регламентных операционных работ представлена на рисунке 3.

Зона тестирования от подготовительной к производственной зоне отличается следующим:

- в зоне тестирования продукт тестируется перед выпуском на наборе аналогичных к действительным тестовых данных с соблюдением механики (определенного сценария) работы с этим самым продуктом, тестирование в подготовительной зоне происходит на пользовательских данных

непосредственно, что увеличивает риск потери данных, но значительно повышает действительность тестирования;

– новые продукты не предлагаются для тестирования в подготовительной к продукционной зоне, так как это может повлечь за собой потерю данных или технические ошибки, подготовительная зона обеспечивает качество работы конкретной информационной системы;

– в подготовительную зону могут попадать только выпущенные продукты, в то время как зона тестирования предназначена для продуктов до их выпуска, выпущенным может считаться продукт, который имеет уникальный номер версии, дату и время выпуска, эти признаки позволяют в случае неверного функционирования продукта зафиксировать конкретный ошибочный вариант.

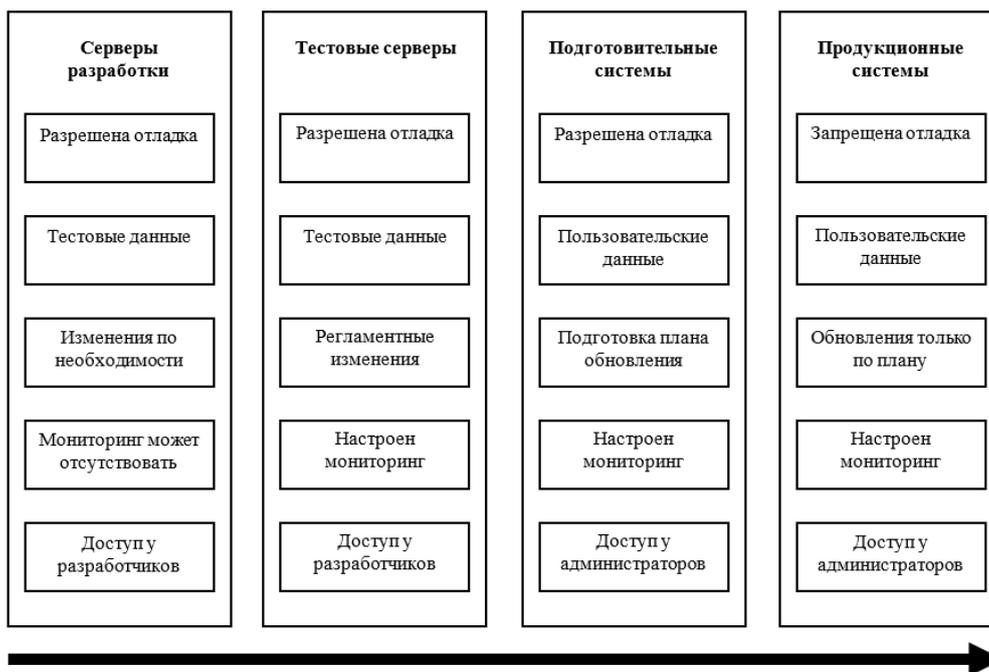


Рисунок 3 – Процесс осуществления операционных работ в ИС

Таким образом, представленное разбиение зон обеспечивает оптимальное выполнение операционных задач в рамках подготовки системы к дальнейшей эксплуатации. Продукционная и подготовительная зоны не должны совмещаться, это может повлечь за собой в результате обновлений, возникновение риска утечки данных (так как доступ к данным пользователей появляется у разработчиков). Тестовая и подготовительная зоны не должны совмещаться, так как тестирование, отладка, расследование проблем будут происходить в системе, с которой непосредственно работают пользователи, в таком случае невозможно организовать необходимый процент доступности пользователей в систему, страдают бизнес-процессы клиента системы. Оптимальным решением для организаций, занимающихся разработкой пользовательских информационных систем для реализации бизнес-процессов является разделение зон для проведения операционных работ с использованием: рабочего сервера, сервера СУБД и веб-сервера (или каких-то отдельных

элементов из списка в зависимости от специфики системы). Также следует применять механизмы: автоматизация развертывания баз с предшествующим версионированием, автоматизация запуска, остановки служб и развертывания виртуальных машин из шаблонов в конкретной предлагаемой конфигурации.

Литература

1. Корпоративные информационные системы [Электронный ресурс] // Госзаказ. 2023. URL: <https://gozakaz.ru/korporativnye-informatsionnye-sistemy/> (дата обращения: 03.07.2023)
2. Системы управления предприятием (ERP) рынок России [Электронный ресурс] // Tadviser. 2022. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 03.07.2023)
3. Морозов А. В. Организация эксплуатации крупной информационной системы [Электронный ресурс] // Технологические вопросы крупных внедрений. 2023. 8 с. URL: <https://kb.1c.ru/articleView.jsp?id=101&print=1> (дата обращения: 04.07.2023)

С.В. Козлов, к.п.н., доц.; Т.А. Виноградов, студ.

(ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет», г. Смоленск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ ЦИФР

Для автоматизации распознавания рукописных цифр [1] хорошо подходят нейронные сети в силу их способности к самостоятельному обучению [2] на подготовленных наборах данных. Набор данных MNIST [3] содержит 70000 элементов, представляющих собой пару «образ-метка», где образ – изображение цифры размера 28 на 28 пикселей в оттенках серого, а метка – значение цифры, изображённой на образе. Этот набор разделён на две группы: тренировочную, состоящую из 60000 пар, и тестовую, которая состоит из 10000 пар.

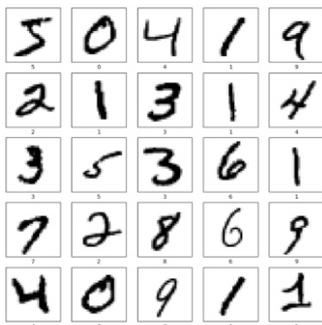


Рис. 1 – Срез набора данных MNIST

Тестовая часть в данном датасете используется для оценки способности нейросети к обобщению – случаю, когда нейросеть способна дать верные ответы на незнакомых ей образах или если образы неполные или искажены.

Для создания нейронной сети на языке Python можно написать её с нуля, опираясь на математическое описание искусственного нейрона и нейросети в целом [4]. Эту задачу облегчила компания Google, воплотив в реальность библиотеку TensorFlow. Для её использования в рамках статьи требуется установка языка Python, этой библиотеки и нескольких дополнительных (указанные в списке в скобках команды вводятся в командной строке Windows):

- Numpy (pip install numpy);
- Matplotlib (pip install matplotlib);
- Keras (pip install keras);
- Jupyter (pip install jupyter);
- Tensor Flow (pip install tensorflow).

Далее весь программный код будет выполняться в Jupyter Notebook. Для использования библиотек их необходимо импортировать:

```
import tensorflow as tf
from tensorflow import keras
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

Затем загружается набор данных и создаётся список уникальных значений из этого набора для классификации образов:

```
dataset = keras.datasets.mnist
(train_images, train_labels), (test_images, test_labels) = dataset.load_data()
class_names = ['0','1','2','3','4','5','6','7','8','9']
```

Дополнительно можно вывести на график один из образов для проверки успешной загрузки набора данных (рис. 2):

```
plt.figure()
plt.imshow(train_images[0])
plt.colorbar()
plt.grid(False)
```

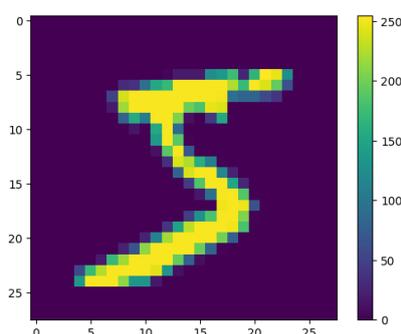


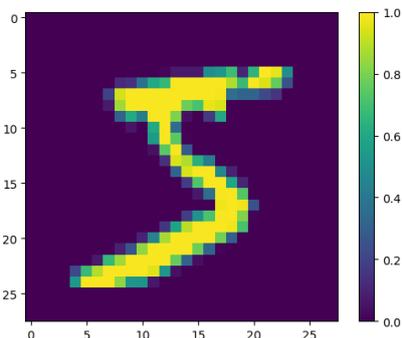
Рис. 2 – Пример образа из набора данных

Так как нейросеть принимает на вход значения в диапазоне $[0.0;1.0]$, а исходные данные имеют диапазон $[0;255]$, необходимо преобразовать все изображения к требуемому формату (рис. 3):

```
train_images = train_images / 256.0
test_images = test_images / 256.0
plt.figure()
```

```
plt.imshow(train_images[0])
plt.colorbar()
plt.grid(False)
```

Рис. 3 – Результат преобразования диапазона интенсивности



После загрузки набора данных идёт описание модели нейронной сети и её подготовка к работе:

```
model = keras.Sequential([
    keras.layers.Flatten(input_shape=(28,28)),
    keras.layers.Dense(128, activation=tf.nn.relu6),
    keras.layers.Dense(10, activation=tf.nn.softmax) ])
model.compile(optimizer=tf.keras.optimizers.Adam(learning_rate = 0.0001),
               loss='sparse_categorical_crossentropy',
               metrics=['accuracy'])
```

После всех подготовок нейросеть готова к обучению:

```
model.fit(train_images, train_labels, epochs=5)
```

Окно прогресса обучения представлено на рисунке 4.

```
model.fit(train_images, train_labels, epochs=5)
Epoch 1/5
1875/1875 [=====] - 9s 3ms/step - loss: 0.6069 - accuracy: 0.8521
Epoch 2/5
1875/1875 [=====] - 6s 3ms/step - loss: 0.2896 - accuracy: 0.9198
Epoch 3/5
1875/1875 [=====] - 6s 3ms/step - loss: 0.2361 - accuracy: 0.9345
Epoch 4/5
1875/1875 [=====] - 6s 3ms/step - loss: 0.2040 - accuracy: 0.9433
Epoch 5/5
1875/1875 [=====] - 6s 3ms/step - loss: 0.1806 - accuracy: 0.9496
<keras.callbacks.History at 0x24958cb21d0>
```

Рис. 4 – Команда запуска тренировки нейросети и окно прогресса обучения

Обученную нейросеть необходимо проверить на тестовом наборе данных:

```
test_loss, test_acc = model.evaluate(test_images, test_labels)
```

```
print('Test accuracy:', test_acc)
```

На рисунке 5 представлены данные проверки работоспособности нейросети на данных, которых не было в обучающей выборке. В данном случае точность составляет около 95%.

```
313/313 [=====] - 1s 2ms/step - loss: 0.1686 - accuracy: 0.9516  
Test accuracy: 0.9516000151634216
```

Рис. 5 – Результаты проверки работоспособности нейросети

После проведённых процедур нейросеть является обученной и готовой к работе: на вход подаётся 3-х мерный массив, где первый индекс указывает на номер изображения, а второй и третий – на значение интенсивности по координатам «x» и «y» соответственно.

Так как распознавание образов не ограничивается одними лишь цифрами, данную модель нейросети можно также использовать для таких целей, как оцифровывание бумажных носителей, отслеживание автомобильного трафика через камеры городского наблюдения с последующим обнаружением дорожных правонарушений, пресечение использования запрещенного программного обеспечения в многопользовательских играх путём изучения паттернов поведения игроков и других задач.

Литература

1. Борисенкова А. В. Использование метода каскадов Хаара при распознавании образов на изображениях // Развитие научно-технического творчества детей и молодежи: сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 28-33.
2. Нейронная сеть с использованием TensorFlow: классификация изображений. URL: <https://habr.com/ru/articles/426797/> (Дата обращения: 06.07.2023);
3. База данных MNIST с рукописными цифрами. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/azure/open-datasets/dataset-mnist?tabs=azureml-opendatasets> (Дата обращения: 02.07.2023).
4. Городничев Д. Ю. Машинное обучение и глубокое обучение // Современные проблемы лингвистики и методики преподавания русского языка в ВУЗе и школе. – 2022. – № 38. – С. 278-281.

С.В. Козлов, к.п.н., доц.; Д.А. Маслова, студ.

(ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет», г. Смоленск)

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОИЗВЕДЕНИЯ ВЕКТОРОВ В N-МЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SIMD-РЕГИСТРОВ

При решении задач параллельного программирования [1] мы можем столкнуться с такими задачами, реализация которых требует не только ускорения с помощью алгоритма, но также применения на различных алгебраических структурах [2] ускорения на процессоре [3]. Поэтому существуют различные команды, которые позволяют, при выполнении одной процедуры, работать с большим потоком данных [4].

В статье мы рассмотрим такие команды как SIMD (Single Instruction, Multiple Data) – одна инструкция, много данных. Большинство современных компьютеров оснащены такими командами.

Стоит сразу обозначить, что в статье рассмотрение проводится на регистрах на процессоре Intel с архитектурой x86. Такому процессору свойственны следующие расширения: MMX, SSE, SSE2, SSE3, SSE4, SSE4.1, SSE4.2, AVX, AVX2, AVX512. Статья затрагивает расширение SSE 4.2, его отличительной чертой является, что при решении задачи нам не требуется самостоятельно писать алгоритм распараллеливающий поток данных. Это расширение можно найти на любом компьютере, начиная с процессора Nehalem 2008 года.

Целью данной статьи является описание алгоритма достижения максимального ускорения программы на аппаратном уровне.

Разберем как работает ускорение. Вначале данные заносятся в инструкцию SSE4.2. Так как это длинная инструкция, а именно имеет 128 бит, то мы можем ее разбить на 2, 4, 8, 16, 32 и т.д. Таким образом, SSE4.2 будет содержать четырехмерный вектор, то есть вектор будет содержать четыре элемента.

Перейдем к задаче, на вход программе дается размерность пространства n , с помощью метода Random заполняются координаты вектора, далее производится скалярное умножение n -мерных векторов. Как итог, мы получаем результат произведения и время его вычисления.

Задача, реализованная на языке программирования C# в среде разработки Microsoft Visual Studio 2022 будет выглядеть следующим образом:

```
public static unsafe float SIMDScalarMultiply(float[] pig, float[] fig) // объявляем функцию
{
    float result = 0;
    int i;
    fixed (float* ptr2 = fig) // ставим указатель на массив
    {
        fixed (float* ptr1 = pig)
        {
            int vectorSize = 4; // задаем длину SIMD-регистра
            Vector128<float> v = Vector128<float>.Zero; // задаем нулевой вектор
            int end = pig.Length - (pig.Length % vectorSize);
            Vector128<float> tmpv1 = Vector128<float>.Zero;
            Vector128<float> tmpv2 = Vector128<float>.Zero;
            for (i = 0; i <= end; i += vectorSize)
            {
                tmpv1 = Sse42.LoadVector128(ptr1 + i); // создаем временный вектор
                tmpv2 = Sse42.LoadVector128(ptr2 + i);
                v = Sse42.Multiply(tmpv1, tmpv2);
                result += v.ToScalar();
            }
        }
    }
}
```

```

    }
  }
}

```

Время вычисления программы составляет 10.8 миллисекунд. Для сравнения напишем небольшую программу для вычисления скалярного произведения векторов, где не будем использовать аппаратное ускорение:

```

public static int ScalarMultiply(int[] pig, int[] fig)
{
    int result = 0;
    for (int i = 0; i < pig.Length; i++)
    {
        result = result + pig[i] * fig[i];
    }
    return result;
}

```

Время, за которое было посчитано произведение составит 29.6 миллисекунд. Таким образом благодаря встроенным в процессор командам мы получили ускорение программы в 2.7 раза. Тут можно заметить, что если работать на данных объемнее, то и разницу между ускорениями мы получим больше.

Теперь рассмотрим векторное произведение векторов:

```

public int NumericsMultiply(int[,] A, int n)
{
    int result = 0;
    if (n == 1) { return A[0, 0]; }
    else if (n == 4)
    {
        int d = (int)(new Matrix4x4(
            A[0, 0], A[0, 1], A[0, 2], A[0, 3],
            A[1, 0], A[1, 1], A[1, 2], A[1, 3],
            A[2, 0], A[2, 1], A[2, 2], A[2, 3],
            A[3, 0], A[3, 1], A[3, 2], A[3, 3]
        ).GetDeterminant());
        return d;
    }
    else
    {

```

```

for (int i = 0; i < n; i++)
{
    int[,] M = new int[n - 1, n - 1];

    for (int j = 0; j < n - 1; j++)
    {
        for (int k = 0; k < i; k++)
        {
            M[j, k] = A[j + 1, k];
        }
        for (int k = i; k < n - 1; k++)
        {
            M[j, k] = A[j + 1, k + 1];
        }
    }
    result += (int)Math.Pow(-1, (0 + 1) + (i + 1)) * A[0, i] * NumericsMultiply(M, n -
1);
}
return result;
}
}

```

Данный метод заключается в разложении матрицы по строке до момента, когда получаемая матрица будет иметь размерность 4x4. В этот момент задействованы SIMD-регистры машины. В ходе вычислений мы получили время 14.1 миллисекунд.

Если рассмотрим обычное векторное умножение, то результат ускорений будет меньше в 10 раз.

Как будет выглядеть код:

```

public int SingleMultiply(int[,] A, int n)
{
    int result = 0;
    if (n == 1) { return A[0, 0]; }
    else
    {
        for (int i = 0; i < n; i++)

```

```

    {
        int[,] M = new int[n - 1, n - 1];
        for (int j = 0; j < n - 1; j++)
        {
            for (int k = 0; k < i; k++)
            {
                M[j, k] = A[j + 1, k];
            }
            for (int k = i; k < n - 1; k++)
            {
                M[j, k] = A[j + 1, k + 1];
            }
        }
        result += (int)Math.Pow(-1, (0 + 1) + (i + 1)) * A[0, i] * SingleMultiply(M, n - 1);
    }
    return result;
}
}

```

Таким образом, удалось ускорить вычисления с помощью команд процессора, что еще раз подтверждает, что распараллеливание необходимо для ускорения работы программы.

При этом результатами проделанной работы стала разработка программы скалярного и векторного умножения векторов, а также доказательство необходимости проведения параллельных вычислений.

В статье были рассмотрены SIMD (Single Instruction, Multiple Data) регистры, которые представляют собой мощный инструмент для параллельной обработки данных в процессорах. SIMD регистры позволяют выполнять одну инструкцию над несколькими элементами данных одновременно, что значительно ускоряет выполнение операций и повышает производительность вычислительных систем.

SIMD регистры используются в широком спектре приложений, включая графику, аудио и видеобработку, научные вычисления и сжатие данных. Они позволяют программистам эффективно использовать доступные ресурсы процессора, улучшая скорость выполнения задач и снижая нагрузку на центральный процессор. Благодаря SIMD регистрам можно достичь значительного ускорения приложений, особенно в задачах, где требуется обработка больших объемов данных одновременно.

Литература

1. Егоров С. С., Широков В. В., Щиголева М. А. Методика изучения технологии параллельного программирования в дисциплинах «Операционные системы» и «Объектно-ориентированное программирование» // Современное программирование: материалы I Международной научно-практической конференции, Нижневартовск, 15–18 ноября 2018 года. – Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет, 2018. – С. 42-46.
2. Козлов С. В. Использование алгебраических структур для моделирования процессов в сложных информационных системах // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: сборник материалов IX Всероссийской конференции с международным участием. – Оренбург, 2019. – С. 436-440.
3. Буза М. К. Программно-аппаратная поддержка ускорения вычислений // Искусственный интеллект. – 2018. – № 2. – С. 104-109.
4. Ходченков В. Ю., Мунерман В. И. Реализация векторной модели данных с использованием SIMD регистров // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2022. – Т. 18. № 4. – С. 756-766.

*М.Ю. Лебедева, к.т.н., доц., Н.В. Дроздов, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ БАЗ ДАННЫХ В СТРУКТУРЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Направление объектно-ориентированных баз данных (ООБД), публикации по которому появились сравнительно давно (в середине 1980-х гг.), активно развивается в последние годы. Возникновение данного направления обусловлено практическими потребностями, а именно, необходимостью разработки сложных информационных систем, функционирующих в интегрированной информационной среде, для которых существующая ранее технология систем баз данных не являлась удовлетворительной в полной мере.

Развитию ООБД способствовало наличие соответствующего базиса, основанного на языках программирования с абстрактными типами данных, а также объектно-ориентированных языков программирования. Таким образом, следует отметить, что в настоящее время объектно-ориентированные базы данных и объектно-ориентированные системы управления базами данных (ОСУБД) достаточно популярны. Как известно, основным преимуществом объектно-ориентированной модели данных, используемой в ООБД, является возможность отображения информации о сложных связях объектов, идентификации отдельной записи базы данных и определения функции их обработки.

Если сравнить ООБД с реляционными БД, то первые позволяют представлять сложные объекты более непосредственным образом. ООБД, как правило, могут быть использованы при обработке данных, имеющих сложную структуру, и в случае требования высокопроизводительной обработки данных. Современные системы ООБД обеспечивают поддержку версий и длительных транзакций.

Основными преимуществами ООСУБД являются [1]:

- объекты могут хранить произвольное количество простых типов и других объектов (в реляционной модели придется создавать множество таблиц и организовывать связи между ними);
- удобство представления иерархических данных;
- не обязателен отдельный язык для доступа к данным, но возможность его использования существует.

К основным недостаткам ООСУБД можно отнести [1]:

– при изменении схемы класса в приложениях, работающих с ООСУБД, обычно приходится изменять и другие классы приложения, которые взаимодействуют с экземплярами данного класса (возникает необходимость перекомпиляции всей системы);

– ООСУБД могут быть привязаны к отдельным языкам с помощью отдельного интерфейса программирования приложений (API) и данные становятся доступны только через него;

– сложность изучения ООСУБД для обычного пользователя.

Достаточно важным остается вопрос сравнительного анализа реляционных и объектно-ориентированных баз данных, а также актуальности их использования в качестве сред хранения для бизнес-приложений. Множество информационных систем используют реляционные базы данных для физического хранения данных. В настоящее время разработаны решения, позволяющие обеспечить прозрачную интеграцию реляционной и объектной моделей. При реализации цели создания объектно-реляционной среды необходима инкапсуляция физического хранилища данных и предоставление функции преобразования данных в объектный формат (рисунок 1). Таким образом, значительную часть времени разработчики приложений занимаются организацией доступа к реляционным базам данных из объектно-ориентированных бизнес-приложений.

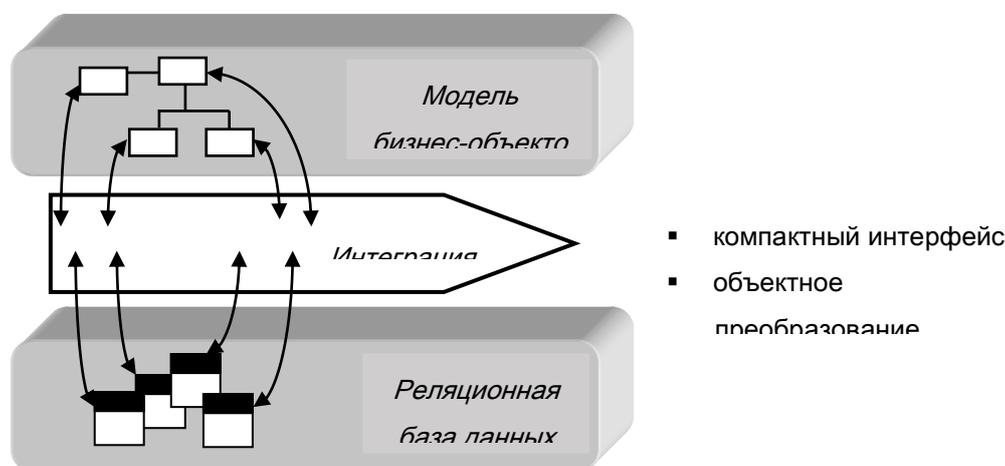


Рисунок 1 – Создание объектно-реляционной среды

Следует отметить, что СУБД с интеграцией реляционного и объектно-ориентированного подхода (объектно-реляционные СУБД) относятся к базам данных третьего поколения.

В настоящее время одной из ведущих, ранее полностью реляционных СУБД, в которой реализованы объектные расширения, является СУБД Oracle 8.x. Реляционная СУБД Oracle, разработанная в 70-х годах прошлого столетия программистами Ларри Эллисоном и Бобом Майнером, была одной из первых коммерчески успешных. Работа с последними версиями СУБД Oracle доказала, что сложная логика реляционной модели может быть представлена объектным представлением (уникальной технологией Oracle), соединяя реляционные модели с объектной технологией Oracle 8. Новые объект-

но-реляционные возможности СУБД расширяют систему типов данных, предоставляемых сервером, инкапсулируя в последних бизнес-правила и логику серверного приложения.

Клиент-серверная архитектура Oracle является несомненным преимуществом, так как пользователю не нужно хранить копию базы данных на своём компьютере. Расширение функционала языка SQL в СУБД Oracle позволило создать процедурную надстройку PL/SQL, которую можно считать полноценным диалектом данного языка. Например, она позволяет собирать множество запросов в одном фрагменте кода, а также разработать для данного блока сложную логику поведения [2].

Зарубежное корпоративное программное обеспечение, несмотря на геополитические риски, ранее успешно внедрялось в России. По данным СМИ среди клиентов Oracle, например, были «Ростелеком», Сбербанк, Россельхозбанк, МТС, ФНС, ЦБ и «Росатом».

Согласно исследованию 2014 года, проведенному международной исследовательской и консалтинговой компанией (IDC) 2014 года, треть российского рынка корпоративного программного обеспечения занимает платформа 1С: Предприятие, которая предоставляет инфраструктуру и инструменты для эффективной разработки бизнес-приложений (например, информационных систем стандарта ERP).

Как известно, 1С: Предприятие является специализированной объектно-ориентированной СУБД, предназначенной для автоматизации деятельности предприятия. Появление новых версий при использовании со специализированными «базовыми» конфигурациями показало, что 1С: Предприятие на сегодняшний день является мощным инструментом автоматизации бизнес-процессов предприятия [3]. Технологическая платформа представляет собой программную оболочку над базой данных (так, например хранение данных возможно в СУБД Microsoft SQL Server, СУБД PostgreSQL, IBM DB2, СУБД Oracle). Данная разработка компании «1С» имеет свой внутренний язык программирования, который обеспечивает как доступ к данным, так и возможность взаимодействия с другими программами.

Очевидно, что базы данных являются важнейшим компонентом любой информационной системы, в частности систем стандарта ERP, автоматизирующих бизнес-процессы планирования ресурсов предприятия и осуществляющих управление финансовой и хозяйственной деятельностью. ERP-система занимает место на верхнем уровне в иерархической лестнице систем управления.

Проведем сравнительный анализ по выбранным критериям двух ERP-систем, в структуре которых используются объектно-реляционные и объектно-ориентированные базы данных. Сравнительная характеристика ERP-систем (комплексное облачное приложение для управления бизнесом Oracle ERP Cloud и комплексная информационная система управления предприятием 1С: ERP) приведена в таблице 1 [4].

Таблица 1 – Сравнительная характеристика Oracle и 1С:Предприятия

Критерий	Oracle ERP Cloud	1С: ERP
Назначение	Автоматизации основных направлений деятельности предприятия	Автоматизации бизнес-процессов предприятия
Год выхода	1979	1991
Операционные системы	Кроссплатформенность	Windows, Linux, Android, macOS, IOS
Язык	Java, Си, C++	C++, C#, SQL, встроенный язык
Функциональность	<ul style="list-style-type: none"> – CRM; – управление активами предприятия; – управление заказами; – управление инвентаризацией; – управление персоналом; – управление проектом; – управление распределением. 	<ul style="list-style-type: none"> – отчетность / аналитика; – управление активами предприятия; – управление заказами; – управление инвентаризацией; – управление персоналом; – управление проектом; – управление распределением; – управление складом.

Каждую из рассмотренных ERP-систем можно считать эффективным решением для создания комплексной информационной системы управления предприятием. Указанные продукты позволяют автоматизировать основные бизнес-процессы, контролировать ключевые показатели деятельности предприятия, координировать деятельность и организовывать взаимодействие служб, подразделений и персонала.

Таким образом, в процессе исследования были рассмотрены вопросы использования объектно-ориентированных баз данных в структуре информационных систем, дана характеристика двум популярным объектно-ориентированным БД.

Сегодня объектно-реляционные СУБД явились новым направлением, полученным посредством внедрения объектного подхода в традиционную реляционную модель. Объектно-ориентированный подход на сегодняшний день остается перспективным направлением развития баз данных, поскольку объектно-ориентированные структуры обладают наглядностью из-за того, что объекты представляются в том же виде, в каком они существуют в реальности, что приводит к значительному сокращению времени при их проектировании и разработке.

Литература

- 1 Тяпкин С. В. Преимущества и недостатки объектно-ориентированных баз данных[Электронный ресурс] // журнал научных публикаций аспирантов и докторов: URL: <http://jurnal.org/articles/2007/inf3.html>
- 2 База данных Oracle DB: как она устроена и чем хороша[Электронный ресурс] // skillbox: URL: <https://skillbox.ru/media/code/baza-dannykh-oracle-db-kak-ona-ustroena-i-chem-khorosha/> (дата обращения 07.09.2023)
- 3 1С:Предприятие 8 – описание базы данных[Электронный ресурс] // Qlik: URL: <https://1c-predpriyatie-qlik.ivan-shamaev.ru/1s-predpriyatie-8-opisanie-bazy-dannyh/>
- 4 Сравнить ERP-системы управления ресурсами предприятий Oracle ERPc 1С:ERP[Электронный ресурс] // pickTech: URL: <https://picktech.ru/catalog/enterprise-resource-planning-software/compare/oracle-erp-cloud1-vs-1s-erp/>

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В настоящее время во всем мире происходит информатизация, которая характеризуется переходом к повсеместному использованию информационных технологий (ИТ). Сложно представить, а тем более увидеть организацию, которая не использует никакие средства автоматизации процессов.

В последнее время большое количество высокотехнологичных организаций стараются повысить свою эффективность с помощью внедрения облачных ИТ. В большинстве случаев организации осуществляют постепенный переход на такие системы. С одной стороны, это удобный и эффективный инструмент, а с другой требует больших расходов, если разрабатывается индивидуально под конкретные задачи организации. Основным толчком для развития облачных систем послужили карантинные меры в 2020 году. Организации, которые имели облачные системы, смогли адаптировать свою работу с меньшими потерями, так как смогли уменьшить расходы на ИТ, при этом увеличив объем услуг и выручку.

Согласно данным IDC [1], планируется, что расходы на облачные технологии к 2029 году будут увеличиваться на 19% ежегодно. В то же время Assenture исследовали данные технологии как инструмент взаимодействия с рыночной неопределенностью и предполагают, что около 80% организаций будут использовать именно в этих целях.

Развитие высокотехнологичных производств связано с созданием новой продукции, спрос на которую не всегда можно точно спрогнозировать, в связи с чем использование цифровых технологий, особенно на ранних этапах запуска производства, может сократить расходы и сократить затраты в случае низкого спроса и/или необходимости обновления или доработки продукции.

Внедрение облачных технологий в производственных организациях следует производить только после того, как будут определены конкретные цели, рассчитаны в долгосрочной перспективе изменения, возможность ее адаптации к внешним обстоятельствам. Кроме того, важным этапом является определение типов облаков и изучение наборов облачных сервисов. Преимуществом облачных сервисов является получение всех мощностей сразу после оплаты. Оплата же происходит из расчета: сколько было использовано, столько и оплата.

Несмотря на гибкость облачных ИТ, они существенно снижают затраты при правильном потреблении. Для этого необходимо правильно выбрать тарифы для виртуальных машин. Если машина все время работает на одинаковых мощностях, то целесообразно выбирать фиксированный тариф, который предполагает ограничение мощностей (можно выбрать тариф, который будет выполнять свои задачи, даже при ограничении). Если же виртуальная машина зависит, например, от сезонности деятельности, то лучшим вариантом будет

выбрать оплату за использованные мощности. Таким образом, главный принцип работы с облачными сервисами – это минимизация резервных мощностей и отключение ненужного.

При выборе облачных ИТ существует 3 решения: IaaS, PaaS и SaaS. IaaS предназначена для развертывания ПО с ресурсами необходимыми для клиента (решаются вопросы от закупки до настройки оборудования). PaaS используется для полного жизненного цикла web-приложения. В результате применения данного подхода клиент приобретает готовую среду для приложений. Единственным недостатком такого подхода является невозможность выбрать облачную инфраструктуру. При выборе SaaS клиент имеет доступ к приложениям, которые находятся в инфраструктуре провайдера. Данная модель может использоваться как небольшими организациями, так и крупными.

Целесообразность использования облачных технологий определяется самой организацией и основывается в первую очередь на процессе, для которого они будут использоваться. Оценка эффективности может проводиться в первый раз на этапе выбора облачного сервиса, а затем после внедрения.

Выбор модели должен осуществляться в зависимости от компетенций организации, процессов и деятельности. Для расширения и быстрого запуска лучше использовать модели IaaS и PaaS.

В более узком смысле эффективность можно понимать, как отношение эффекта к затратам; в более широком смысле под эффективностью можно понимать результат, вероятность достижения желаемого эффекта, соответствие результата желаемому или запланированному эффекту и т. д. Для оценки эффективности внедрения облачных ИТ как правило сопоставляют все затраты (от развертывания до эксплуатации) и рассчитывают годовой экономический эффект [2].

Для более детальной оценки облачной технологии можно применять коэффициент эффективности облачного сервиса (1):

$$K_{эф.} = (\sum_1^n a_i * P_i) * 100\% \quad (1)$$

где

a_i – коэффициент степени влияния, P_i – значение критерия, n – количество показателей, используемых для расчета.

В качестве критериев для качественной оценки внедрения облачных технологий используют следующие показатели (П):

1. Финансовые показатели: оценка сокращения расходов на аппаратное и программное обеспечение, меньшие затраты на обслуживание и обновление оборудования, снижение операционных расходов.

2. Продуктивность: измерение повышения производительности сотрудников благодаря удаленному доступу к данным и возможности работы из любой точки мира, улучшение эффективности рабочего процесса, снижение времени реакции на запросы клиентов.

3. Гибкость и масштабируемость: оценка возможности быстрого масштабирования ресурсов облака в зависимости от потребностей бизнеса и гибкости в выборе и настройке необходимых функций и сервисов.

4. Надежность и доступность: измерение уровня доступности и надежности облачного провайдера, анализ времени простоя системы, сохранность и безопасность данных.

5. Инновации и развитие бизнеса: оценка возможности разработки и внедрения новых продуктов и услуг, повышение агрессивности конкурентоспособности предприятий и расширение рынка сбыта.

6. Удовлетворенность клиентов: сбор и анализ обратной связи от клиентов, оценка уровня удовлетворенности услугами облачного провайдера, анализ уровня удовлетворенности пользователей внутри компании.

7. Экологические аспекты: анализ сокращения выбросов парниковых газов, потребления электроэнергии и воды, измерение влияния на снижение экологического следа организации.

При расчете коэффициента эффективности облачного сервиса используются как количественные, так и качественные оценки, которые при помощи экспертных оценок формируют бальную систему, в соответствии с которой рассчитывается показатель.

Для определения целесообразности внедрения облачных технологий в высокотехнологичной производственной организации необходимо использовать такие элементы как: гибкость и масштабируемость, сокращение операционных расходов, улучшение доступности и мобильности, высокий уровень безопасности данных.

Облачные ИТ позволяют быстро масштабировать вычислительные ресурсы в зависимости от потребностей бизнеса. Это позволяет организациям гибко реагировать на изменения рынка и экономические факторы без необходимости инвестировать в дорогостоящее оборудование и инфраструктуру. Внедрение таких технологий позволяет уменьшить расходы на аппаратное и программное обеспечение, обслуживание и управление ИТ-инфраструктурой. Вместо приобретения и обслуживания собственных серверов и оборудования, компании могут использовать услуги облачных провайдеров, платя за использование по мере необходимости. Облачные технологии позволяют пользователям получать доступ к данным и приложениям из любой точки мира и на разных типах устройств. Это повышает производительность и эффективность работы сотрудников, особенно для удаленных и мобильных команд.

Облачные провайдеры как правило обеспечивают высокий уровень безопасности данных, включая резервное копирование, шифрование и защиту от несанкционированного доступа. Внедрение облачных технологий может снизить риск потери данных и повысить готовность организации к кибератакам.

Облачные сервисы для высокотехнологичных производственных предприятий – это больше, чем просто платформа хранения данных. Сегодня облако – это уникальное и необходимое решение для запуска и ведения бизнеса. Большинство предприятий уже приняли стратегии цифровой трансформации,

при этом миграция в облако является главным приоритетом. Кроме того, облачные технологии все чаще включаются в стратегии цифрового развития не только на высокотехнологичных предприятиях, но и на государственном уровне.

Литература

1 IDC [Электронный ресурс] // idc.com. URL: <https://www.idc.com/>

2 Разумников С.В. Интегральная модель оценки эффективности и рисков облачных ИТ-сервисов для внедрения на предприятие // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-24. С. 5362-5366;

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

ПРИМЕНЕНИЕ ЛИЦ ЧЕРНОВА ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Применение визуализации при обработке данных помогает повысить скорость восприятия и интерпретации информации за счет активации образного мышления. Особенно это актуально для анализа экономических данных, так как способствуют оперативному обнаружению важных изменений в них, что при табличном отображении практически невозможно.

Среди множества форм графического отображения данных в экономических приложениях широкое применение находит когнитивная графика – совокупность приемов и методов образного представления условий задачи, которое дает возможность найти подсказку или сразу решение. При анализе данных эксперт часто сталкивается с многомерным характером представляемых данных, несмотря на это, именно многомерный анализ является эффективным инструментом для анализа процессов, которые обычно описываются большим количеством характеристик. Методы когнитивной графики здесь способны значительно расширить возможности экспертов-аналитиков благодаря более эффективной обработке многомерных массивов данных, позволяя распознать новые факты, которые могут разительно изменить точку зрения эксперта.

Авторами разработана программа, позволяющая оперативно анализировать экономические данные с использованием метода визуализации, называемого «лица Чернова». Этот метод представляют собой схему представления многофакторных данных с помощью лица человека, так как восприятие выражения лица, его небольшие изменения легко считываются собеседником, что может быть использовано и при отображении данных [1]. Отображать многомерные данные как лицо дает возможность легко выявлять сложные взаимосвязи и изменения в данных, а затем применить более глубокое исследование, например, с применением методов статистического анализа, машинного обучения [2] той информации, «лицо» или эмоция, выражаемая им, не соответствует ожиданиям.

Основная идея применения «лиц Чернова» заключается в визуализации каждой записи в наборе данных: в зависимости от заданных значений, изменяться могут длина носа, положение бровей, размер глаз и так

далее. Поскольку параметры черт лица имеют одинаковые диапазоны для разных записей, сначала необходимо выполнить надлежащее масштабирование записей. «Лица Чернова» используют концепцию парейдолии, которая подразумевает склонность человека видеть лица и узоры на неодушевленных предметах или слышать скрытые сообщения в аудио [3].

В данной работе «лица Чернова» используются для визуализации одного из видов экономической информации – графического представления информации о конкурентоспособности организаций на основе нескольких параметров.

Уровень конкурентоспособности организации обуславливается множеством факторов разного характера: социально-трудовые, организационно-экономические, инновационно-инвестиционные. Чтобы использовать «лица Чернова» была составлена таблица с показателями, характеризующими деятельность пяти организаций (см. табл. 1), содержащая показатели финансовой устойчивости, платежеспособности, деловой активности, эффективности деятельности и другие. Отметим, что традиционно «лица Чернова» содержат восемнадцать изменяемых параметров, но в иллюстративном примере ограничимся восемь, так как будем считать, что остальные показатели не изменяются и не влияют на «выражение лиц».

Таблица 1 – Показатели конкурентоспособности организаций

Организация	Выручка, млн. руб.	Коэф. покрытия инвестиций	Коэф. автономии	Коэф. текущей ликвидности	Рентабельность продаж	Рентабельность активов	Оборачиваемость активов, дни	Оборачиваемость оборотных активов, дни
Организация А	47	0,88	0,8	4,81	20	15	516	270
Организация Б	46,9	0,93	0,85	8,57	47,9	43,4	447	257
Организация В	46,5	0,9	0,78	5,98	10,1	5,21	558	317
Организация Г	46,2	0,97	0,98	28,4	-11,2	-10,7	422	371
Организация Д	45,3	0,93	0,04	6,79	1,3	0,79	635	280

Программа, реализующая визуализацию по рассматриваемому методу, разработана на языке Python в облачной платформе для научных исследований *Google Colab*. Использовалась библиотека *ChernoffFace* предоставляющая удобный *API* для визуализации многомерных данных «лицами Чернова». К таким можно отнести длину бровей, рта, высоту бровей над глазами и многие другие. Важно отметить, что изменение цвета лица и его частей в данной ситуации не зависит от вводимых параметров и используется лишь для более приятной итоговой картинки.

Получившееся в результате выполнения программы изображение представлено на рисунке 1. Итоговые лица значительно отличаются друг от друга из-за большой разницы в исходных параметрах, что позволяет быстро сравнивать организации по выбранным многомерным массивам данных и на

этой основе принимать управленческие решения.

Листинг 1 – Листинг фрагмента программы визуализации

```
import pandas as pd
from ChernoffFace import *
import matplotlib.cm
data = pd.read_excel('dannye.xlsx')
names = data.iloc[:, 0].to_list()
data = data.iloc[:, 1:].to_numpy()
data = variables_rescale(data)
fig = chernoff_face(data=data, titles=names,
                    color_mapper=matplotlib.cm.Pastell,
                    figsize=(8, 8), dpi=200)
fig.tight_layout()
fig.savefig('fig.png')
```

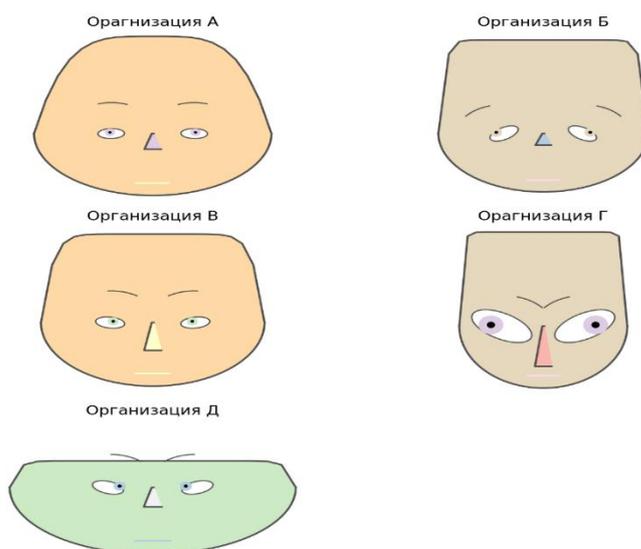


Рисунок 1 – «Лица Чернова» для анализируемых данных

Из рис. 1 видно, что «лица Чернова» быстро и точно передают особенности сравниваемых данных, при этом не понимая значений показателей конкурентоспособности, анализируемых в представляемом исследовании. Так, глядя на рисунок 1, можно сразу заметить значительные отличия показателей организации Г от других.

К недостаткам метода визуализации «Лица Чернова» можно отнести трудность для интерпретации отклонений из-за большого числа вариаций и изображений черт лица. Элементы этих отклонений (положение, размер, цвет, форма и т. д.) могут стать запутанными и визуально подавляющими, если для анализа рассматривается не небольшое количество лиц, как на рисунке 1, а намного большее. Помимо этого, «лица Чернова» сильно зависят от того, как присваиваются данные различным чертам лица.

Разработанная программа позволяет применять визуализацию данных методом «лиц Чернова» для анализа разнообразной экономической информации

и может быть использована в алгоритмическом и программном обеспечении систем поддержки принятия решений для предварительного анализа табличных данных в различных прикладных областях.

Литература

1. Загородников С.А., Соколянский В.В. Лица Чернова как эмоциональный интерфейс при построении модели высокотехнологичного инновационного предприятия машиностроительной отрасли // Экономика высокотехнологичных производств. – 2020. – Том 1. – № 2. – С. 77-90. – doi: 10.18334/evp.1.2.110968.
2. Василькова М.А., Жужгина И.А. Прогнозирование финансовых показателей организации на основе методов машинного обучения // Энергетика, информатика, инновации - 2020. Сборник трудов X Национальной научно-технической конференции с международным участием. В 3 т. Смоленск, 2020. С. 10-13.
3. Цимринг Дж. Что такое наука, и как она работает. М. : ДМК Пресс, 2021. 326 с.

*Е.И. Рысина, к.т.н., доц.; К.А. Ломакин, студ.; А.А. Вителюева, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОСТРОЕНИЮ ПРОЦЕССА АНАЛИЗА ЗАЩИЩЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ

В современном мире информация играет важную роль и становится ключевым ресурсом не только для компаний, стремящихся к успеху на рынке, но и для целых государств. Поиск информации об организации – это не только проверка открытых портов в сети. Это – изучение веб-сайта, независимо от того, где он размещен - на внешнем хостинге или на собственной платформе. Важно изучить все ресурсы и области взаимодействия с пользователями, которые присутствуют на сайте. Злоумышленник, собрав информацию, начинает попытки проникновения и, при успешном исходе, действует уже внутри сети. На этапе сбора информации активное сопротивление бесполезно, но бездействие в области информационной безопасности также не приведет к желаемым результатам. Поэтому нужно самостоятельно собирать все доступные данные об организации и создавать такую обстановку, чтобы злоумышленник не смог извлечь никакой ценной информации.

На сегодняшний день можно считать эффективными методы анализа защищенности информационных систем, такие как экспертный аудит и тестирование на проникновение. В случае экспертного аудита, оценивается уровень защищенности только наиболее значимых компонентов информационных систем, определенных заказчиком. Это означает, что обследование всей организации не требуется. Тестирование же на проникновение в систему проводится с помощью попытки взлома информационных ресурсов организацию. Тест проводится, чтобы узнать степень защищенности, узнать слабые места и уязвимости, составить оценку общего уровня информационной. Данный тест дает заказчику понимание того, как эффективно работают средства защиты информации, возможность определить вероятность взлома.

Однако эти способы анализа защищенности, хотя и эффективны, связаны с несоизмеримыми затратами - как трудовыми, так и финансовыми. К тому же,

нужно учитывать сложности, связанные с согласованием методик с ИТ-службой организации. Безусловно, данные процедуры нацелены на максимальную защиту бизнес-процессов организации от возможных угроз, однако их проведение также несет некоторые риски. Ведь возможна остановка основных операций организации или нарушение их работы, что негативно скажется на ее прибыльности.

Согласно исследованию Positive Technologies, государственные учреждения являются наиболее часто подверженными атакам. Следом идут медицинские учреждения (рисунок 1) [1].

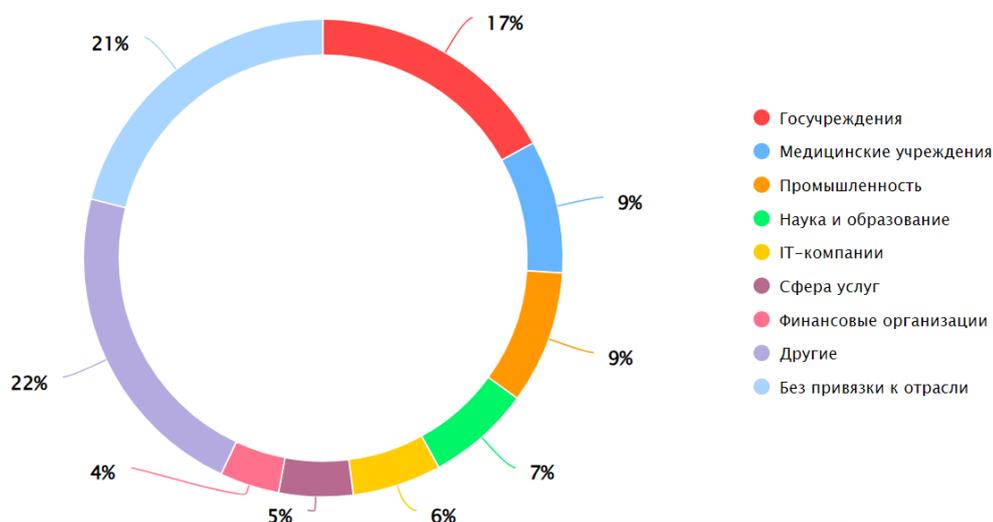


Рисунок 1 – Категории жертв хакеров по отраслям за 2022 год

Интересно, что атаки больше всего направлены на инфраструктуру, веб-ресурсы и персональные данные пользователей по всем секторам экономики. Чаще всего злоумышленники стремятся добиться финансовой выгоды или получить конфиденциальную информацию. И все же, атаки, направленные на кражу данных, могут преследовать различные цели - от кражи денег до шантажа. Иногда такие данные даже могут быть проданы в сети DarkNet.

Для анализа были рассмотрены государственные учреждения и медицинские организации. Причиной выбора является то, что они являются приоритетными целями для злоумышленников согласно статистике. Согласно отчету Positive Technologies [1], атаки на государственные учреждения в основном направлены на хищение конфиденциальной информации, что составляет более половины всех атак. Правительственные веб-сайты также часто становятся целью так называемых хактивистов: около четверти всех инцидентов связаны с такими атаками. В большинстве случаев хакеры атакуют инфраструктуру государственных учреждений и заражают компьютеры вредоносным программным обеспечением для удаленного администрирования и шпионажа.

Для информационных систем, относящихся к государственным информационным системам (ГИС), актуален приказ ФСТЭК 17 [2]. Согласно данному приказу, установлены требования к анализу защищенности государственных

информационных систем 1, 2 и 3 классов защищенности (то есть для всех). В [4] указаны меры, которые используются при анализе защищенности:

1. Процесс поиска и анализа уязвимостей информационных ресурсов организации.
2. Проверка наличия последних версий программного обеспечения.
3. Проверка корректной работы, настроек и функционирования средств защиты информации и программного обеспечения.
4. Управление набором средств защиты информации и программного обеспечения.
5. Наблюдение и корректировка правил регулировки паролей пользователей, установки доступа и уровней полномочий, применяемых в информационной системе организации.

Как уже было сказано ранее, медицинские учреждения занимают второе место по количеству атак со стороны злоумышленников. Одной из наиболее распространенных причин для таких атак является кража данных. И это вполне объяснимо: информация о здоровье людей считается одной из самых ценных, так как ее могут приобретать другие преступники (например, мошенники, предлагающие «уникальные» методы лечения для безнадежно больных пациентов), недобросовестные медицинские организации и т.д. Согласно [3], данные о здоровье граждан относятся к особой категории персональных данных. Уровень безопасности информационной системы персональных данных (ИСПДн), обрабатывающей такие особые категории персональных данных, должен быть не ниже третьего уровня [3].

По указанию ФСТЭК в соответствии с 21 приказом, для ИСПДн третьего уровня необходимо реализовывать все меры по анализу безопасности (за исключением АНЗ.5 для третьего уровня) [4].

Таким образом, медицинским учреждениям особенно важно проводить анализ уровня защищенности. В этом случае использование автоматизированных засекреченных облачных инструментов может оказаться выгодным, что позволит сэкономить средства, которые можно было бы затратить на другие методы анализа защищенности информационных систем.

Подводя итог вышеизложенному, указанные методы могут быть использованы для соответствия требованиям регулирующего органа, однако, учитывая, что многое находится в процессе совершенствования, а сбор информации ограничен, рекомендуется не полагаться только на методы анализа защищенности на основе открытых источников (АЗООИ) как единственно верные.

Литература

1. Актуальные киберугрозы: итоги 2022 года [Электронный ресурс] // Positive Technologies: URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2022/#id9> (дата обращения: 21.09.2023)
2. Приказ ФСТЭК России от 11.02.2013 N 17 (ред. от 28.05.2019) «Об утверждении Требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» [Электронный ресурс] // URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_147084/ (дата обращения: 22.09.2023)
3. Постановление Правительства РФ от 01.11.2012 N 1119 «Об утверждении требований к защите

персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» [Электронный ресурс] // URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_137356/ (дата обращения: 22.09.2023)

4. Приказ ФСТЭК России от 18.02.2013 N 21 (ред. от 14.05.2020) «Об утверждении Составы и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» [Электронный ресурс] // URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_146520/ (дата обращения: 22.09.2023)

Е.И. Рысина, к. т. н.; Д.Г. Пыркова студ.

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

УСЛУГИ И ТРЕБОВАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ УСПЕШНОГО РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Стремительное развитие Интернета привело к появлению новых услуг, приложений и технологий, особенно информационно-коммуникационных, которые оказывают значительное влияние на всех людей. Сегодня электронные услуги широко внедряются в образовательную среду, которая в полной мере раскрыла свой новый потенциал средств обучения с помощью веб-приложений. Развитие электронного обучения привело к появлению нового способа обучения и предоставило всем желающим равные шансы и возможности стать учащимися. Электронное обучение гарантирует обмен информацией для обучения и создает взаимодействие между учащимися и преподавателями независимо от времени и пространства [1]. Под электронным обучением понимается предоставление образовательных, учебных и тренировочных программ с помощью электронных средств, включая использование компьютеров и электронных устройств в любой форме для предоставления учебных, образовательных и тренировочных материалов [2]. Однако инфраструктура дистанционного обучения (ДО) в основном основана на использовании Интернет-платформы, которая становится местом проведения множества нелегитимных мероприятий и действий, и инфраструктура электронного обучения фактически подвергается множеству опасностей. Более того, некоторые платформы электронного обучения реализуются без учета некоторых аспектов безопасности. Эти угрозы характеризуются не только возможностью хищения информации и искажения массивов данных активными хакерскими группами, но и действиями людей, которые преднамеренно, злонамеренно или случайно повреждают программное обеспечение или внедряют вредоносные вирусы. Сегодня информация подвергается все большему числу и разнообразию угроз и уязвимостей. Информация должна быть защищена, чтобы избежать потери конфиденциальности, целостности и доступности. Существуют три области безопасности: аппаратная безопасность, информационная безопасность и безопасность управления. Первая область включает в себя все аспекты физической безопасности и дивергенции. Вторая область - компьютерная и коммуникационная безопасность. Последняя область связана с тем, что люди склонны пренебрегать техническими решениями, причем на этот аспект безопасности влияют человеческая и операционная безопасность. При этом необходимо учитывать и многие другие важные требования, такие как

секретность, целостность, доступность, отказоустойчивость и обнаружение вторжений. Рассмотрим основные угрозы и методы защиты на примере бизнес-процесса дистанционного обучения (рис 1-3)

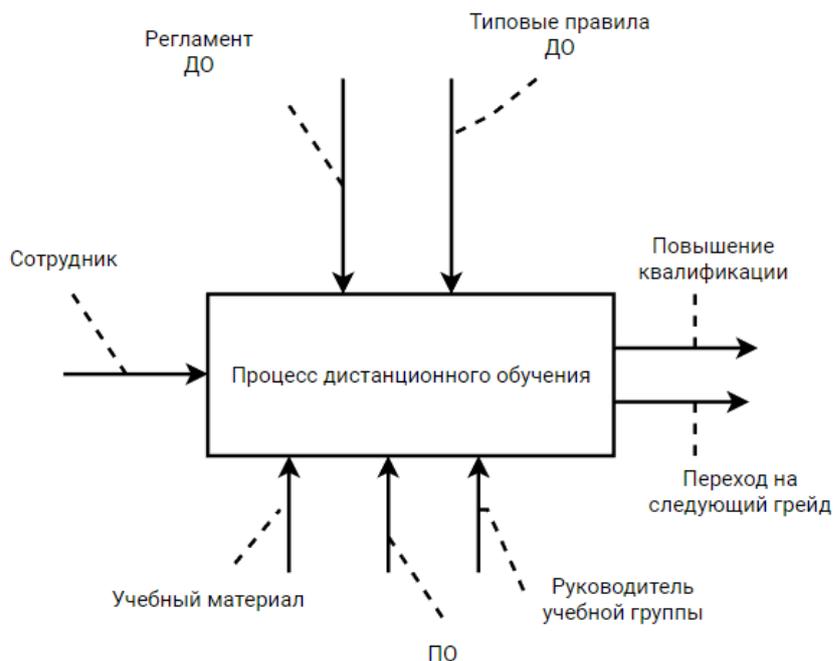


Рисунок 3-Контекстная диаграмма процесса

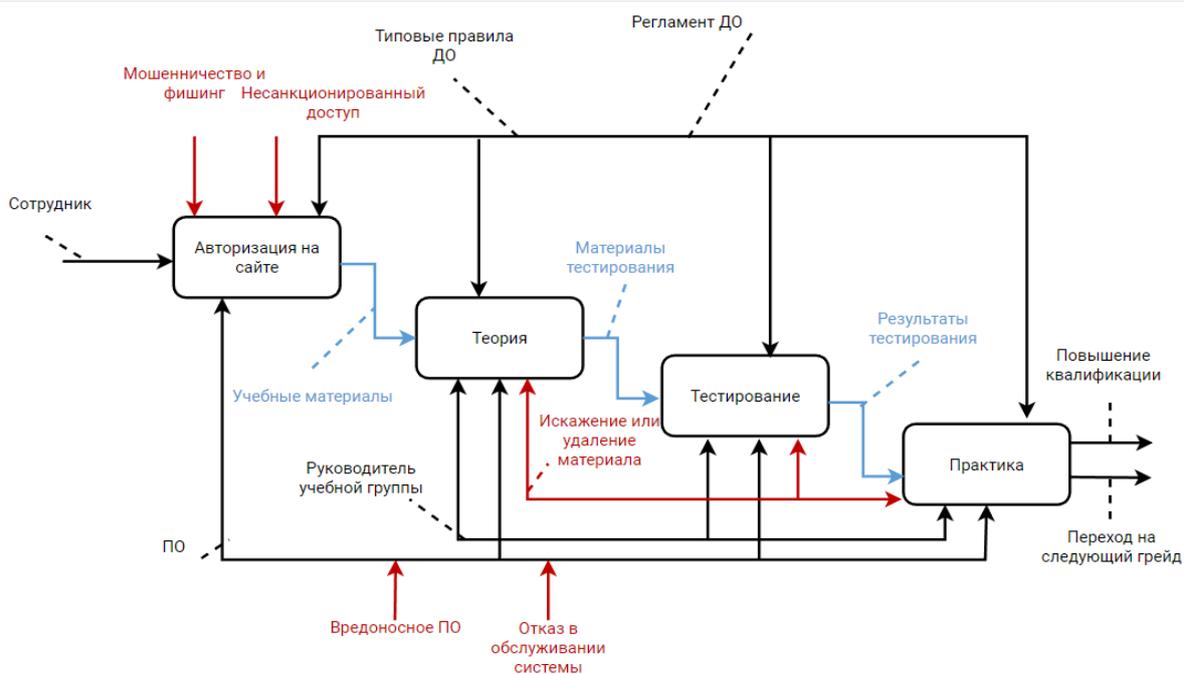


Рисунок 2-Диаграмма декомпозиции процесса с угрозами ИБ

В ходе анализа были выявлены такие угрозы информационной безопасности как: вредоносное ПО, отказ в обслуживании ПО, искажение или

удаление материалов, несанкционированный доступ к сайту, мошенничество и фишинг. Хотя основные подходы и методы к обеспечению безопасности в данном случае можно рассматривать как важный вклад в развитие среды электронного обучения, но для реализации расширенных функций безопасности они не гарантируют надежную защиту. Для этого могут быть исследованы и другие расширения этих работ. Например, когда информационная безопасность достигается с помощью соответствующего набора задач контроля, известного как управление информационной безопасностью (ISM).

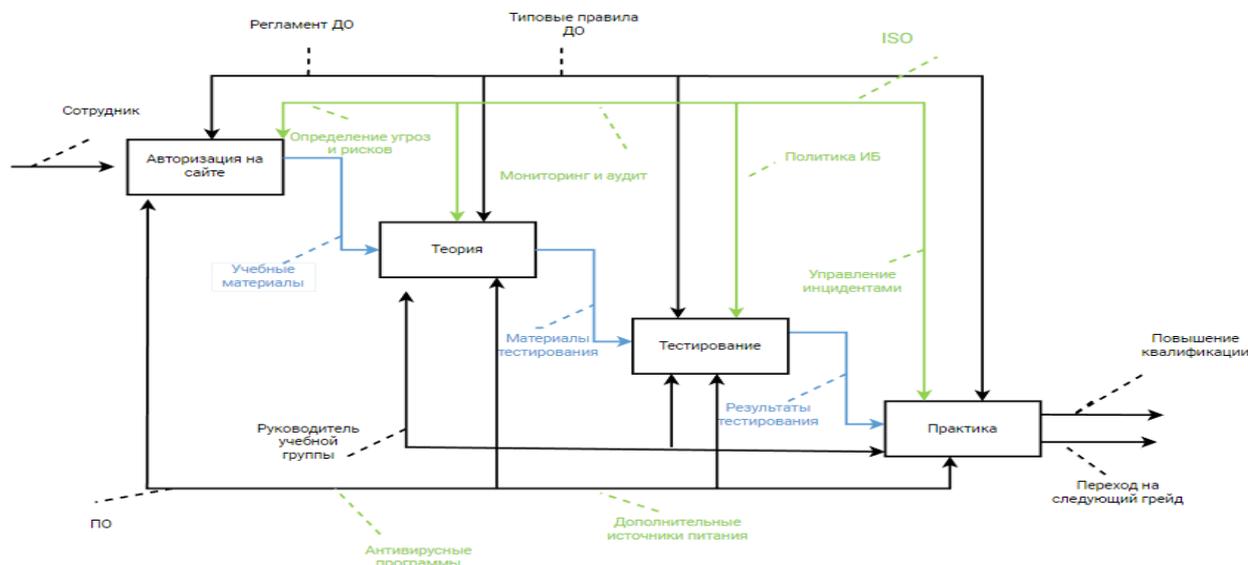


Рисунок 3-Диаграмма декомпозиции процесса с методом защиты ISO

ISM (Information Security Management) – это система управления информационной безопасностью, которая включает в себя процессы, политики, процедуры и меры безопасности, необходимые для обеспечения конфиденциальности, целостности и доступности информации в системе дистанционного обучения. ISM включает следующие шаги:

1. Определение и классификация информации.
2. Определение угроз и рисков.
3. Разработка политик и процедур безопасности.
4. Реализация мер безопасности.
5. Мониторинг и аудит безопасности.
6. Обучение пользователей.
7. Управление инцидентами безопасности.
8. Постоянное совершенствование.

Таким образом, в результате анализа, можно сделать вывод о том, что ISM является единственным реальным примером построения инфраструктуры эффективной архитектуры безопасности, которая может соответствовать текущему состоянию и растущим угрозам информационной безопасности. Поэтому для электронного обучения необходима специальная структура ISM,

которая может быть использована в качестве руководства для помощи платформам электронного обучения в управлении информационной безопасностью электронного обучения. Эта структура учитывает контекст электронного обучения и, соответственно, включает в себя соответствующие функции в рамках электронных сервисов. При разработке структуры необходимо учитывать необходимые услуги и требования. Для обеспечения успешной реализации предлагаемой концепции необходимо провести дополнительное исследование, связанное с выявлением угроз и инцидентов, связанных с атаками на электронное обучение. Концепция ISM содержит множество подробных сведений о процессе, политике, организационных структурах, процедурах, аппаратных и программных функциях для повышения эффективности обеспечения безопасности. Управление безопасностью является важной частью всей защищенной системы. Система, в которой невозможно управлять безопасностью, не является безопасной, какими бы совершенными ни были предлагаемые средства управления. Более того, на основе использования ISM пользователи получают преимущества от использования защищенной платформы электронного обучения, повышают свою приемлемость и успешность электронного обучения.

Литература:

1. Требования к информационной безопасности. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://searchinform.ru/informatsionnaya-bezopasnost/osnovy-ib/osnovnye-aspekty-informatsionnoj-bezopasnosti/trebovaniya-k-informatsionnoj-bezopasnosti/> (Дата обращения: 17.09.2023)
2. Правила по осуществлению информационной безопасности на рабочем мест. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ca.kontur.ru/faq/teh/pravila-obespecheniya-informacionnoy-bezopasnosti/> (Дата обращения 17.09.2023).

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ

Использование информационных технологий (ИТ) в современном мире можно встретить почти в каждой отрасли, исключение не составила и область здравоохранения. Исследования современного времени оказали значительное влияние на создание новых методик организации медицинской помощи в нашей стране. В 21 веке специалисты в области здравоохранения могут оказывать помощь своим пациентам удаленно, а также обмениваться информацией о врачебных случаях со своими коллегами, более того следить за проведением операции можно теперь в режиме реального времени. Благодаря информационным технологиям, успешно внедряемым в медицинскую сферу, значительно повысилось качество оказываемых услуг, ускорилась работа сотрудников больниц, а также значительно снизились расходы на медицинское обслуживание пациентов. ИТ в здравоохранении помогают клиникам решать такие задачи, как: регистрация пациентов; удаленное наблюдение за состоянием жителей; передача результатов анализов; удаленное обучение медицинского персонала.

К преимуществам внедрения ИТ в область здравоохранения можно отнести:

- возможность на ранних стадиях диагностировать различные заболевания;
- при помощи видеосвязи врачи могут проводить консультации с пациентами находясь на большом расстоянии друг от друга;
- вмешательство роботов в проведение хирургических операций (робот Da Vinci);
- пациенты, посещение которых запрещено, имеют возможность общаться с родными при помощи ИТ технологий;
- сокращение времени ожидания приема;
- изобретение подручных способов контроля собственного здоровья (смарт-часы, фитнес браслеты);
- лечение многих заболеваний (легких психических расстройств) без применения лекарств;
- создание электронных медицинских карт, доступ к которым имеет как пациент, так и врач.

Однако, существуют и недостатки внедрения ИТ в сферу здравоохранения:

- не исключены врачебные ошибки, поскольку при дистанционном общении можно упустить из виду симптомы;
- проблема безопасности передаваемых данных;
- не в каждом регионе страны люди имеют непрерывный доступ к сети Интернет;
- недостаточная информационная грамотность населения;
- использование рецептов, выписанных во время онлайн-консультаций.

Наиболее популярные существующие медицинские информационные системы (МИС) представлены в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Популярные МИС в современном мире

МИС	Достоинства	Недостатки
«Барс. Здравоохранение»	<ul style="list-style-type: none"> ▪ существует определенная система регистрации и учета пациентов; ▪ создание электронных медицинских карт пациентов; ▪ электронный учет используемых медикаментов; ▪ персонализированный доступ к БД с клиентами, тем самым осуществляется контроль за безопасностью данных; ▪ создание отчетов. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ отсутствует поддержка принятия решения врача; ▪ не предусмотрено внесение изменений в персональные данные клиентов; ▪ нет возможности записи на прием к нескольким врачам одновременно.
«Медик+»	<ul style="list-style-type: none"> ▪ составление индивидуального расписания приема каждого врача; ▪ возможность введения в базу новых клиентов и изменение их персональных данных; ▪ учет посещений клиники 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ не всегда эффективно работает онлайн запись на прием ко врачу; ▪ нет строгой конфиденциальности персональных данных.

МИС	Достоинства	Недостатки
	<p>каждого пациента;</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ возможность записаться на прием ко врачу онлайн; ▪ создание электронной медицинской карты пациента. 	
«ИС: Управление медицинским центром»	<ul style="list-style-type: none"> ▪ возможность регистрации и учета пациентов; ▪ возможность внесения изменений в персональные данные пациентов; ▪ учет перечня услуг, оказываемых населению; ▪ создание индивидуального графика работы каждого специалиста; ▪ возможность создания кассы на базе данной системы; ▪ контроль за количеством рабочих часов сотрудников клиники; ▪ самостоятельный расчет заработной платы. ▪ строгая конфиденциальность персональных данных клиентов. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ невозможность расширенного ведения электронной медицинской карты; ▪ нет определенных шаблонов заполнения данных для персонала.
Единая государственная информационная система в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ попытка создания единой системы базы данных всех существующих клиник; ▪ возможность непосредственной регистрации и учета пациентов прямо в данной системе; ▪ полная конфиденциальность персональных данных; ▪ запись медицинских назначений; ▪ создание электронной медицинской книжки; ▪ полный перечень оказанных услуг конкретному пациенту; ▪ все возможные удобства для создания отчетности. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ нет единого стандарта для всех клиник, поэтому интегрируя данные необходимо будет самостоятельно проверять полученную информацию; ▪ требующая обновление система; ▪ возможность внедрения только в крупных регионах и городах федерального значения.

Таким образом, анализируя данные представленной таблицы, можно сделать вывод о том, что на данный момент в современном мире популярной и наиболее эффективной МИС является система ЕГИСЗ. Однако, она также как и остальные требует обновлений и оптимизаций, из-за существующих недостатков.

Поскольку технологии продолжают развиваться, существует множество

потенциальных перспективных направлений развития внедрения ИТ в медицину:

– улучшение результатов лечения пациентов: благодаря использованию таких технологий, как электронные медицинские карты и инструменты поддержки принятия клинических решений, поставщики медицинских услуг могут принимать более обоснованные решения об уходе за пациентами, что приводит к лучшим результатам.

– повышение эффективности. Информационные технологии могут упростить процессы и снизить административную нагрузку, позволяя поставщикам медицинских услуг больше сосредоточиться на уходе за пациентами.

– лучшее управление данными. Электронные медицинские карты и другие инструменты управления данными могут повысить точность и полноту данных о пациентах, облегчая поставщикам медицинских услуг принятие обоснованных решений.

– удаленный мониторинг. Телемедицина и носимые устройства позволяют осуществлять удаленный мониторинг пациентов, что может помочь выявить потенциальные проблемы со здоровьем на ранней стадии и предотвратить госпитализацию.

– персонализированная медицина. Имея доступ к более полным данным о пациентах, поставщики медицинских услуг могут разрабатывать более персонализированные планы лечения, адаптированные к уникальным потребностям каждого человека

– создание экзоскелетов, при помощи которых у парализованных людей появится возможность передвигаться;

– создание генов, которые будут стойкими ко всем существующим в современном мире вирусам.

Таким образом, следует отметить, что использование ИТ в здравоохранении может революционизировать подход к оказанию медицинской помощи и улучшить результаты лечения пациентов. Однако, существует ряд недостатков, внедрения ИТ в медицину, которые нуждаются в изучении. Для наиболее плавного перехода к новейшим технологиям в современном мире необходим регулярный анализ разработок и внедрения ИТ в медицину.

Литература

1. Каткова И.П. Российское здравоохранение в контексте задач достижения всеобщей доступности услуг здравоохранения к 2030 году// Народонаселение. 2020. № 1. С.130-147.

2. Корчагин Егор Евгеньевич, Гордеева Наталья Владимировна, Демко Ирина Владимировна, Соловьева Ирина Анатольевна, Крапошина Ангелина Юрьевна, Мамаева Марина Геннадьевна, Вербицкая Елена Александровна Использование информационных систем в здравоохранении // Сибирское медицинское обозрение. 2019. №3 (117). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-informatsionnyh-sistem-v-zdravoohranenii> (дата обращения: 12.10.2023).

ПЕРСПЕКТИВЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-ПЕЧАТИ

Аддитивные технологии (АТ) являются одним из распространённых инструментов, активно используемых в различных отраслях производства.

С 1980-х годов популярны методы аддитивного производства (Additive Manufacturing, АП) – методика изготовления деталей, при которой изделия послойно собираются на основе моделей, созданных в системах автоматизированного проектирования. В качестве исходного сырья используются комбинированные материалы, состоящие из мелкодисперсных порошков: пластмасс, фотополимерных смол, гипса, восков, различных металлов и сплавов. На основе разработок моделей, 3D-принтер распределяет материалы по производственной платформе, где они послойно сплавляются с помощью лазера. Этот процесс называется технологией селективного лазерного сплавления или L-PBF (Laser Powder Bed Fusion).

3D-печать используется для изготовления прототипов изделий. Модели могут использоваться для оценки функциональности и устранения различных дефектов до запуска изделия в серийное производство.

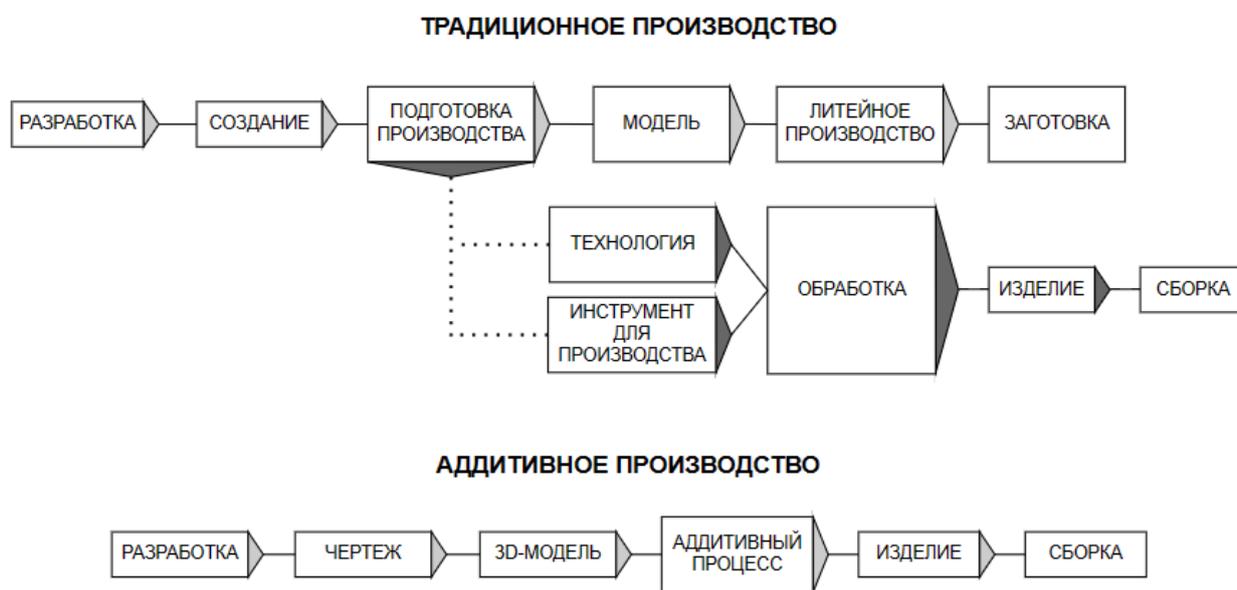


Рисунок 1 – Сравнение традиционного и аддитивного производства.

Большинство изделий изготавливается с использованием традиционных производственных процессов, таких как литье под давлением, обработка на станках с ЧПУ, литье в песчаные формы. Производственные линии изготавливают большие партии продукции с помощью пресс-форм – эффективного способа организации массового производства.

Аддитивные технологии, являясь одним из направлений цифрового производства, представляют собой инструмент для ускорения исследований, разработок и вывода новой продукции на рынок [4].

Методы 3D производства представляют собой революцию для инженеров и разработчиков. Главные преимущества аддитивного производства – это скорость и гибкость проектирования, которые открывают возможность для быстрого создания деталей по индивидуальному заказу [2]. Сложнейшие прототипы, основанные на 3D-моделях, могут быть разработаны за несколько недель. 3D-печать позволяет обрабатывать материалы, которые практически не поддаются традиционным методам обработки. Сырье из кобальт-хрома до появления аддитивных технологий не использовалось для создания деталей со сложной геометрией из-за его низкой текучести. Однако благодаря 3D-печати, эта проблема получила свое решение, что позволило использовать кобальт-хромовые сплавы в производстве газовых турбин, двигателей и погужных насосов для добычи нефти.

Аддитивные технологии открывают возможности в сфере производства компонентов и запасных частей для бытовой техники, электронных устройств, промышленного оборудования. Примером является, когда в учреждении происходит поломка детали принтера. Такую проблему можно решить с применением аддитивных технологий. Благодаря этому инновационному подходу необходимые детали могут быть изготовлены непосредственно на месте производства. При наличии поврежденной детали, можно создать 3D-модель и изготовить аналог при помощи 3D-печати. Таким образом, аддитивное производство позволяет значительно продлить срок службы оборудования и деталей. Кроме того, аддитивное модульное моделирование позволяет создавать новые, уникальные формы деталей, которые крайне сложно изготовить с использованием традиционных методов. Аддитивные технологии являются неотъемлемой частью производства и предоставляют множество возможностей для инноваций в различных отраслях промышленности.

Процесс 3D-производства становится все более экологичным, поскольку оказывает меньшее негативное воздействие на окружающую среду. Если при традиционном производстве более 70% материала может быть отсечено в процессе изготовления детали, то при аддитивном производстве отходов практически нет, поскольку материал печатается слой за слоем.

Использование аддитивных технологий позволяет делать детали более легкими, сохраняя при этом все их полезные функции. Это свойство нашло широкое применение в авиационной и аэрокосмической отрасли. Согласно исследованию «Влияние аддитивного производства металлов на окружающую среду», проведенному компанией Green Trade, каждый фунт сокращения массы деталей позволяет сэкономить от 134 до 200 гигаджоулей топливной энергии в течение 30 лет эксплуатации самолета. Ставя в основу многочисленные исследования, авторы работы пришли к выводу, что замена 9-17% общей массы самолета на легкие многослойные компоненты из сплавов алюминия, никеля,

титана и стали может привести к уменьшению выбросов углекислого газа на 92-215 миллионов метрических тонн в течение ближайших 30 лет.

Помимо очевидных преимуществ, важно помнить и о потенциальной проблематике данного метода.

На пути развития и промышленного применения аддитивных технологий существует множество препятствий. 3D-печать подходит для небольшого по размеру и объему производства продукции, однако при увеличении габаритов изделия или вывода продукции в серийное производство, цена на комбинированные материалы и необходимые запчасти становится не просто проблемой, а непреодолимым препятствием. Вдобавок, размер изделия зависит от модели 3D-принтера – он может производить только те изделия, которые помещаются в его область печати. Если требуется изделие большего размера, то необходимо новое оборудование для 3D-производства [3].

Использование технологии 3D-производства может потенциально представлять угрозу для здоровья человека. Опасность представляет комбинированный материал, из которого изготовлены изделия. Производство 3D-печати на FDM-принтерах широко использует компоненты ABS (акрилонитрил-бутадиен-стирол), PLA (полилактид), PETG (полиэтилентерефталат-гликоль). Первый материал содержит токсичные и термостойкие вещества, такие как акрилонитрил, бутадиен и стирол, что может представлять угрозу для здоровья человека при попадании частиц в легкие. При длительном воздействии эти вещества могут вызвать острую головную боль, а также повредить органы, включая печень, почки и кровеносную систему. Кроме того, существует риск формирования раковых клеток. Второй материал, PLA, является биоразлагаемым и производится из натуральных компонентов. При использовании в производственных целях PLA материалов наблюдается выброс более 20 миллиардов невидимых частиц в минуту, в то время как при печати с использованием ABS-пластика этот уровень загрязнения достигает примерно 200 миллиардов частиц. Это сравнимо с выбросами при сжигании природного газа. Третий материал представляет собой более гибкую альтернативу PLA, обладающую химической стойкостью. Более того, он не является токсичным, эффективно блокирует проникновение влаги, а отличная адгезия PETG-пластика гарантирует минимальный риск деформации и расслоения изделий.

Если говорить про использование металлосодержащих компонентов в 3D-печати, то их воздействие на человека представляет не меньшую угрозу, чем пластиковые материалы. Данное сырье представляет собой мелкий порошок из гранул размером от 0,1 до 63 мкм, которые могут легко проникнуть в легкие человека при вдохе. Именно поэтому работа с материалами, используемыми в аддитивном производстве, должна проводиться квалифицированными специалистами с соблюдением всех правил техники безопасности и с использованием защитных масок.

Производственные задачи, связанные с аддитивными технологиями, являются очень трудоемкими.

Главное направление развития 3D производства заключается в расширении области применения данных технологий. Это обусловлено тем, что инновационные методы, внедряемые в промышленность, требуют времени для адаптации и с большей инерцией приводят к изменениям в технологии создания новых изделий.

В сфере 3D-печати ежегодно наблюдается возрастающая конкуренция между компаниями. В существенной мере прогресс в развитии 3D технологий был обеспечен заслугой китайских предприятий, предлагающих множество вариантов как любительского, так и промышленного оборудования для широкого круга потребителей. Ведущие производства в области 3D-технологий размещаются в Северной Америке, Европе и Азиатско-Тихоокеанском регионе. Европа занимает ведущую позицию в производстве металлических изделий, в то время как Северная и Южная Америка являются лидерами в производстве пластиковых.

В свободно-распространённых источниках была получена следующая информация. С 2021 года аддитивные технологии в России получили активную поддержку от правительства, научного сообщества и представителей производственного сектора. В соответствии с разработанной Правительством РФ стратегией, к 2030 году в стране планируется открыть 180 центров аддитивного производства – о чем сообщила президент Топливной компании «Росатома» в рамках форума «Аддитивные технологии. Расширяя горизонты». В настоящее время в России уже функционируют около 20 предприятий, занимающихся производством комбинированных порошковых материалов для 3D-печати. Среди наиболее значимых из них можно выделить компании «Лузар» и Институт авиационно-космических материалов. Большой вклад в развитие и продвижение аддитивных технологий внесли также корпорации «Росатом» и «Роскосмос», благодаря которым 3D-моделирование и 3D-печать активно применяют в областях атомной энергетики, машиностроения, авиации и космической промышленности.

В заключение следует отметить, что аддитивные технологии находят широкое применение в различных областях, таких как производство, медицина, электроника, дизайн, архитектура и искусство. Регулярные инновации в области аддитивного производства стимулируют внедрение 3D-печати предпринимателями и любителями, а также создают возможности для коммерциализации устройств среднего класса, которые обладают характеристиками, сравнимыми с промышленными системами.

Таким образом, в недалеком будущем аддитивные технологии могут стать одной из ведущих отраслей промышленности. Они идеально подходят для быстрого создания прототипов, поскольку внесение изменений в конструкцию возможно на любом этапе создания изделия. Кроме того, использование таких технологий может существенно снизить количество производственных отходов. Еще одним преимуществом 3D технологий является возможность создания

комплексных изделий, состоящих из нескольких деталей, как единого целого, что обеспечивает долгий срок эксплуатации готового продукта.

Литература

1. Валетов В. А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы). Учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2015, – 63с.
2. Бугаев И.В. Перспективы и тенденции развития аддитивных технологий: сборник трудов конференции. // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 11 дек. 2016 г.). В 2 т. Т. 2 / редкол.: О.Н. Широков [и др.] – Чебоксары: Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2016. – Т. 2. – С. 22-25.
3. Рынок технологий 3D-печати в России и мире: перспективы внедрения аддитивных технологий в производство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rynok-tekhnologiy-3d-pechati-v-rossii-i-mire-perspektivy-vnedreniya-additivnykh-tekhnologiy-v-proizv/?ysclid=lmz8xu3su300281913> (Дата обращения: 29.09.2023).
4. Аддитивное и традиционное производство: друзья или враги? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=22635 (Дата обращения: 29.09.2023).

В.П. Фомченков, к.т.н., доц.

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

КРИПТОГРАФИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ДАННЫХ В БЕСПЛАТНЫХ ОБЛАЧНЫХ ХРАНИЛИЩАХ

Популяризация облачных сервисов начиналась с широкого распространения *облачных хранилищ данных (cloud storage)*, предоставляющих клиентам сервис удаленного хранения файлов на серверах, расположенных в глобальных сетях. Распределенное размещение информации в таких хранилищах имеет ряд положительных моментов по сравнению с традиционными структурами, организованными на базе своих или арендуемых серверов, в частности снижаются требования к квалификации в области информационных технологий сотрудников, пользующихся данным сервисом; отсутствует необходимость в создании и содержании соответствующей инфраструктуры; повышается актуальность информация, она, в случае наличия доступа в сеть Интернет, становится доступна в «любое время, в любом месте»; руководство компании в значительной степени освобождается от необходимости выделения ресурсов на выполнение требований законодательства в области защиты информации, в том числе и персональных данных.

Лидерами этого сегмента рынка являются Google.Drive (Google.Диск), OneDrive, Dropbox, среди отечественных компаний выделяются Облако Mail.ru и Яндекс Диск. Несмотря на то, что часть иностранных вендоров сохранили своё присутствие на рынке нашей страны, следует отметить, что использование в России хранилищ компаний из недружественных стран несет определенную долю риска, известны случаи, когда частные лица одномоментно, без предупреждения теряли доступ к своим файловым архивам, который им предоставляли менее известные иностранные компании.

Сервис облачных хранилищ может быть предоставлен как на платной основе, так и бесплатно. Наибольшее распространение получили, что вполне

естественно, бесплатные облачные хранилища. Перечень основных сервисов, которые предоставляются бесплатно, выглядит довольно внушительно.

1. Прежде всего, это предоставление пространства на диске для хранения разнообразных данных пользователя, которое структурируется привычным для него способом, в виде системы папок и файлов. Файлы могут храниться любых форматов и типов, единственное ограничение – максимально допустимый объем файла.

2. Стандартный набор операций, который позволяет создавать и изменять эту структуру (создание, удаление, переименование папок и т.д.).

3. Средства загрузки и скачивания файлов.

4. Получение ссылок для скачивания файлов за пределами клиента облачного хранилища средствами браузеров.

5. Средства синхронизации, которые позволяют поддерживать актуальность данных, хранящихся в облаке и на персональных устройствах пользователя, как стационарных (домашний компьютер, ноутбук), так и мобильных (планшет, смартфон).

6. Предоставление возможности просмотра файлов различных типов, количество которых достаточно сильно разнится в зависимости от функционала бесплатного пакета того или иного поставщика услуг облачного хранения.

7. Защита данных от несанкционированного просмотра и использования стандартным для свободных серверов механизмом идентификации и аутентификации на основе схемы идентификатор пользователя (логин) / пароль.

Среди представленного перечня возможностей, предоставляемых бесплатными облачными хранилищами, отсутствует защита хранимой информации путем её шифрования. Вместе с тем решение этой проблемы является важной и актуальной задачей. Многие эксперты сходятся во мнении, что одним из основных препятствий, сдерживающих развитие облачных технологий, в том числе в России, является решение вопросов обеспечения информационной безопасности [1].

Криптографическую защиту хранимой в облаке информации, даже на платной основе предоставляют далеко не все лидеры рынка облачных технологий, отдавая её на откуп сторонним разработчикам. Причем разработки сторонних производителей помимо средств криптографической защиты предоставляют ещё и дополнительные возможности, связанные с контролем хранимого контента, управлением разрешением работы с файлами по их типам, размерам, формату данных и ролям пользователей. Что, несомненно, актуально для корпоративных облачных хранилищ, но для персонального использования представляется избыточным.

Компания VoxelCryptor предлагает решения, работающие с хранилищами Google.Drive, OneDrive, Dropbox. Однако в настоящее время использование продукции иностранных компаний в области защиты информации нецелесообразно даже для частных целей, тем более что с сайта компании удалена русская страничка. Среди российских разработок можно выделить линейку продуктов «Защищенная мобильность» известной российской

компании «Крипто-Про», предоставляющую в том числе возможность сотрудникам, находящимся вне офиса, получать доступ с мобильных устройств к документам, находящимся на хранении в облачных файловых библиотеках.

Между тем такой сервис представляется совсем не лишним и для бесплатных облачных хранилищ. Несмотря на то, что доступ к данным, хранимым в облаке, защищен не хуже, чем доступ, например, к почтовому ящику или странице в социальной сети, всегда есть риск их несанкционированного просмотра и использования. Конечно, бесплатные облегченные решения для защиты только личных файлов предлагают и разработчики платных систем, однако в этом случае вы получаете возможность работать, как правило, только с одним облачным хранилищем. Для персонального применения выход может быть найден в создании простых средств, использующих несложные, но вместе с тем достаточно эффективные для заявленных целей алгоритмы шифрования. Рассмотрим пример реализации одного из таких алгоритмов – шифрование с использованием генератора псевдослучайных чисел.

Шифрование с использованием генератора псевдослучайных чисел относится к симметричным поточным шифрам [2]. Примерами классических поточных шифров являются шифры Виженера (с автоматическим выбором ключа) и Вернама.

В поточных шифрах на основе ключа шифрования происходит формирование так называемой *гаммы шифра* (или *ключевой последовательности*), которая представляет собой последовательность псевдослучайных чисел в двоичной форме.

Процесс зашифровывания открытого текста заключается в наложении (*гаммировании*) гаммы шифра на текст сообщения. Как правило, гаммирование заключается в том, что знаки открытого текста суммируются по модулю 2 со знаками ключевой последовательности (гаммы).

Знаки – это или отдельные биты или байты (символы), на которые разбиваются сообщения, или которые представляют собой непрерывные потоки данных (сетевой трафик, голос, видео и т.д.)

Закрытый текст формируются в процессе зашифровывания по следующему уравнению:

$$c_i = m_i \oplus T_i \text{ для } i=1,2,3... ,$$

где c_i - знак зашифрованного (закрытого) текста, T_i - знак гаммы, m_i - знак открытого текста.

Обратный процесс расшифровывания заключается в том, что сформированная по тому же алгоритму с использованием того же ключа шифрования, гамма накладывается по модулю 2 на зашифрованный закрытый текст.

Соответственно уравнение обратного процесса – расшифрования имеет вид:

$$m_i = c_i \oplus T_i \text{ для } i=1,2,3...$$

На рисунке 1 представлена схема шифра в общем виде.

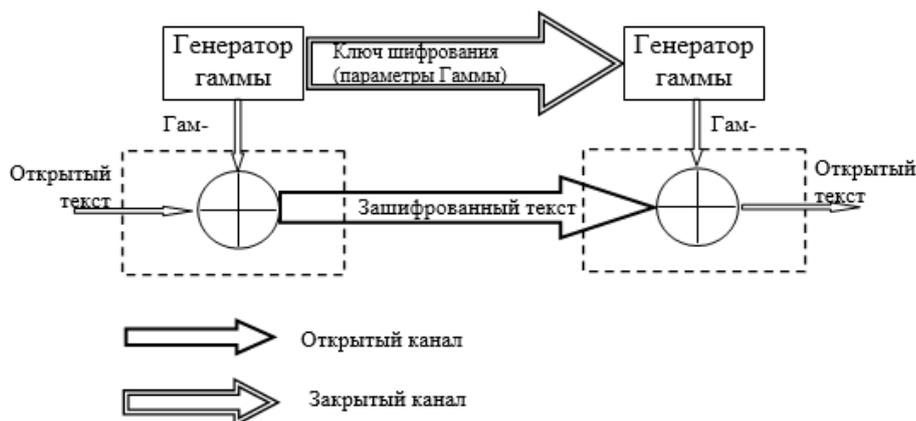


Рисунок 1 – Схема шифрования с использованием генератора гаммы на основе генератора псевдослучайных чисел

Предлагается следующая реализация алгоритма шифрования. В качестве примеров представлены фрагменты программного кода на языке Object Pascal, используемом в среде программирования Delphi.

1. Символам, передаваемым по открытому каналу, сопоставить числа, например, в виде одномерного массива.

```
CONST
K=33;
st:          array          [0..K-1]          of
char=('a','б','в','г','д','е','ж','з','и',
'й','к','л','м','н','о','п','р','с','т','у','ф','х','
ц','ч','ш','щ','ъ','ы','ь','э','ю','я',' ');
```

Каждый символ незашифрованного текста извлекается при помощи функции `copy()`:

```
VAR
tok,tzk:string; {соответственно незашифрованный и за-
шифрованный текст}
toks,tzks: string[1]; {очередные символы открытого и
зашифрованного текста}
toks:=copy(tok,i,1);
```

В свою очередь для организации цикла потребуется знание длины шифруемого текста, определить которую можно следующим образом:

```
VAR
ltok:integer; {длина открытого текста}
...
ltok:=length(tok);
```

И наконец, чтобы поставить в соответствие очередному символу число из массива, следует найти в нём соответствующий символ и запомнить его номер как индекс массива.

```
VAR
```

ktoks, ktzks :integer; {числа, соответствующие символам открытого и закрытого текста}

...

for j:=0 to K-1 do if st[j]=toks then ktoks:=j;

2. Сформировать гамму генератора шифра.

CONST

G0=3; D=5; M=32 ; E=9; {G0 – порождающее число, D, E, M – константы}

VAR

Gi:longint; {Gi – псевдослучайное число}

...

*Gi:=(D*Gi+E) mod M;*

3. Получить число, соответствующее символу, передаваемому по закрытому каналу как сумму числа, соответствующего символу открытого текста, с гаммой шифра.

ktzks:=(ktoks + Gi) mod K; {Цикл шифрования}

4. Сформировать зашифрованный текст.

tzks:=st[ktzks];

tzk:=tzk+tzks;

Далее рассмотрим алгоритм расшифрования, – преобразования закрытого текста в исходный, открытый текст.

1. Сформировать гамму генератора шифра.

*G(i) = (D*G(i-1)+E) mod M.*

2. Определить числовые значения символов исходного текста.

$$\begin{cases} ktoks_i = ktzks_i - G(i), & \text{если } ktzks_i - G(i) \geq 0 \\ ktoks_i = ktzks_i - G(i) + K, & \text{если } ktzks_i - G(i) < 0 \end{cases}$$

3. Сформировать открытый текст, поставив в соответствие полученным в пункте 2 числам символы по массиву соответствия *st*.

Предлагаемое решение просто в реализации, не предъявляет высоких требований к аппаратной конфигурации компьютера, позволяет с достаточным уровнем быстродействия реализовать криптографическую защиту хранимых на бесплатных облачных сервисах файлов.

Литература

1. Беляков И. 4 риска при использовании облачных сервисов. // WWW.SECUTECK.RU: официальный сайт проекта «Системы безопасности» российского издательского дома ООО "Гротек". URL: <https://www.secuteck.ru/articles/4-riska-pri-ispolzovanii-oblachnyh-servisov/> (дата публикации 23.12.21, дата обращения 02.10.23).

2. Столлингс, Вильям. Криптография и защита сетей: принципы и практика, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001.– 672 с.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

1. *Андреенков Е.С., Мартынов А.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ДО 1 кВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMINTECH* 3
2. *Андреенков Е.С., Питерский Н.С. К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С УПРАВЛЕНИЕМ ПРИ ОТКАЗАХ* 6
3. *Андреенков Е.С., Скорубский В.Е., Шунаев С.А. ПРОБЛЕМА КОНТРОЛЯ ЗА СОБЛЮДЕНИЕМ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ КОЭФФИЦИЕНТА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6(10) кВ* 11
4. *Арисов Л.Г., Арисов С.Г., Воинов О.А. УСТРОЙСТВО КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА* 15
5. *Вайтеленок Л.В. УЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАМАГНИЧИВАНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА* 19
6. *Дубровская Т.И., Петров В.С., Ерашова А.И. АНАЛИЗ РАЗРАБОТОК ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ* 25
7. *Кислякова Е.В., Кисляков М.А., Чернов В.А. АНАЛИЗ РАСТВОРЕННЫХ В МАСЛЕ ГАЗОВ КАК БАЗОВЫЙ МЕТОД СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ИЗОЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСФОРМАТОРА* 28
8. *Мартынов А.О., Трушаков Р.В. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ УСТАНОВОК СЭС И ГПУ* 32
9. *Назаров А.А., Кавченков В.П. АНАЛИЗ И РАНЖИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕЖИМОМ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ* 37
10. *Солопов Р.В., Захаров В.О. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMINTECH* 40
11. *Солопов Р.В., Кавченков В.П., Соколов И.Н. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СТАНДАРТОВ ВИБРАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ* 45
12. *Шунаев С.А., Иванов Д.А., Алексеев С.Е., Лебедев К.Ю. ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ НЕЯВНОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ТВЁРДОЙ ИЗОЛЯЦИИ* 49

СЕКЦИЯ 2 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

1. Баловнев Д.И., Фролов В.С., Арчакова Е.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ НА ВИХРЕВЫЕ ТОКИ В МАГНИТЕ И ЭФФЕКТ РАЗМАГНИЧИВАНИЯ 53
2. Баловнев Д.И., Анисимов К.В. ИССЛЕДОВАНИЕ НАСТРОЕК СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА 57
3. Баловнев Д.И., Арчакова Е.С., Фролов В.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ПРОГРАММЕ ANSYS 60
4. Барышников В.А. АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ТРЕХФАЗНЫМ МОСТОВЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ В РОТОРНОЙ ЦЕПИ 63
5. Исаков Р.В., Широков М.А. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИННОВАЦИОННОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОТЕЗА 68
6. Кисляков М.А., Крутиков К.К., Рожков В.В., Федотов В.В. УЛЬТРАРАЗРЕЖЕННЫЙ ТРЕХФАЗНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ КАК САМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ 73
7. Кисляков М.А., Шулакова Д.А. АНАЛИЗ РАБОТЫ МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ПО АЛГОРИТМУ СКОЛЬЗЯЩИХ РЕЖИМОВ 78
8. Курилин С.П., Патютин А.В. ПОЛУЧЕНИЕ, ОБРАБОТКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ ДИАГНАСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ 82
9. Курилин С.П., Федотов В.В. СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА НЕОДНОРОДНОГО МАГНИТОПРОВОДА 87
10. Курилин С.П. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВИЧНОГО КРАЕВОГО ЭФФЕКТА В ЛИНЕЙНОМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕ 90
11. Ларькина Т.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЯЕМОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМЫ ТРН-АД В ПАКЕТЕ МАТЛАВ 95
12. Рожков В.В., Трофименко С.Р. АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ГОСТ ИЗ ОТЧЕТОВ В СРЕДЕ ALTIUM DESIGNER 98
13. Рожков В.В., Федотов В.В. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИДЕАЛЬНОГО ИНКРЕМЕНТАЛЬНОГО ОПТИЧЕСКОГО ЭНКОДЕРА 102
14. Рожков В.В., Федотов В.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВЫХ АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ С РАЗНЫМ ЧИСЛОМ УРОВНЕЙ 106
15. Рожков В.В., Юденков Е.Р. ВАРИАНТ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАВНЫМ ПУСКОМ ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА 111

16. *Саватеева И.С. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРО-ПРИВОДА НА ТОЧНОСТЬ РАБОТЫ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ НАТЯЖЕНИЯ* 115
17. *Чернов В.А., Шулакова Д.А., Исаенков Д.Л. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН* 119

СЕКЦИЯ 3

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

1. *Бобылёв М.Г., Куренков К.А. МАКЕТ УЗЛА УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЗДАНИЙ* 122
2. *Бобылёв М.Г., Куренков К.А. ЛАБОРАТОРНЫЙ МАКЕТ РАСХОДОМЕРА С НЕПРОИЗВОЛЬНЫМИ УТЕЧКАМИ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЗДАНИЙ* 126
3. *Галковский В.А., Бажанов А.В. АНАЛИЗ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ* 129
4. *Галковский В.А., Крюков Е.Д. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТА* 132
5. *Галковский В.А., Новикова Е.Г. АНАЛИЗ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛОГО МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ* 135
6. *Кабанова И.А., Аскаленок К.П. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СХЕМАХ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК* 139
7. *Кабанова И.А., Германов М.А. ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КИСЛОРОДА* 143
8. *Кабанова И.А., Кондудин Е.А. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ* 146
9. *Кабанова И.А., Мудрякова А.И. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ* 149
10. *Кабанова И.А., Семенкова Е.А. АНАЛИЗ РАЦИОНАЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МУРМАНСКА* 154
11. *Кабанова И.А., Сенина А.В. ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ЗДАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАСТРОЙКИ НА БАЗЕ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРА* 158
12. *Кабанова И.А., Шамплетов Р.Н. СТРУКТУРНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ТЭС* 161
13. *Леухин Ю.Л., Артюшенко Д.В. ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИКЛОННОГО МОДУЛЬНОГО РЕКУПЕРАТОРА* 166
14. *Найденов В.А. О ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ДЕФЕКТА МАСС, ЭНЕРГИИ СВЯЗИ АТОМНЫХ ЯДЕР И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВЫХОДА ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ* 169

15.	<i>Новиков Г.Ю., Новикова Е.Г. СПЕЦИФИКА ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЗДАНИЙ КУЛЬТУРНО-БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ</i>	171
16.	<i>Фокин А.М., Гришин А.Ю. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ</i>	174
17.	<i>Фокин А.М., Журавлев А.О. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА УДЕЛЬНУЮ ОТОПИТЕЛЬНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ ЗДАНИЙ</i>	176
18.	<i>Фокин А.М., Колесов Н.А. СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕПЛООВОГО РАСЧЕТА ТОА</i>	181
19.	<i>Широких Т.В. ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ В УГЛАХ ЗДАНИЙ</i>	184

СЕКЦИЯ 4

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

1.	<i>Ерохова Д.И., Вайнилович Ю.В. ОБ АКТУАЛЬНОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ И РАЗМЕРА ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ</i>	188
2.	<i>Жужгина И.А., Василькова М.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТТОКА КЛИЕНТОВ БАНКА</i>	190
3.	<i>Жужгина И.А., Голощапова А.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ИТ-КОНТРОЛЛИНГА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ДЕТСКИХ ТОВАРОВ</i>	196
4.	<i>Круглякова М.В., Зедаина А.В. ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОГО УДАЛЕННОГО ДОСТУПА К КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ</i>	199
5.	<i>Зедаина А.В., Павлова Е.А. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕГЛАМЕНТНЫХ РАБОТ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ</i>	202
6.	<i>Козлов С.В., Виноградов Т.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ ЦИФР</i>	206
7.	<i>Козлов С.В., Маслова Д.А. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОИЗВЕДЕНИЯ ВЕКТОРОВ В N-МЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SIMD-РЕГИСТРОВ</i>	209
8.	<i>Лебедева М.Ю., Дроздов Н.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ БАЗ ДАННЫХ В СТРУКТУРЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ</i>	214
9.	<i>Окунев Б.В., Голощапова А.С. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ</i>	218
10.	<i>Пучков А.Ю., Пименова А.Д. ПРИМЕНЕНИЕ ЛИЦ ЧЕРНОВА ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ</i>	221
11.	<i>Рысина Е.И., Ломакин К.А., Вителюева А.А. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОСТРОЕНИЮ ПРОЦЕССА АНАЛИЗА ЗАЩИЩЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ</i>	224

12. Рысина Е.И., Пыркова Д.Г. УСЛУГИ И ТРЕБОВАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ УСПЕШНОГО РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ 227
13. Столяренко М.А., Лебедева М.Ю. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ 230
14. Федулова А.С., Докторова Я.А., Войццкий А.С. ПЕРСПЕКТИВЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-ПЕЧАТИ 234
15. Фомченков В.П. КРИПТОГРАФИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ДАННЫХ В БЕСПЛАТНЫХ ОБЛАЧНЫХ ХРАНИЛИЩАХ 238

Научное издание

ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2023
(электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика,
математическое моделирование и информационные технологии в производстве)
Сб. трудов XIII Межд. науч.-техн. конф.
Сборник трудов в 3-х томах
Том 1

Подписано в печать 16.11.2023 г.
Формат 60x84¹/₁₆. Тираж 300 экз. Печ. л. 15,5 Усл. печ. л. 14,42.

Издательство «Универсум»
Отпечатано в издательском секторе филиала МЭИ в г. Смоленске
214013 г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

ISBN 978-5-91412-520-9

