

Министерство образования и науки Российской Федерации
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Департамент жилищно-коммунального хозяйства Белгородской области
Совет молодых ученых и специалистов Белгородской области
при Губернаторе Белгородской области
Филиал ПАО «МРСК-Центр» – «Белгородэнерго»
Белгородский институт альтернативной энергетики
Донбасский государственный технический университет, (Алчевск)
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (г. Макеевка)

**II Международная
научно-техническая
конференция**

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ**

Секция молодых ученых

Сборник трудов

(г. Белгород 23–24 ноября 2017 г.)

Белгород 2017

УДК 620.9(082)

ББК 3

Э 65

Энергетические системы. Секция молодых ученых: сб. трудов II
Э65 Междунар. науч.-техн. конф. БГТУ им В.Г. Шухова; отв. редактор
П.А. Трубаев. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 169 с.

ISBN 978-5-361-00546-1

В сборнике представлены работы, подготовленные студентами, магистрантами и аспирантами по следующим направлениям: теплоэнергетика и теплотехника; электроэнергетика и электротехника; энергетическое машиностроение; системы энергоснабжения; энергосбережение и энергоэффективность; альтернативные и возобновляемые источники энергии; экология энергетики; отопление и строительная теплофизика; энергетика, энерго и ресурсосбережение в технологиях.

Сборник предназначен для широкого круга научных и инженерных работников, а также аспирантов, магистрантов и студентов высших учебных заведений.

Издание публикуется в авторской редакции.

Конференция организована при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 17-08-20566).

УДК 620.9(082)

ББК 3

ISBN 978-5-361-00546-1

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Айметов И.О. Повышение энергоэффективности асинхронного двигателя путем изменения конструкции обмотки статора.....	8
Балашов А.А. Оптимизация схем электроснабжения предприятий с использованием пакета MathCAD.....	12
Белянский С.В., Витлинский И.Д. Применение встраиваемых подстанций в жилых застройках города на примере города Белгорода	16
Бруев С.В., Бычихин С.А. Теплотехническое и энергетическое обследование МБОУ «Дорогощанская СОШ».....	22
Бычихин С.А., Бруев С.В. Исследование эффективности датчиков движения на примере МБОУ «Смородинская СОШ».....	27
Гончаренко П.С., Свиринов М.В. Очистка уходящих газов от углекислого газа в контактно-рекуперативном теплообменнике.....	30
Гончаренко П.С., Свиринов М.В. Результаты энергоаудита МБОУ СОШ № 4 города Белгорода	35
Горягин П.Ю., Ермилов Р.А., Якимец Н.А., Севостьянова К.И. Разработка и исследование техники и технологии переработки полимерных отходов	39
Дистель С.А., Кордубайло В.В., Хребтов М.А. Оценка экономической эффективности беспилотных летательных аппаратов для обслуживания воздушных линий электропередач.....	43
Дубовский А.И. Сотовая энергетика на основе smart-grid.....	50
Жилин Е.В., Гергель Е.О. Оптимизация дополнительных потерь электроэнергии в системах электроснабжения	54
Ибрагимова А.В. Новые способы защиты проводов воздушных линий электропередачи	59
Ихсанов Р.М. Динамические испытания опор воздушных линий электропередачи	66
Калинина Н.Д., Шуватова И.А. Поиск оптимального подхода к повышению энергоэффективности зданий крайнего севера	72
Косимов Б.М. Повышение эффективности установок для сушки хлопко-сырца с применением свч электротехнологии.....	75
Кулыгин А.С. Алгоритм формирования матриц главных сечений и главных контуров из матрицы узловых соединений	80
Лавриненко Н.С., Корякин С.Н., Безуглова С.В. Исследование влияния переходных процессов на потери в линии электропередач	84

Маряхина С.В. Энергоэффективная система мониторинга удаленных объектов	90
Михалева К.Д. Энергосбережение частного дома	96
Найман Мих.О., Найман М.О. Критерии переработки полимерных отходов	100
Нигматзанова Э.М. Аналитический обзор водогрейного котла серии RS-A	104
Посохов Н.О., Лесников А.О. Оценка эффективности использования различных типов осветительных приборов для наружного освещения на примере улицы конева г. Белгород	109
Прокопишин Д.И. Разработка системы управления электроприводом лабораторного ковшового элеватора на базе трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	113
Свирин М.В., Гончаренко П.С. Результаты энергоаудита МАНΟΥ «Шуховский лицей» г. Белгорода	118
Симатов И.Д. Инновационный подход к реализации ФЗ-261	123
Скворцов С.Д. Исследование теплообмена в системах промежуточной сепарации и перегрева влажнопаровых турбин АЭС	127
Снигирева Ю.В., Нигматуллин Р.Р. Влияние магнитных полей на сорбционные свойства растворителей в условиях тонкослойной хроматографии	134
Соловьёва С.Г. Формирование напряжения вольтодобавки трансформатором продольного включения в схеме продольной компенсации	139
Суслов Е.Ю. Потенциал энергосбережения при производстве низкоосновного легированного клинкера	144
Трубаев К.П. Изучение зависимости мощности ветрогенератора от скорости ветра	149
Тулупова Г.Н. Гибридная система электроснабжения на базе дизель-генератора и возобновляемых источников энергии	154
Чурляева К.Д. Обоснование эффективности использования гибридной ветро-солнечной системы для подзарядки квадрокоптеров	159
Шевченко А.В., Суханов А.В., Секретарев Е.А. Анализ показателей эффективности работы противоточных струйных измельчителей	164

ВВЕДЕНИЕ

Зачем нужна научная работа?

Научно-исследовательская работа – неотъемлемая часть качественного обучения. Выпускник вуза не только должен знать фундаментальные основы и практические стороны своей профессии. Он также должен, что намного важнее, уметь находить и осваивать то, что не знает. Современная жизнь крайне многообразна и динамична, и полностью овладеть всем, что может в дальнейшем потребоваться для профессиональной деятельности, невозможно. Поэтому занятие научными исследованиями носит не только абстрактный академический интерес, но и помогает освоить методы и приемы, получить навыки и компетенции для всей дальнейшей профессиональной деятельности в любых прикладных областях.

Чем лучше специалист умеет познавать, тем выше его компетентность в своей профессиональной области и сильнее потенциал для развития и роста.

Какие признаки научного исследования?

Что такое наука? Это познание нового. Научное исследование должно соответствовать двум критериям: обладать научной новизной и практической значимостью.

Научная новизна – это область, которая до этого не была исследована, и результаты, полученные впервые. Она определяет степень преобразования или изменения известных данных, расширения и дополнения известных данных без изменения их сути, распространения имеющихся научных данных на новые объекты или системы. Научная новизна может заключаться в получении новых законов и зависимостей, новых данных о свойствах веществ, создании или исследовании новых технических объектов и технологий, разработке или дополнении методик, математических моделей. Часто научную новизну формулируют в виде сравнения полученных результатов с имеющимися, используя выражения: «в отличие от существующих методов...»; «новая методика, позволяющая эффективно...» и т.д.

К научной новизне не относится проведение расчетов по известным методикам, даже с новыми исходными данными, описание известных устройств и установок. Обзор современного состояния вопроса относится к научным исследованиям, если в нем проводится анализ имеющихся исследований, сопоставляются данные из различных источников, выявляются исследованные и не исследованные области, и формулируются те проблемы и задачи, которые должны быть решены. Как правило, обзорные статьи пишут признанные авторитеты в своей области, владеющие вопросом на высоком уровне.

Практическая значимость научного исследования – это возможность использования полученных результатов при решении других научных или технических задач и в обучении. Практическая значимость всегда конкретизиру-

ется, то есть указывается область деятельности, для которой результаты предназначены, и в какой форме они будут использоваться.

Из чего состоит научная статья?

Научная статья – это авторское произведение, в котором излагаются результаты проделанной научной работы.

Объем статей в отечественных журналах обычно составляет 15...20 тыс. знаков (от пяти до десяти страниц), в сборниках трудов – от четырех до семи страниц. В зарубежных журналах требования к объему статей, как правило, от 20 до 40 тыс. знаков.

Принято, что статья должна включать следующие разделы, представленные ниже.

Аннотация

Краткая характеристика статьи, показывает её отличительные особенности и достоинства. По своей структуре аннотация подобна статье, но в ней каждому разделу отводится одно-два предложения. Аннотация состоит из одного абзаца, в ней не допускаются ссылки на литературу, цитирование, все применяемые аббревиатуры должны быть расшифрованы. Зарубежные издатели требуют, чтобы объем аннотации составлял не менее 150 слов (15 строчек).

Ключевые слова

Используются поисковыми системами. В качестве ключевых слов необходимо подобрать такие слова, какие могут использоваться при поиске информации по теме, которой посвящена статья.

1. Введение

1.1. Обоснование необходимости работы, включающее:

– актуальность, то есть необходимость исследований (не следует приводить мировую актуальность, актуальность должна быть для конкретной «узкой» отрасли или задачи);

– современное состояние вопроса (обзор существующих работ и выводы о том, какие актуальные вопросы не до конца изучены и будут рассмотрены в предлагаемой работе).

1.2. Цели и задачи работы (которые должны следовать из актуальности и обзора существующих работ).

2. Содержательная часть

2.1. Методы исследования, применяемое оборудование и методики.

2.2. Результаты исследования.

2.3. Дискуссия (анализ адекватности результатов, области их применимости).

3. Заключение (выводы)

Приводится результат решения поставленной цели и задач, формулируется научная новизна (то есть отличия результатов от имеющихся)

4. Библиографический список

Список использованных современных научных работ, оформленный согласно требованиям. В отечественных изданиях обычно используются требо-

вания ГОСТ Р 7.05–2008 или ГОСТ 7.1–2003, в зарубежных – MDPI and ACS Style, AMA Style, Chicago/Turabian Style, но каждый издатель может разработать свои требования к оформлению.

В качестве использованных источников не следует указывать нормативно-правовые документы (законы, постановления, приказы, ГОСТ, СНИП, СП, РД и т.п.), при необходимости их реквизиты упоминаются в самом тексте.

Зарубежные издатели требуют наличия в статьях библиографического списка не менее чем из 20-25 наименований. Упоминание собственных работ в библиографическом списке допускается, но рекомендуется, что бы самоцитирование составляло не более 10% от общего списка источников.

Основные требования к оформлению статей

В каждом издании свои требования к принимаемым материалам, перед началом оформления статьи их необходимо внимательно изучить, так как любой невыполненный пункт может служить поводом для отклонения статьи.

Основные требования у большинства издателей следующие:

а) в формулах и условных обозначениях все русские и греческие символы, символы химических формул, тригонометрические, статистические и математические функции набираются прямым шрифтом, латинские символы в условных обозначениях величин – курсивом;

б) все аббревиатуры и условные обозначения должны быть расшифрованы при первом упоминании или в отдельном разделе статьи «Условные обозначения»;

в) сокращения используются только общепринятые, приведенные в ГОСТ 7.12–93;

г) все рисунки и таблицы нумеруются и должны иметь названия, на них в тексте статьи должна быть ссылка, помещенная ранее расположения таблицы и рисунка;

д) на каждый приведенный в библиографическом списке источник в тексте статьи должна быть ссылка;

е) не допускается форматирование текста с использованием пробелов, знаков табуляции;

ж) символ дефис «-» используется только как разделитель сложных слов, для разделения частей предложений, выделения элемента перечня, в качестве символа вычитания или отрицательной величины используется тире «-».

В заключение всем молодым ученым хочется пожелать успехов в научной деятельности и успешного представления ее результатов в виде хороших и полезных статей.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ОБМОТКИ СТАТОРА

Магистрант **Айметов И.О.**

Научный руководитель канд. техн. наук. доц. **Логачева А.Г.**

*Казанский государственный энергетический
университет, г. Казань*

***Аннотация.** В современном мире вопросам энергоэффективности уделяется особое внимание. Предпосылками к этому является, во-первых, то, что решение данной задачи может привести к достижению основных целей мировой энергетической политики :повышению энергетической безопасности; снижению отрицательного энергетического оборудования на экологическую ситуацию благодаря сокращению использования ископаемых энергетических ресурсов; увеличению конкурентоспособности промышленности в целом. По разным оценкам, в России на долю асинхронных двигателей приходится от 47 до 53% потребления всей вырабатываемой электроэнергии. Соответственно решение проблемы повышения энергоэффективности асинхронных двигателей весьма актуально.*

Введение

В России около 50% вырабатываемой электроэнергии потребляется промышленными предприятиями, половина этой энергии затрачивается на привод электрических двигателей, преобразующих ее в механическую. При преобразовании энергии некоторая часть теряется в виде тепла.

Если увеличить долю энергоэффективных электродвигателей в промышленности, то значительно снизится потребление энергии и, соответственно, уменьшится концентрация CO₂ в окружающей среде.[3]

Важно заметить, что срок службы двигателя возрастает при увеличении энергоэффективности. Это связано с нагревом двигателя.

При увеличении температуры на 8 градусов срок службы изоляции уменьшается в 2 раза. Следовательно, повышая энергоэффективность машины и снижая потери в ней, удастся увеличить и срок службы ее элементов.

Цель работы: предложить способ увеличения доли энергоэффективных двигателей на производстве без привлечения больших финансовых затрат.

Общая характеристика асинхронных двигателей с совмещенными обмотками

Основными преимуществами двигателя с совмещенными обмотками являются меньший потребляемый ток (снижен на 20-35% в зависимости от режима); более высокий пусковой момент (на 35%); уменьшенные пусковые токи (на 35%); повышенный минимальный момент (на 35%); повышенный максимальный момент (на 20%); КПД и $\cos\phi$, близкий к номинальному в диапазоне нагрузок от 25 до 150%; улучшенные вибро-шумовые характеристики (в среднем уровень звука ниже на 5ДБ); повышенная надежность (сервис фактор 2,5); «мягкая» механическая характеристика; большая перегрузочная способность.

По обобщенным данным в отечественной промышленности средняя нагрузка электродвигателя составляет 30–40%, в европейской – 60%. Это означает, что КПД, при котором работает обычный двигатель значительно ниже номинального. В отличие от стандартных, двигатели с совмещенными обмотками имеют КПД и коэффициент мощности, близкие к номинальному, в более широком диапазоне нагрузок. Усовершенствуя обмотку статора асинхронного двигателя можно добиться повышения «средней нагрузки» на двигатель до 80% и улучшить характеристики обслуживаемого приводом технологического процесса в части электропотребления.

В настоящее время все чаще совмещенные обмотки выполняются в электродвигателях при их ремонте, когда новая обмотка заменяет старую. При этом возникает необходимость пересчета существующей традиционной обмотки на совмещенную.

При сравнении с известными методами повышения энергоэффективности асинхронного двигателя, новизна предлагаемого подхода заключается в изменении основополагающего принципа конструкции классических обмоток двигателя.

Сущность предлагаемого способа

Широкое применение асинхронных электродвигателей и зачастую, тяжелые условия их эксплуатации вынуждают искать способы модернизации данных агрегатов. Чтобы добиться необходимого КПД электродвигателя может помочь его своевременная перемотка, а выполненная по данной технологии она позволит усовершенствовать электромеханический преобразователь.

Так, согласно технологии, для трехфазного асинхронного электродвигателя помимо основной обмотки необходимо использовать 3

дополнительных, соединенных между собой и расположенных особым образом – отсюда и название способа – совмещенная обмотка.[2]

Принято различать две схемы соединения фаз совмещенной обмотки:

– параллельная, при которой основная обмотка это «звезда», а совмещенная «треугольник»;

– последовательная, предполагающая сохранение первоначальной схемы основной обмотки, с пересчетом совмещенной на «треугольник».

Можно сказать, что ДСО имеет форму поля, более близкую к синусоидальной, нежели стандартный двигатель. В результате, можно сказать, что без увеличения трудоемкости, при меньшей материалоемкости, без изменения технологий, при равных прочих условиях получаем двигателя, которые по своим характеристикам значительно превосходят стандартные.

Расчет окупаемости двигателя с совмещенной обмоткой

Расчет проведем на основе двигателя 160 кВт с числом $n = 1500/\text{мин}$.

Номинальная мощность: 160 кВт

Режим работы: круглосуточный

Потребляемая мощность электродвигателя со стандартной обмоткой: 160 кВт

Потребляемая мощность электродвигателя с совмещенной обмоткой: 128 кВт (0,8 от мощности электродвигателя со стандартной обмоткой)

Стоимость электроэнергии: 3 руб/кВт·ч.

Цена ремонта электродвигателя с совмещенной обмоткой: 94697 руб.

Затраты на оплату электроэнергии за сутки для электродвигателя со стандартной обмоткой составляют: $160 \cdot 24 \cdot 3 = 11520$ руб.

Затраты на оплату электроэнергии за сутки для электродвигателя с совмещенной обмоткой: $128 \cdot 24 \cdot 3 = 9216$ руб.

Экономия средств за сутки: $11520 - 9216 = 2304$ руб.

Срок окупаемости электродвигателя с совмещенной обмоткой: $94697/2304 = 41,1$ дня.

Дополнительная прибыль для двигателя с совмещенной обмоткой за первый год эксплуатации: $2304 \cdot (365 - 41,1) = 746\,265,6$ руб.

Пример успешного применения асинхронных двигателей

Пример 1. Производитель инструментов.

380 Вт двигатель оснащен комбинированной обмоткой.

Результат:

- на 30% меньшие размеры;
- снижение потребления меди на 37%;
- снижение потребления электротехнической стали на 58%;
- пиковая мощность: 1,9 кВт.

Пример 2. Китайский насосный завод.

В технической документации, представленной для насосного агрегата K65-50-160а, указан двигатель на 5,5 кВт. Его можно заменить на двигатель 4 кВт АДЕМ. Тогда увеличится эффективность насоса на 1-1,5% и уменьшится потребляемая мощность на 500 Вт.

Выводы

1. Асинхронные двигатели с совмещенными обмотками могут применяться как на различных производствах, так и в бытовых установках. Широкое применение асинхронных двигателей с совмещенными обмотками в социальной сфере делает возможным значительно уменьшить тарифы на ключевые виды услуг.

2. В области экологии применение двигателей с совмещенными обмотками позволит достичь снижения удельной выработки электроэнергии на единицу производимой продукции, и как следствие, приведет к снижению удельного расхода углеводородов.

3. По проведенной оценке двигатель с совмещенными обмотками, изготовленный на основе стандартного трехфазного двигателя, выведенного в ремонт, не только быстро окупается (41,1 день), но и может приносить прибыль уже в первый год своей эксплуатации.

Библиографический список

1. Электротехнический справочник; под ред. В. Г. Герасимова и др. Т. 4. Использование электрической энергии. М.: Изд-во МЭИ, 2004. 696 с.

2. **Дуюнов Д.А.** Асинхронный двигатель с совмещенными обмотками [Электронный ресурс] // Энергосовет. 2013. № 2 (27). URL: http://www.energosoвет.ru/bul_stat.php?idd=372 (дата обращения 4.10.17)

3. Энергоэффективность электродвигателей [Электронный ресурс]. URL: <http://part-perm.ru/energy-efficiency-of-electric-motors.html> (дата обращения: 13.10.2017)

Исходя из картограммы предприятия (рис. 2) проектировщик определяет локальную зону потребителей, т.е. назначает номера цехов, учитываемых при оптимизационных расчётах. Программа показывает возможные каналы передачи электроэнергии между потребителями и источником. При запуске расчётного модуля находится вариант оптимального электроснабжения для заданных координат расположения объектов (рис. 3).

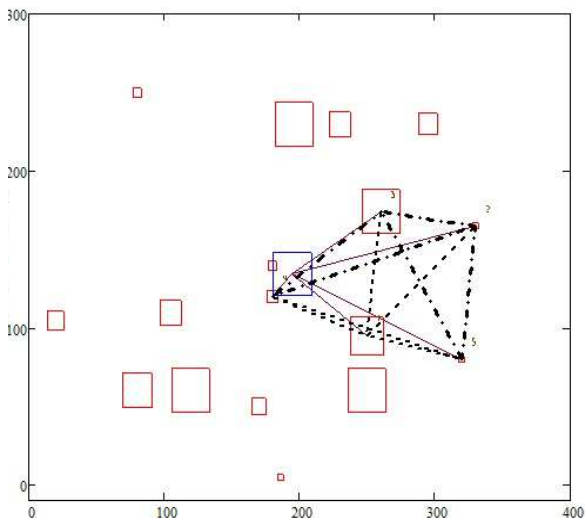
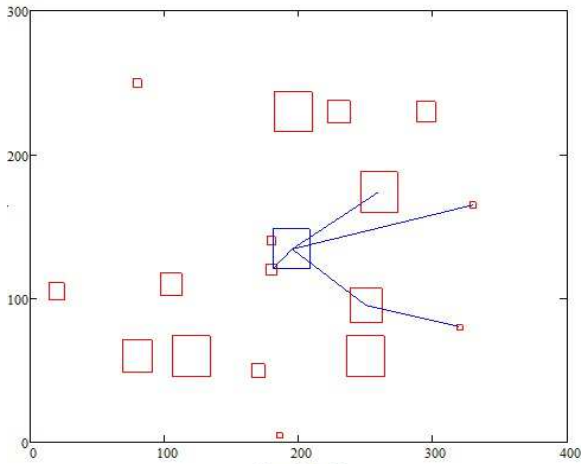


Рис. 2. Картограмма промышленного предприятия

В пакете MathCad имеется возможность использования встроенных интерфейсных элементов управления (скроллеры, флажки, окна ввода). В разработанном расчётном модуле используются скроллеры, привязанные к координатам назначенного объекта. Проектировщик имеет возможность, перемещая движок скроллера, менять координаты расположения объекта. Программа автоматически просчитывает сформированный вариант и отображает полученную схему каналов электроснабжения в окне картограммы.

На рис. 3, 4, 5 показаны варианты электроснабжения при изменении положения одного из цехов по вертикальной координате. При этом обосновывается появление транзитной мощности в смещаемом объекте.

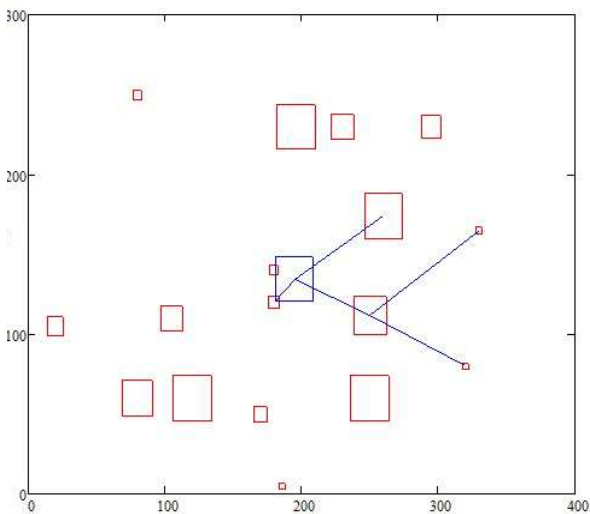
$$EX := A_{0,num} - \Delta X = 250 \quad EY := A_{1,num} + \Delta Y = 95$$



a1m	0
a2m	0
a3m	1
a4m	2
a5m	3
b1m	4
b2m	5
b3m	6
b4m	7
c1m	8
c2m	9
c3m	10
d1m	11
d2m	12
e1m	13
	14

Рис. 3. Первый вариант трассировки электроснабжения

$$EX := A_{0,num} - \Delta X = 250 \quad EY := A_{1,num} + \Delta Y = 112$$



a1m	0
a2m	0
a3m	1
a4m	2
a5m	3
b1m	4
b2m	5
b3m	6
b4m	7
c1m	8
c2m	9
c3m	10
d1m	11
d2m	12
e1m	13
	14

Рис. 4. Второй вариант трассировки электроснабжения

$$EX := A_{0,num} - \Delta X = 250 \quad EY := A_{1,num} + \Delta Y = 130$$

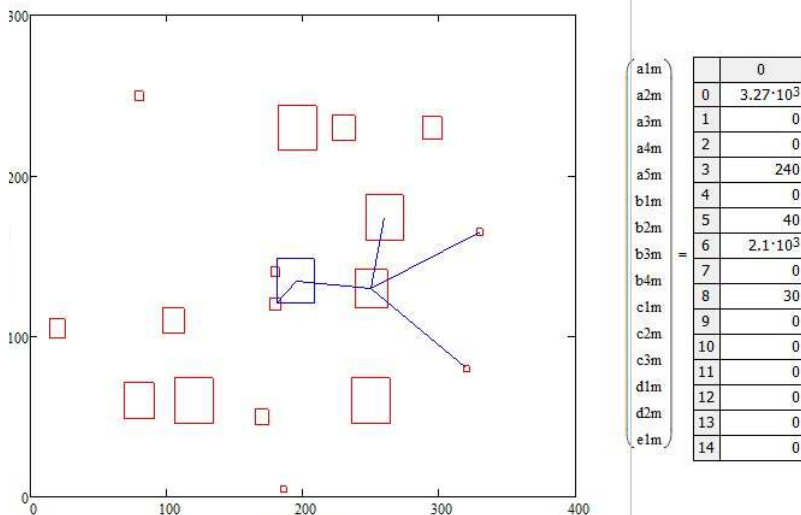


Рис. 5. Окончательный вариант трассировки электроснабжения

Выводы по работе

Использование математического пакета как ядра САПР позволяет существенно сократить затраты проектировщика на поиск оптимальных решений электроснабжения объектов.

Библиографический список

1. **В.Н Костин.** Оптимизационные задачи электроэнергетики: учеб. пособие. СПб.: СЗТУБ, 2003. 120 с.
2. **Комиссаров А.В.** Решение транспортной задачи электроснабжения промышленного предприятия с использованием пакета MathCad. // Энергетика 2017: 12-я межд. научно-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Т. 5. Иваново: ИГЭУ, 2017. С. 174–175.

ПРИМЕНЕНИЕ ВСТРАИВАЕМЫХ ПОДСТАНЦИЙ В ЖИЛЫХ ЗАСТРОЙКАХ ГОРОДА НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА БЕЛГОРОДА

Студент **Белянский С.В.**

Студент **Витлинский И.Д.**

Научный руководитель ст.преп. **Тоушкин А.Г.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

***Аннотация.** В данной научной статье были рассмотрены аспекты установки встраиваемых трансформаторных подстанций на примере микрорайона в городе Белгороде. Был произведен расчет нагрузок для жилых и нежилых зданий и в соответствии с категорией надежности электроснабжения зданий были определены количество и мощности трансформаторов. Кроме того, были рассмотрены варианты использования трансформаторов разного исполнения-масляных и сухих.*

В последнее время в связи с все более ускоряющимся ростом городского населения остро встала проблема нехватки земли в городских центрах, что приводит к росту цен на землю (и в дальнейшем на недвижимость) в городах. Поэтому застройщики для экономии стараются уменьшить пространство застройки, оптимизируя использование территории. Для этого используются различные решения и одно из них – использование встраиваемых трансформаторных подстанций в зданиях.

Целью данной научной статьи является определение возможности экономии территории в городской застройке и выбор наиболее выгодного варианта ТП в стесненных городских условиях.

Требования к проектированию, установке и использованию встраиваемых ПС в жилых зданиях нормируются Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) и Сводом правил по проектированию (СП), а также санитарными нормами.

Среди проектов подстанций различных типов проект встроенной ТП – обычно один из самых сложных в исполнении, так как требует при проектировании учитывать, как архитектурно-строительную составляющую объекта, так и требования к установке подстанции.

Для реализации проекта установки встроенной трансформаторной подстанции в здании требуется наличие отдельного помещения – где будет установлено все оборудование. Это означает, что установка встроенной ТП наиболее целесообразна (и чаще всего применяется на

практике) в больших зданиях. Например, небоскребах, высотных жилых домах и производственных предприятиях [1].

Существуют следующие требования к размещению оборудования и элементов встроенной ТП в жилых зданиях [2]:

- использование встроенных ТП допускается в жилых зданиях в исключительных случаях с использованием сухих трансформаторов по согласованию с органами государственного надзора, но при этом должны быть выполнены санитарные требования по ограничению уровня шума и вибрации;

- встроенная ТП категорически не может располагаться под помещениями, где существует опасность затопления или протекания влаги, также необходимо выполнять надежную гидроизоляцию помещения;

- полы трансформаторной камеры должны быть как минимум на 10 см выше полов в соседних комнатах и не менее 30 см относительно уровня поверхности земли;

- наличие безопасных подъездов к месту размещения трансформаторной подстанции;

- возможность безопасного демонтажа трансформаторов для капитального ремонта;

- наличие пространства для естественной вентиляции трансформаторов;

- ширина проходов между оборудованием в свету должна быть не менее 0,8 м, высота проходов в свету не менее 1,9 м;

- проходы для обслуживания щитов должны иметь два выхода, двери из помещений РУ должны открываться в сторону других помещений или наружу и иметь samozапирающиеся замки;

При наличии технико-экономических обоснований допускается установка подстанций на верхних этажах здания, если обеспечивается возможность транспортировки трансформаторов.

Конкретным примером использования встроенной ТП в Белгороде является многоквартирный жилой дом с нежилыми помещениями и одноуровневой автостоянкой в строящемся микрорайоне по улице Н. Островского. Для наглядности ниже приведен пример порядка расчета каждой встроенной ТП во всех жилых зданиях данного микрорайона. Объект состоит из 11 позиций (блок-секций различной этажности).

Расчёт нагрузок ВРУ каждой блок-секции проводим согласно РД 34.20.185-94 и СП 256.1325800.2016.

Жилыми помещениями являются квартиры с электрическими плитами и плитами на природном газе.

Для подключаемых потребителей на напряжение 0,4 кВ максимальная величина $\text{tg}\phi = 0,35$, что соответствует $\text{cos}\phi = 0,944$. Это достаточно высокий коэффициент мощности. Так, например, для жилых домов с газовыми плитами или электрическими, но при наличии бытовых кондиционеров, $\text{cos}\phi = 0,92-0,93$, а для общественных зданий $\text{cos}\phi = 0,75-0,98$ [3].

Согласно проекту газоснабжения здания, приняты квартиры с электрическими плитами мощностью до 8 кВт и бытовыми кондиционерами воздуха при расчетной температуре свыше 37°C для позиций 2,3,5,6,7,11.

Приняты квартиры с плитами на природном газе и бытовыми кондиционерами воздуха при расчетной температуре свыше 37°C для позиций 1, 4, 8, 9, 10.

Расчёт электрической мощности жилых помещений приведён в таблице 1.

Таблица 1

Расчёт мощности жилых помещений

№	Точка подключения	Количество квартир	Удельная мощность, кВт/кв	Полная мощность на вводе ВРУ, кВт
1	I очередь	86	1,75	150,500
2	II очередь	56	1,28	71,680
3	III очередь	40	1,4	56,000
4	IV очередь	120	1,54	184,800
5	V очередь, зд. 1, фр.1	70	1,2	84,000
6	V очередь, зд. 1, фр.2	56	1,28	71,680
7	V очередь, зд. 2	49	1,333	65,317
8	VI очередь, зд. 1, фр.1	56	1,9	106,400
9	VI очередь, зд. 1, фр.2	84	1,7	142,800
10	VI очередь, зд. 1, фр.3	60	1,85	111,000
11	VI очередь, зд. 2	40	1,4	56,000
Всего				1100,177

Для нежилых помещений, согласно технологическому заданию, принято равное распределение площадей между офисными помещениями, продовольственными и непродовольственными магазинами и произведен расчет мощностей, представленный в табл. 2.

Таблица 2

Расчёт мощности нежилых помещений

№	Точка подключения	Площадь, м ²	Удельная мощность, кВт/м ²	Полная мощность на вводе ВРУ, кВт
1	I очередь	2928 · 0,8= 2342,4	0,135	316,224
2	II очередь	379,38 · 0,8= 303,50	0,135	40,973
3	III очередь	692,80 · 0,8= 554,24	0,135	74,822
4	IV очередь	2000 · 0,8= 1600,00	0,135	216,000
5	V очередь, зд. 1, фр.1	1831,56 · 0,8= 1456,25	0,135	196,593
6	V очередь, зд. 1, фр.2	1248,79 · 0,8= 999,03	0,135	134,869
7	V очередь, зд. 2	707,65 · 0,8= 566,12	0,135	76,427
8	VI очередь, зд. 1, фр.1	1100,00 · 0,8= 880,00	0,135	118,800
9	VI очередь, зд. 1, фр.2	1150,00 · 0,8= 920,00	0,135	124,200
10	VI очередь, зд. 1, фр.3	1623,00 · 0,8= 1298,40	0,135	175,284
11	VI очередь, зд. 2	1082,00 · 0,8= 865,60	0,135	116,856
Всего				1591,048

Расчётная мощность паркинга, полученная укрупненно, по известной площади, составляет:

$$P = 320,000 \text{ кВт.}$$

Всего:

$$P_{\Sigma} = 1100,177 + 1591,048 + 320,000 = 3011,225 \text{ кВт.}$$

При наличии потребителей I и II категорий устанавливается по 2 трансформатора в каждую ТП.

Перегрузка сухих трансформаторов, в отличие от масляных, практически не допустима. Перегрузка сухих трансформаторов определяется конкретным заводом изготовителем. Для сухих трансформаторов в среднем допустима перегрузка на 20% в течение 60 минут, для масляных – 45% в течении 80 минут (ПУЭ п.2.1.21). Таким образом, для сухих трансформаторов с учётом наличия II и I категорий потребителей в каждой блок секции, принимаем максимальную загрузку трансформатора 100% при выходе второго из строя, а для масляного – 145%. Расчёт нагрузок проведём в соответствии с рассчитанной ранее мощностью.

Нагрузка I-II очередь строительства:

$$P = \Sigma P = 150,5 + 80 + 316,222 + 60,48 = 607,202 \text{ кВт}$$

$$S = P / \cos\varphi = 607,202 / 0,9 = 674,669 \text{ кВА.}$$

Здесь можно провести компенсацию реактивной мощности вплоть до коэффициента мощности $\cos\varphi = 0,99$ [4], тогда:

$$S = 607,202 / 0,99 = 613,335 \text{ кВА.}$$

Для сухих трансформаторов:

– до компенсации: $S_{\text{тр}} = S = 674,669 \text{ кВА}$;

– после компенсации: $S_{\text{тр}} = S = 613,335 \text{ кВА}$.

Для масляных трансформаторов:

– до компенсации: $S_{\text{тр}} = S / K_{\text{авар}} = 674,669 / 1,4 = 481,906 \text{ кВА}$;

– после компенсации: $S_{\text{тр}} = S / K_{\text{авар}} = 613,335 / 1,4 = 438,1 \text{ кВА}$.

Варианты выбора трансформаторов:

– первый вариант: два трансформатора ТСЗ-630, нагрузка паркинга не влезает, выполняется компенсация реактивной мощности;

– второй вариант: два трансформатора ТСЗ-1000, без компенсации, хороший запас по мощности; можно подключить 300 кВт нагрузки паркинга в этом случае мы можем не использовать БК, что более выгодно с экономической точки зрения;

– третий вариант: два ТМ-630, нагрузка паркинга не влезает, выполняется компенсация реактивной мощности;

– четвертый вариант: два ТМ-1000, без компенсации, хороший запас по мощности, также можно не выполнять компенсирование реактивной мощности.

Расчет мощности и варианты выбора трансформаторов для следующих зданий представлена в таблице 3.

Таблица 3

Варианты выбора трансформаторов

	Очередь строительства			
	I-II	III-IV	V	VI
Мощность [кВА]:				
– до компенсации;	674,669	683,73	1062,089	1093,278
– после компенсации.	613,335	621,576	965,535	993,889
Сухие трансформаторы	ТСЗ-1000	ТСЗ-630	ТСЗ-1000	ТСЗ-1000
Масляные трансформаторы	ТМ-1000	ТМ-630	ТМ-1000	ТМ-1000

Важным показателем являются габаритные размеры выбранных трансформаторов.

При проектировании использовались трансформаторы ТСЗ-630, ТСЗ-1000, ТМ-630, ТМ-1000 расшифровка и габариты которых представлены ниже:

– ТСЗ-630 – трансформатор сухой в защитном кожухе (степень защиты IP-21) мощностью 630 кВА со следующими габаритами 2195 мм x 1250 мм x 2295 мм;

– ТСЗ-1000 – трансформатор сухой в защитном кожухе (степень защиты IP-21) мощностью 1000 кВА со следующими габаритами 2460 мм x 1315 мм x 2295 мм;

– ТМ-630 – трансформатор масляный мощностью 630 кВА со следующими габаритами 1950 мм x 1060 мм x 1950 мм;

– ТМ-1000 – трансформатор масляный мощностью 630 кВА со следующими габаритами 2450 мм x 1250 мм x 2450 мм.

На данном примере можно сделать вывод, что расчет встроенной ТП не отличается от расчета обычной ТП, но при этом приходится учитывать вышеприведённые требования к установке, а также что встроенная ТП устанавливается в каждом здании проектируемого микрорайона, что делает данный вариант очень удобным при высокой плотности застройки микрорайона.

Библиографический список

1. Мониторинг систем внутреннего электроснабжения и их управление / И.А. Велиева, А.С. Струков, И.В. Рогозин, А.Г. Тоушкин // Энергетические, управляющие и информационные системы: Сб. докл. I Межд. научно-техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ им Шухова, 2016. С. 186-189.

2. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. – Введ. 1995-01-01. – М.: Энергоатомиздат, 1995

3. **Романов А.А., Тоушкин А.Г.** Опасность возникновения ненормальных режимов оборудования в городских сетях // Энергетические, управляющие и информационные системы: Сб. докл. I Межд. научно-техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ им Шухова, 2016. С. 270-272.

4. **Кузнецов В.А., Рошубкин П.В., Сингатулин Р.С.** Основные показатели качества электроэнергии. Применение вольтодобавочных трансформаторов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 204-207.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ МБОУ «ДОРОГОЩАНСКАЯ СОШ»

Магистрант **Бруев С.В.**

Магистрант **Бычихин С.А.**

Научный руководитель д-р техн. наук, доц. **Трубаев П.А.**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

Целью работы являлось теплотехническое обследование здания МБОУ «Дорогощанская СОШ» и разработка плана энергосберегающих мероприятий [1].

Школа (рис. 1) располагается в трехэтажном здании 1959 г. постройки, расположенном по адресу Белгородская обл., Грайворонский р-н, с. Дорогощь, пер. Первомайский 1а. Капитального ремонта в здании не было с момента постройки. Стены выполнены из красного силикатного кирпича, общая площадь здания 933,12 м².



Рис. 1. Школа МБОУ «Дорогощанская СОШ»

Тепловая энергия поставляется МУП «Грайворон Теплоэнерго» от котельной, которая находится на территории школы. В эксплуатационной ответственности школы находится внутренняя система отопления потребителя и теплосчетчик (рис. 2).

Оплата электрической энергии, тепловой энергии производится полностью по приборам учета. В учреждении налажена система контроля потребления энергоресурсов, регулярно снимаются показания с приборов учета, все приборы учета прошли своевременную поверку.

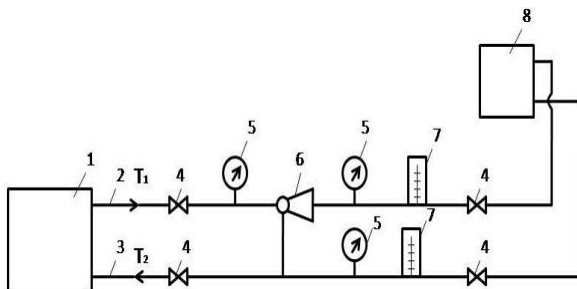


Рис. 2. Схема отопления МБОУ «Дорогожанская СОШ»:

1 – котельная; 2 – подающий трубопровод; 3 – обратный трубопровод; 4 – запорный вентиль; 5 – манометр; 6 – элеватор; 7 – термометр; 8 – отапливаемое помещение

В результате обследования системы отопления были выявлены следующие особенности:

1) трубы в системах отопления здания очень старые, с большим количеством внутренних настенных отложений [2], что подтверждается слабым уровнем отраженного сигнала расходомера UFM-005;

2) полностью отсутствует изоляция труб во всех тепловых пунктах здания [3].

Потребление тепловой энергии в школе за 2016 г. составило 376 Гкал, что значительно превышает показатели для аналогичных зданий [4, 5]. Поэтому теплотребление было определено с инструментальными измерениями (табл. 1) [6]. Контрольная точка замеров для системы отопления находилась на первом этаже здания. Внешний диаметр трубы подающего трубопровода 57 мм, толщина стенки 3,5 мм.

Таблица 1

Результаты инструментальных измерений

Уровень сигнала, %	44	42
Минимальный расход теплоносителя, м ³ /ч	5,40	5,30
Максимальный расход теплоносителя, м ³ /ч	7,50	7,00
Усредненный расход теплоносителя, м ³ /ч	6,45	6,15
Температура в подающем трубопроводе, °С	70	67
Температура в обратном трубопроводе, °С	53	53
Перепад температур между подачей и обраткой, °С	17	14
Теплотребление, Гкал/ч	0,110	0,105

Таким образом показания приборов учета тепловой энергии было подтверждено.

Электропотребление здания осуществляется для освещения помещений, коридоров, для питания электроприборов (табл. 2).

Таблица 2

Расчет нагрузок системы электропотребления

Наименование	Кол-во	Мощность, Вт	Время работы, ч/день	Потребление в сутки, кВт·ч	Годовое потребление, кВт·ч
Освещение					
Лампы накаливания	34	80	4	10,88	2 720
Лампы люминесцентные	160	40	4	25,60	6 400
Лампы энергосберегающие компактные	14	20	4	1,12	280
Лампы светодиодные	23	10	4	0,92	230
Лампы настольные	7	40	3	0,84	210
Лампы наружного освещения	5	250	4	5	1 250
Итого:	243			44,36	11 090
Оргтехника					
Компьютер	32	400	3	38,4	9 600
Принтер, ксерокс	17	400	1	6,8	1 700
Телевизор	3	200	2	1,2	300
Сканер	6	50	1	0,3	75
Итого:	58			46,7	11 675

В результате обследования значительных отклонений удельных значений энергопотребления от средних показателей не обнаружено.

Выявлены следующие причины перерасхода энергоресурсов:

- стены зданий выполнены из кирпича без теплоизоляции, что значительно снижает энергоэффективность здания [6];
- плохое состояние оконных проемов;
- отсутствует теплоизоляция труб систем отопления;
- малая энергоэффективность люминесцентных ламп;

В итоге технико-экономического анализа [7] был предложен ряд эффективных энергосберегающих мероприятий (табл. 3).

Таблица 3

Энергосберегающие мероприятия

Наименование мероприятия, вид энергетического ресурса	Годовая экономия энергетических ресурсов			Затраты, тыс. руб.	Средний срок окупаемости, лет
	в натуральном выражении		в стоимостном выражении, тыс. руб.		
	ед. изм.	кол-во			
Малозатратные мероприятия (менее 3 лет окупаемости)					
Замена ламп накаливания на светодиодные лампы	кВт·ч	2448 (9%)	8,5	7,5	0,88
Наклейка энергосберегающей плёнки на окна (селективное покрытие)	Гкал	39 (10%)	57	56	0,98
Среднезатратные (от 3 до 5 лет окупаемости)					
Балансировка системы отопления	Гкал	10,2 (3%)	14,6	72	4,9
Долгосрочные, крупнозатратные (с выше 5 лет окупаемости)					
Утепление стен с последующим оштукатуриванием стен по армирующей сетке IZOVOL СТ-75 (120 мм)	Гкал	93 (25%)	136	2099	15,4
Утепление стен с последующим оштукатуриванием стен по армирующей сетке Пеноплекс Комфорт (30 мм)	Гкал	74 (20%)	109	2531	23,2
Замена окон (3-х камерные)	Гкал	29 (8%)	42	1685	39,5
Утепление чердачного перекрытия Эквата31 (200 мм)	Гкал	34 (9%)	40	868	21,7

Для каждого из них рассчитаны нужные затраты, величина получаемой экономии энергии и срок окупаемости. К наиболее эффективным относится:

- модернизация системы освещения;
- наклейка энергосберегающей пленки на оконное стекло;
- реконструкция тепловых сетей, регулировка и балансировкой системы отопления.

Библиографический список

1. **Бондаренко А.Н., Тихомирова Т.И.** Реализация программы энергосбережения в Белгородской области // Энергетические, управляющие и информационные системы: Сб. докл. I меж. научно-техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. С. 45-50.

2. **Разумова Ю.К., Кожевников В.П.** Методика гидропромывки внутренних систем теплоснабжения // Энергетические, управляющие и информационные системы: Сб. докл. I меж. научно-техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. С. 350-354.

3. **Кушев Л.А., Дронова Г.Л.** Пути снижения энергозатрат в жилищно-коммунальном хозяйстве // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2008. № 2. С. 24–25.

4. **Шарапов О.Н., Шугаева М.А., Долженков Д.Ю.** Энергосбережение и повышение энергоэффективности в образовательных учреждениях // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 43-45.

5. **Трубаев П.А., Ширриме К.Ж.** Анализ показателей энергоэффективности образовательных учреждений // Промышленная энергетика. 2015. № 3. С. 6-11.

6. **Апсалямова Я.И., Тарасюк П.Н., Трубаев П.А.** Определение расхода энергетических ресурсов в зданиях // Образование, наука, производство. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 1183-1187.

6. **Тарасюк П.Н., Трубаев П.А., Сухорослова В.В.** Повышение энергоэффективности в индивидуальном жилищном строительстве в условиях Белгородской области // Научное обозрение. 2013. № 9. С. 410-415.

7. **Тестоedова И.В., Трубаев П.А., Тарасюк П.Н.** Методы экономического анализа энергосберегающих мероприятий // Образование, наука, производство. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 4306-4310.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДАТЧИКОВ ДВИЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ МБОУ «СМОРОДИНСКАЯ СОШ»

Магистрант **Бычихин С.А.**

Магистрант **Бруев С.В.**

Научный руководитель д-р техн. наук, доц. **Трубаев П.А.**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г.Шухова, г. Белгород*

Сбережение энергоресурсов равносильно их производству, и чаще всего именно оно представляет собой наиболее рентабельный и перспективный способ обеспечения растущего спроса на энергию [1]. Одновременно растет заинтересованность в сбалансированном развитии окружающей среды, повышении уровня экологической безопасности, в связи с чем возникает необходимость революционных изменений энергетической отрасли в целом и сферы освещения в частности, ведь только системы освещения в среднем потребляют порядка 22% от всей электроэнергии.

Цель данной работы – рассмотреть энергосберегающие мероприятия, которые позволят снизить потребление ресурсов и привести к экономии финансовых средств в образовательных учреждениях [2], на примере МБОУ «Смородинской СОШ» Грайворонского района Белгородской области.

Обеспечить экономию электроэнергии на освещение можно с помощью проведения ряда мероприятий, включающих повышение энергоэффективности освещения. К таким мероприятиям можно отнести:

1. Организационные мероприятия по энергосбережению в части работы с персоналом [3].

2. Организационные и технические мероприятия по энергосбережению освещения – внедрение энергосберегающих мероприятий и технологий [4].

В целях экономии электроэнергии на освещение в МБОУ «Смородинская СОШ» было принято решение установить энергосберегающее устройство, а именно датчик движения.

Датчик движения – прибор для автоматического включения света при появлении человека в зоне чувствительности прибора [4]. Если движение прекращается, свет гаснет. Время, спустя которое гаснет свет, у разных моделей различно и, как правило, может регулироваться. Так же различная дальность действия датчиков (табл. 1).

Таблица 1

Дальность действия приборов и типы помещений

Тип датчика движения	1-12 м			7-20 м	до 30 м
	Входные тамбуры	Коридор небольшой	Лестничные площадки	Помещения с долговременным нахождением людей	Коридор длинный
IS 2160					
IS 3180					
IR Quattro					
RS 16L					
IS 4611					

Было принято решение использовать датчик движения типа IS 2160 для установки на лестничной площадке рис. 1. Для учета экономии ресурсов принято решение сравнить электропотребление люминесцентной лампы (36 Вт) на лестничной площадке с датчиком движения и на площадке без датчика. Для того чтобы посчитать экономию денежных средств на каждой площадке были временно смонтированы электросчетчики, чтобы сравнить потребление и посчитать экономию в денежном эквиваленте.



Рис. 1. Люминесцентная лампа с датчиком движения

В результате исследования было выявлено, что при постоянной работе лампы на площадке без датчика движения в течение учебного дня с 8:00 до 18:00 (10 ч.), лампа потребляет: $3610 = 360 \text{ Вт} = 0,36 \text{ кВт}$. На площадке с датчиком движения видна совсем другая картина, а

именно, за тоже учебное время работа лампы сократилась в несколько раз, и составило около 3 часов, следовательно, электропотребление лампы: $363 = 108 \text{ Вт} = 0,108 \text{ кВт}$. Таким образом, лампа с датчиком движения потребляет электроэнергию в 3 раза меньше, чем лампа без датчика.

Произведем расчет электроэнергии по тарифу для того чтобы узнать какая экономия в денежном эквиваленте. Для расчета с электросчетчиков были сняты месячные показания электропотребления. На сегодняшний день цена за кВт/ч электричества составляет 3,74 руб. Таким образом, за месяц счетчик на лампе без датчика показал 11 кВт, за такое количество придется заплатить: $113,74 = 41,14 = 41 \text{ руб. } 14 \text{ коп.}$ Счетчик на лампе с датчиком показал 4 кВт, следовательно: $43,74 = 14,96 = 14 \text{ руб. } 96 \text{ коп.}$ Выгода очевидна, экономия почти в 3 раза.

В образовательных учреждениях на освещении тратится до 70% электроэнергии [5]. В итоге можно сделать вывод, что использование энергосберегающих технологий в освещении приводит к значительно-му уменьшению потребление электроэнергии, к экономии финансовых средств, а также уменьшает нагрузку на окружающую среду [6].

Библиографический список

1. **Кожевников В.П., Вайсера С.С., Огнев М.Н.** Приоритетные направления деятельности Минобрнауки РФ в области повышения энергоэффективности и энергосбережения // Энергетические, управляющие и информационные системы: Сб. докл. I межд. научно-техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. С. 85-89.
2. **Шарапов О.Н., Шугаева М.А., Долженков Д.Ю.** Энергосбережение и повышение энергоэффективности в образовательных учреждениях // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 43–45.
3. **Trubaev P., Shirrime K., Tarasyuk P.** Peculiarities of implementation of the energy management system in conditions of Russian economy // World Applied Sciences Journal. 2014. Т. 30. № 8. С. 990-994.
4. **Киреева Э.А.** Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: КНОРУС, 2015. 234 с.
5. **Трубаев П.А., Ширример К.Ж.** Анализ показателей энергоэффективности образовательных учреждений // Промышленная энергетика. 2015. № 3. С. 6-11.
6. **Нестеров М.Н., Трубаев П.А., Михайлова М.Ю.** Интеллектуальные энергокомпании: сейчас время для следующего шага // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 208-211.

ОЧИСТКА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В КОНТАКТНО-РЕКУПЕРАТИВНОМ ТЕПЛОБМЕННИКЕ

Магистрант **Гончаренко П.С.**

Магистрант **Свирин М.В.**

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. **Васильченко Ю.В.**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

Современная энергетика имеет две основные задачи: повышение эффективности использования энергоресурсов и уменьшение вредных выбросов. Любой теплоэнергетический процесс сопровождается неизбежными потерями. Для их уменьшения были созданы и используются утилизаторы высокопотенциальных энергоресурсов, такие как экономайзеры, воздухоподогреватели и т.д. Однако они не могут обеспечить глубокий отбор тепла отходящих газов. Уходящие газы после данных устройств имеют температуру порядка 150-170°C. Дальнейшее охлаждение газов затруднительно, т.к. это приводит к конденсации влаги, заключенной в них, с образованием кислот и последующей коррозии газопроводов, аппаратуры и дымовых труб.

Говоря о вредных выбросах, в первую очередь подразумеваются выбросы кислотообразующих оксидов SO_2 , NO_x , а при неполном сгорании топлива и CO . Однако, несмотря на то, что углекислый газ CO_2 не является токсичным и ядовитым, его выбросы оказывают значительное влияние на экологию. Так, в период с 1990 года, по настоящее время, мировые выбросы диоксида углерода увеличились в 1.5. раза [1]. Согласно некоторым исследованиям, уровень содержания CO_2 в атмосфере на сегодняшний день, является максимальным за последние 800 тысяч лет [2]. Углекислый газ является парниковым газом. Увеличение его концентрации приводит к: перераспределению профиля давлений воздушных масс в зависимости от высоты (что приводит к росту температуры на поверхности Земли), увеличению влагоемкости воздуха и, следовательно, росту парникового эффекта. Основным же источников выброса CO_2 в атмосферу являются предприятия энергопромышленного комплекса. В 2007 году Ричард Бэнсон, британский предприниматель, анонсировал приз за Глобальные научные технологии – Virgin Earth Challenge. Этот приз составляет 25 млн. долларов, и он достанется тому, кто сможет создать действенную, коммерчески жизнеспособную разработку по удалению из атмосферы газов, способ-

ствующих парниковому эффекту [3]. Конкурс все еще актуален, вопрос находится в активном изучении.

Приблизиться к решению проблем энергосбережения, улавливания вредных выбросов и уменьшения выхода углекислого газа из энергоустановок можно, используя контактно-рекуперативный теплообменник (КРТ). Устройство (рис. 1) работает следующим образом: продукты сгорания, после теплоэнергетической установки, поступают в нижнюю часть корпуса КРТ, ниже опорно-распределительной решетки. Они, двигаясь вверх, захватывают с собой капли диспергированного форсунками промежуточного теплоносителя и транспортируют их на опорно-распределительную решетку (устройство для вспенивания двухфазной среды).

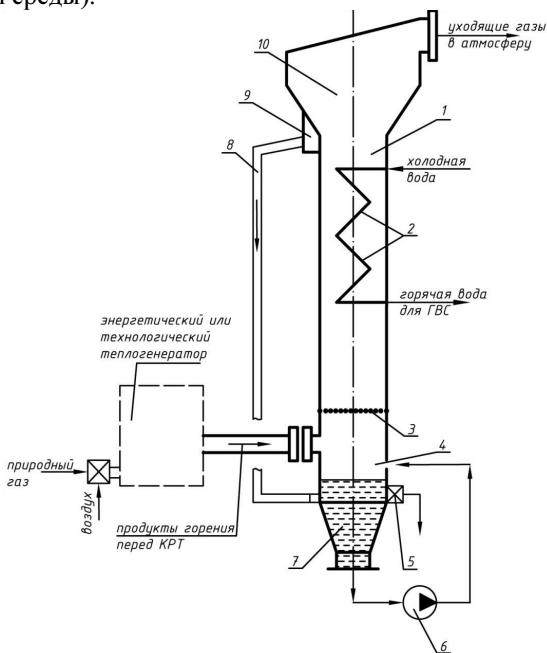


Рис. 1. Принципиальная схема контактно-рекуперативного теплоутилизатора конденсационного типа:

- 1 – прямоугольный корпус; 2 – трубный пучок встроенного теплообменника; 3 – опорно-распределительная решетка; 4 – форсунка; 5 – гидрозатвор отвода конденсата; 6 – циркуляционный насос; 7 – баковая часть корпуса; 8 – трубка возврата конденсата; 9 – карман; 10 – сепаратор

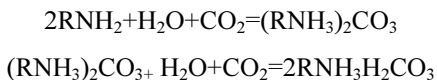
В заполненных факелах диспергированного конденсата, в опорно-распределительной решетке, играющей роль микротруб Вентури, а также в пенобарботажном слое на опорно-распределительной решетке, происходит адиабатное охлаждение и увлажнение продуктов сгорания и нагревание промежуточного теплоносителя до максимально возможной температуры при атмосферном давлении – температуры мокрого термометра данного газа. Далее, двухфазный поток, представляющий собой пену, движется в межтрубном пространстве трубного пучка из плоскоовальных труб. По трубам, в несколько горизонтальных ходов, противотоком, по отношению к двухфазному потоку, протекает нагреваемая вода, которая нагревается практически до вышеуказанной температуры мокрого термометра, а уходящие газы, наоборот, охлаждаются до температуры 30-40°С. Основной сложностью использования теплоты газов является их низкая теплоотдача. Пенный же режим движения позволяет достигать коэффициента теплоотдачи от двухфазного потока к стенке труб до 15 кВт/м²°С. После трубного пучка двухфазный поток попадает в сепаратор, где разделяется; промежуточный теплоноситель отделяется и поступает в бак в нижней части корпуса, откуда при помощи циркуляционного насоса направляется на форсунку, а уходящие газы покидают аппарат и выбрасываются в атмосферу.

В стандартном исполнении, в котором КРТ был рассчитан и испытан, а также находится в эксплуатации, в качестве промежуточного теплоносителя используется умягченная вода. Идея же применения КРТ как аппарата для очистки уходящих газов и уменьшения выбросов CO₂, помимо утилизации низкопотенциального тепла, заключается в замене воды, как промежуточного теплоносителя, на некоторый раствор, способный к абсорбции CO₂.

Так, щелочные водные растворы NaOH, KOH реагируют с CO₂ с образованием карбонатов и гидрокарбонатов натрия и калия соответственно. Поддержание щелочной среды в аппарате препятствует коррозии, т.к. для нее необходимым условием является наличие кислотности. Помимо улавливания CO₂ промежуточный теплоноситель (вода, растворы NaOH, KOH, и др. водные растворы) абсорбирует оксиды серы SO_x и оксид азота NO₂. Степень нейтрализации: SO_x – 92%; NO₂ – 70% [4]. NO водой практически не поглощается.

Одними из лучших веществ для очистки газов от углекислого газа и получения его в чистом виде на сегодняшний день являются этаноламины: моноэтаноламин CH₂OH-CH₂-NH₂, диэтаноламин (CH₂OH-CH₂)₂NH и триэтаноламин (CH₂OH-CH₂)₃N. На практике, в основном,

используется 30%-ный водный раствор моноэтиламина. Этот раствор имеет щелочные свойства. При абсорбции CO_2 образуются карбонаты и бикарбонаты с выделением 66кДж/моль энергии. Взаимодействие моноэтаноламина RNH_2 (где R- группа $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CH}_2$) с CO_2 :



Полученное соединение диссоциирует при температуре выше 100°C с выделением из раствора CO_2 . Данная реакция диссоциации проводится для регенерации раствора, при которой восстанавливаются его абсорбирующие свойства.

Опытно-промышленные испытания пилотного двухступенчатого контактно-рекуперативного теплообменника, рассчитанного на $2000 \text{ м}^3/\text{час}$ газа, в условиях цементного завода, работающего по мокрому способу производства клинкера, на запыленных отходящих газах от цементной печи показали следующие результаты: расход отходящих газов: $1700 \text{ м}^3/\text{час}$; температура отходящих газов: на входе – 170°C ; на выходе - 65°C ; температура чистого теплоносителя: на входе - 25°C ; на выходе - 73°C ; расход чистого теплоносителя: $2,5 \text{ м}^3/\text{час}$; площадь поверхности теплообмена: $3,75 \text{ м}^2$; аэродинамическое сопротивление: 2000 Па ; эффективность пылеулавливания: $99,5 \%$ [5].

Таким образом, единственным устройством (по результатам литературного поиска), позволяющим осуществлять одновременное глубокое охлаждение уходящих газов до температур $30-40^\circ\text{C}$ и получать максимальную температуру чистого теплоносителя на выходе близкой к температуре мокрого термометра газа (для котлов $55-60^\circ\text{C}$, для печей цемзавода - 80°C), работать в запыленных и агрессивных средах, улавливать вредные компоненты и абсорбировать CO_2 , является двухступенчатый контактно-рекуперативный теплообменник (конденсационный теплообменник-утилизатор) – разработка ученых БГТУ им. Шухова.

По предварительным расчетам данный теплообменник-утилизатор тепла уходящих газов позволит повысить КПД котельной на 5-7% (считая по высшей теплоте сгорания топлива), утилизировать около 70 кВт тепла на 1 МВт установленной мощности котлов, энергетический показатель эффективности данного теплообменника $Q_{\text{ут}}/N_э = 80$, (где $Q_{\text{ут}}$ - утилизированная тепловая мощность, кВт; $N_э$ - электрическая

мощность, затрачиваемая на прокачку теплоносителей, кВт), срок окупаемости около 0,5 года [6, 7].

Однако, широкое внедрение данного типа теплообменника-утилизатора сдерживается рядом причин:

1. Относительно низкая температура чистого теплоносителя на выходе из теплообменника (55-60°C), который может быть использован только для горячего водоснабжения и подогрева подпиточной воды перед химводоочисткой. Поэтому, необходимо изыскивать дополнительные теплообменные устройства, чтобы догреть этот теплоноситель до параметров, пригодных для отопления.

2. Отсутствие конструкций различных типоразмеров данного вида теплообменников под различные типы котлов и печей.

Таким образом, дальнейшее исследование в данной области позволит выработать технологическую базу для проектирования и расчета КРТ, а также усовершенствовать его для еще большего повышения эффективности.

Библиографический список

1. Выбросы CO₂ от сжигания топлива [Электронный ресурс]. URL: <https://yearbook.enerdata.ru/co2-fuel-combustion/CO2-emissions-data-from-fuel-combustion.html>

2. Deep ice tells long climate story [Электронный ресурс]. URL: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/5314592.stm>

3. Earth challenge [Электронный ресурс]. URL: <http://www.virginearth.com>

4. А.с. 1795251 СССР, F28C 3/06. Способ утилизации тепла отходящих газов / М.И. Кулешов, Б.М. Гришко, В.В. Носатов, О.А. Петрунов; заявитель Белгор. технол. ин-т строит. материалов. № 4823820; заявл. 07.05.1990; опубл. 15.02.1993. 4 с.

5. Кулешов М.И., Носатов В.В. Контактно – рекуперативный теплообменник для комплексной обработки горячих запыленных отходящих газов. М.: Изд-во МЭИ., 1991. 11 с.

6. Стенд и некоторые результаты испытаний топливосберегающего конденсационного водогрейного котла / В.П. Кожевников, М.И. Кулешов, А.В. Губарев и др. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 3. С. 182-184.

7. Condensing hot water boiler: applicability, design and research / V.P. Kozhevnikov, M.I. Kuleshov, A.V. Gubarev and other // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2014. № 5. С. 1564.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭНЕРГОАУДИТА МБОУ СОШ № 4 ГОРОДА БЕЛГОРОДА

Магистрант **Гончаренко П.С.**

Магистрант **Свирин М.В.**

Научный руководитель д-р техн. наук, доц. **Трубаев П.А.**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

Здание МБОУ СОШ №4 выполнено из силикатного кирпича и имеет четыре этажа. Наружные стены имеют толщину 51 см. На южном фасаде есть утолщения наружной стены (колонны), выполненные толщиной в 76 см. Две трети окон заменены пластиковыми.

Из зависимости потребления тепловой энергии от температуры наружного воздуха (рис. 1) следует, что система отопления отрегулирована, хотя небольшие «перетопы» и «недотопы» присутствуют.

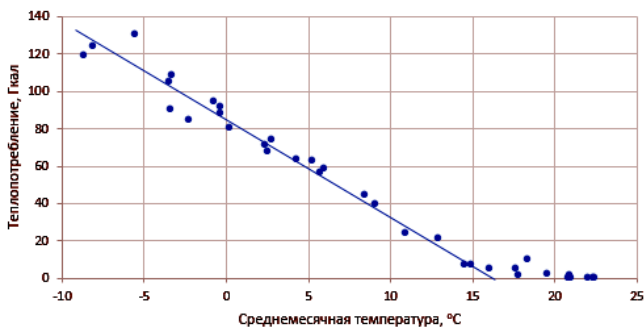


Рис.1. Фактическое потребление тепловой энергии в зависимости от наружной температуры

Школа является потребителем тепловой энергии, электроэнергии и холодной воды. Затраты на энергоресурсы за 2016 г. составили 1190 тыс. руб. Структура затрат на энергоресурсы следующая: теплоснабжение – 74%; электроэнергия – 19%; холодное водоснабжение – 7%. Это означает, что наиболее перспективным направлением энергосбережения является сокращение расходов на тепловую энергию.

Динамика потребления тепловой энергии имеет ярко выраженные максимумы в зимние периоды и минимумы – в летние. Потребление электроэнергии также увеличивается в зимние месяцы, в связи с

уменьшением светового дня. Потребление холодной воды в течение года более равномерно, минимум потребления приходится на летние месяцы. Тенденций к изменению потребления энергоресурсов не наблюдается. Для определения структуры затрат на электроэнергию был составлен список энергопотребляющего оборудования и определен режим его работы [1]. Основным потребителем электричества является освещение – 61%.

Удельный расход тепловой энергии на отопление в среднем за три года составил 0,15 Гкал/м² за отопительный период. Этот показатель выше среднего значения для образовательных учреждений г. Белгорода, равного 0,133 Гкал/м² на 15%. Удельные расходы электроэнергии и воды ниже средних почти в 1.5 и 2 раза соответственно. Класс энергобережения здания - C– (нормальный) [2].

Для того, чтобы определить наиболее перспективные направления уменьшения потерь тепла, был выполнен тепловой расчет, результаты которого представлены в табл. 1, и составлена структура тепловых потерь [3]. Основными статьями расхода являются: потери от вентиляции и инфильтрации – 28%, через наружные стены – 25%, потери через окна – 29%. Именно эти ограждающие конструкции нуждаются в модернизации в первую очередь.

В процессе работы было проведено наружное тепловизионное обследование здания. В ходе работ были выявлены повышенные температуры межоконных областей стены южного фасада и цокольной части здания.

Таблица 1

Структура тепловых потерь здания

Статья потерь	Площадь, м ²	Сопротивление теплопередаче R, м ² ·°C/Вт	Теплопотери за отопительный сезон	
			МДж	Гкал
Основная стена	1483,7	0,92	614135,7	146,71
Утолщенная стена	265,6	1,29	78405,1	18,73
Окна пластиковые	693,9	0,51	518122,9	123,78
Окна деревянные	362,4	0,44	313647,3	74,93
Металлические двери	27,3	0,37	28097,5	6,71
Пластиковые двери	5,9	0,35	6419,3	1,53
Покрытие крыши	1746,7	2,22	179772,2	42,95
Перекрытие подвала	1746,7	3,7	299620,4	71,58
Потери от инфильтрации и вентиляции	6332,2	3,03	795825,9	190,12
Всего			2834046	677,03

На рис. 2 видно, что температура областей стены между окнами составляет в среднем 8°C , повышаясь в некоторых местах до 9°C . В то же время температура утолщенной части стены равна 5°C . Перепад температур составляет $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$, что позволяет считать эти области дефектами теплоизоляционной оболочки.

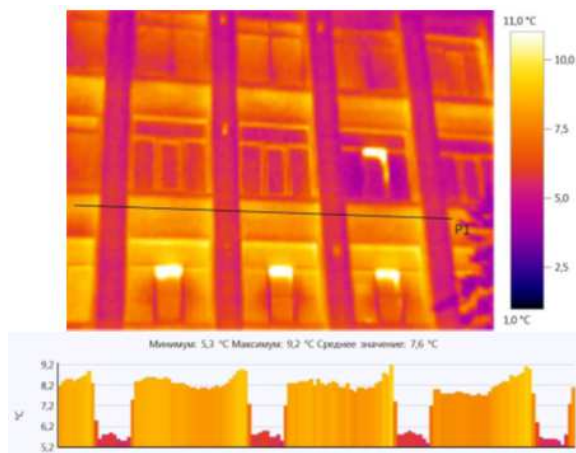


Рис.2. Термограмма южного фасада

Таким образом, становится очевидным, что нет необходимости в тепловой изоляции всех ограждающих конструкций. Достаточно произвести утепление межоконных областей южного фасада и цоколя здания.

По результатам внешнего тепловизионного обследования и теплового расчета были предложены энергосберегающие мероприятия и проведен их технико-экономический анализ (табл. 2).

1. Установка теплоотражающих экранов. Радиаторы отопления излучают ненаправленный тепловой поток, и вместе с нагревом помещения они обогревают стену, что приводит к повышенным теплопотерям.

2. Установка терморегуляторов на радиаторы отопления. Как было сказано ранее, в школе присутствуют незначительные перетопы. Также в некоторых кабинетах поддерживается некомфортно низкая температура, в то время как в других – слишком высокая. Терморегуляторы способны устранить перетопы, а также выровнять температуры в помещениях.

Таблица 2

Энергосберегающие мероприятия МБОУ СОШ №4

Мероприятие	Стоимость, тыс.руб.	Экономический эффект, тыс. руб./год	Срок окупаемости, лет
Замена ламп накаливания на светодиодные	6,3	6,2	1,0
Установка теплоизоляционных отражающих экранов	26,9	26,0	1,0
Установка терморегуляторов	517,5	79,1	6,5
Утепление межоконных областей	345,4	25,9	13,3
Утепление цоколя и нижних частей стен	153,8	9,4	16,4

3. Утепление межоконных областей южного фасада – мероприятие первой важности, т.к. устраняет основной дефект ограждающей оболочки здания.

4. Утепление цоколя – также устраняет большие теплопотери через цоколь здания. Особенно важно утеплить цоколь южного фасада.

5. Установка приточно-вытяжных установок с рекуператором. В конструкции здания школы реализована естественная вентиляция, при которой приток воздуха осуществляется через открытые окна, а отток через вытяжку. Потери от вентиляции и инфильтрации составляют 28% от общих теплопотерь. К тому же проветривание в школе проводится в течение перерывов между уроками, что приводит к нарушению комфорта в помещениях.

Библиографический список

1. **Апсаямова Я.И., Тарасюк П.Н., Трубаев П.А.** Определение расхода энергетических ресурсов в зданиях // Образование, наука, производство. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 1183-1187.

2. Анализ термического сопротивления ограждающих конструкций различного типа по результатам инструментальных измерений / П.Н. Тарасюк, Д.А. Ващенко, П.А. Трубаев, В.В. Радченко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 142-147.

3. **Нестеров М.Н., Трубаев П.А., Михайлова М.Ю.** Интеллектуальные энергокомпании: сейчас время для следующего шага // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 208-211.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

Аспирант **Горягин П.Ю.**

Аспирант **Ермилов Р.А.**

Магистрант **Якимец Н.А.**

Студент **Севостьянова К.И.**

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. **Севостьянов М.В.**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

***Аннотация.** В данной статье предложены разработанные техника и технология измельчения техногенных полимерных материалов. Представлены результаты поисковых экспериментов по измельчению полимерных отходов дисковыми фрезами.*

Актуальными задачами, на сегодняшний день, являются комплексная переработка техногенных полимерных материалов (ТПМ), охрана окружающей среды от загрязнений, организация мероприятий по природообустройству сферы обитания человека [1].

В большинстве случаев, при переработке ТПМ одной из энергоемких стадий является процесс измельчения. От степени измельчения ТПМ зависит возможность изготовления изделий из перерабатываемых отходов и области применения вторичного сырья [2].

В связи с этим, целью проводимых исследований является разработка конструкции многофункционального помольного агрегата, который позволит реализовать комбинированное воздействие на перерабатываемый материал.

Для увеличения эффективности измельчителя ТПМ и повышения степени их измельчения необходимо разработать технологию, включающую стадии предварительной подготовки сырья, постадийного объемно-сдвигового деформирования материала с реализацией его внутреннего и внешнего рециклинга, классификации перерабатываемых ТПМ, создания постадийного измельчения – локальных зон истирающих напряжений и др. [3].

На стадии предварительной подготовки материала предлагается использовать пресс-валковый агрегат с шипованными валками (рис. 1) [4]. ПВА состоит из валков, вращающихся навстречу друг другу, привода и рамы. На рабочей поверхности валков изготовлены шипы. Использование ПВА с валками данного вида позволит перфорировать

ПЭТ бутылки, избегая высоких энергозатрат процесса прессования, повысить производительность измельчителя за счет увеличения плотности исходного материала, обеспечивать стабильную подачу спрессованного материала в камеру измельчителя и др. (рис. 2) [5].



Рис. 1. Пресс-валковый агрегат с шипованными вальками



Рис. 2. Деформированный материал после ПВА

Для измельчения ТПМ до порошкообразного состояния предлагается использовать роторно-центробежный агрегат комбинированного действия (РЦА КД) [6]. В этом агрегате реализован принцип многостадийного измельчения. Предварительно спрессованный материал в ПВА подается в первую камеру помола с ротором в виде дисковых фрез.

Измельченный до размеров материал $d_{cp} \leq (0,5 \div 30) \cdot 10^{-3}$ м попадает в нижнюю часть первой камеры через отверстия в кольце, которое образовано набором уголков.

Для проведения поисковых экспериментов по подтверждению эффективности процесса измельчения ТПМ в РЦА КД была собрана первая камера с ротором в виде дисковых фрез (рис. 3).

При проведении экспериментов в камеру подавались ПЭТ бутылки, предварительно спрессованные в ПВА. После завершения эксперимента измельченный материал отбирался из камеры, производился его рассев и взвешивание (табл. 1, рис. 4).

Таблица 1
Результаты поисковых экспериментов по измельчению ТПМ
дисковыми фрезами

Наименование параметра	Значение
Масса исходного продукта, г.	100
Масса материала с размером частиц $d > 10$ мм, %	47
Масса материала с размером частиц $d > 2$ мм, %	33
Масса материала с размером частиц $d > 1$ мм, %	11
Масса материала с размером частиц $d < 1$ мм, %	9



Рис. 3. Первая камера РЦА КД с приводом



Рис. 4. Измельченный материал различного фракционного состава:
а) $d > 10$ мм; б) $10 \text{ мм} \geq d > 2$ мм;
в) $2 \text{ мм} \geq d > 1$ мм; г) $d \leq 1$ мм

Выводы

1. Результаты поисковых экспериментов по измельчению ТПМ дисковыми фрезами подтверждают эффективность и целесообразность использования РЦА КД.

2. Первая камера по технологическому назначению выполняет функции дробления и грубого помола.

3. Основными направлениями конструктивно-технологического совершенствования РЦА КД являются: улучшение способа равномерной подачи ТПМ в агрегат, повышение эффективности использования футеровки первой камеры, обеспечение условий внутреннего рециклинга материала и его выгрузки из первой камеры во вторую под действием разряжения.

Библиографический список

1. **Свергузова С.В.** Промышленная экология как неперемное условие стабильного развития: Учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2008. 155 с.

2. **Горягин П.Ю., Ермилов Р.А.** Техника и технологии для переработки техногенных полимерных материалов // Молодежь и научно-технический прогресс: Сб. докл. X международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4 т. Т. 3. Губкин: ООО «Ассистент плюс», 2017. С. 83-86.

3. Технологические комплексы и оборудование для переработки и утилизации техногенных материалов / В.С. Севостьянов, В.И. Уральский, М.В. Севостьянов, О.А. Носов. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. 321с.

4. **Севостьянов В.С., Носов О.А., Бережной О.Л., Варданян Г.Р.** Техника и технология измельчения вторичного полимерного сырья // Международная научно-практическая конференция «Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды»- Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015.-С. 50-54.

5. **Севостьянов М.В.** Ресурсо-сберегающее оборудование для комплексной переработки техногенных материалов. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. №4. С. 140-145.

6. Пат. 2540549 Рос. Федерация, МПК В02С 18/00. Установка для измельчения волокнистых материалов / Глаголев С.Н., Севостьянов В.С., Севостьянов М.В., Сиваченко Л.А., Сиваченко Т.Л., Михайличенко С.А., Макридин А.А., Маншин А.С.; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова". № 2013141378/13; заявл. 09.09.2013; опубл. 10.02.2015, Бюл. № 4. 11 с.

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Студент **Дистель С.А.**

Студент **Кордубайло В.В.**

Студент **Хребтов М.А.**

Научный руководитель ст. преп. **Воловиков А.А.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г.Шухова, г. Белгород*

***Аннотация.** В работе выделяются и описываются характерные особенности методов диагностики воздушных линий, и возможности использования в этом дронов. Приведены и систематизированы технические характеристики основных типов беспилотных летательных аппаратов. На основании этих данных приведены их достоинства и недостатки, а также рассчитана эффективность их использования при диагностике воздушных линий.*

В настоящее время является актуальной проблема своевременного выявления повреждений воздушных линий электропередач (ВЛЭП) с их последующей ликвидацией, чтобы предотвратить аварийное отключение линии. Работа по предотвращению неисправностей имеет как практический, так и экономический эффект. С практической точки зрения это упрощение процесса эксплуатации линий. С экономической же стороны это сокращение расходов на замену вышедшего из строя оборудования, а так же уменьшение численности ремонтного и обслуживающего персонала. Поэтому диагностика является одним из главных элементов эксплуатации ВЛЭП, а, следовательно, и применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), как наиболее перспективного метода обследования.

Целью данной работы является экономическое сравнение методов обследования воздушных линий электропередачи, оценка экономической эффективности использования БПЛА для обслуживания ВЛЭП, оценка перспективы развития БПЛА в электроэнергетике Белгородской области.

Беспилотным летательным аппаратом – называется воздушное судно без пилота на борту. Так же беспилотные летательные аппараты называются дронами. Беспилотные летательные аппараты разделяются на два типа: самолетный и вертолетный. На БПЛА возможна установка нескольких видов двигателей: электрических, бесколлекторных, дви-

гателей внутреннего сгорания. Дроны могут развивать скорость до 150 км/ч. Беспилотные летательные аппараты могут выполнять как фотосъемку, так и видеосъемку. Так же дроны обладают способностью не только перемещаться в пространстве, но и зависать на месте над объектом.

В процессе эксплуатации воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) могут возникать сложности, вызванные различными факторами. С целью выявления дефектов и неисправностей периодически проводятся осмотры ВЛЭП. Осмотр – это зрительная проверка состояния воздушной линии. Верховым называется осмотр, с подъемом на опору. Для ВЛ различного уровня напряжения составляются особые графики обследований, с частотой [5]:

- 1 раз в год по всей длине линии;
- верховые осмотры, 1 раз в 10 лет для линий с уровнем напряжения выше 35 кВ;
- верховые осмотры, 1 раз в 5 лет для линий с уровнем напряжения выше 35 кВ, находящихся более 20 лет в эксплуатации, или в зонах с повышенным загрязнением;
- верховые осмотры проводятся по необходимости для линий с уровнем напряжения 0,38 – 20 кВ [4].

Обеспечение безопасной работы персонала является основным аспектом в энергетической отрасли. Для этого внедряются нововведения, в том числе использование БПЛА. Беспилотный летательный аппарат используется при плановой диагностической работе и аварийно-восстановительных работах. Так же при использовании дрона можно осуществлять верховой осмотр воздушной линии, тем самым уменьшая вероятность травматизма рабочего персонала при работах на высоте. Так же использование дрона позволяет производить осмотр в самых удаленных и труднодоступных местах.

Осмотр воздушных линий электропередач с помощью БПЛА может выявить следующие неисправности ВЛЭП: недопустимое провисание провода в пролете, повреждение провода, в том числе и обрыв провода, образование коррозии на металлических опорах, дефекты железобетонных опор, отклонение опоры от вертикали, проседание грунта вокруг опоры, загрязнение и разрушение изоляторов, разворот траверсы на опоре. Так же можно с помощью дронов наблюдать наличие или отсутствие растительных зарослей и несанкционированную деятельность посторонних лиц в охранной зоне.

Основными БПЛА для обследования ВЛЭП, используемые в России (рис. 1) – это «Геоскан 401» (а), «Геоскан 101» (б), «Геоскан 201» (в) компании «Геоскан», г. Санкт-Петербург [1], и «Птеро – G0» (г) компании «АФМ-Серверс», г. Москва [2]. В табл. 1 приведены технические характеристики рассматриваемых марок БПЛА.

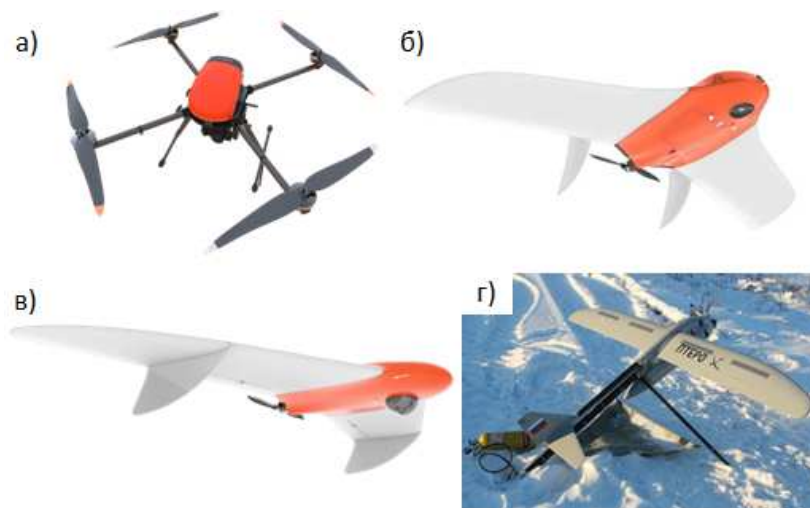


Рис. 1. Беспилотные летательные аппараты для обследования ВЛЭП

Беспилотные летательные аппараты при осмотре воздушной линии обладают преимуществами и недостатками. К преимуществам относятся: высокая производительность, прочный и надежный корпус, простота в процесс работы и обслуживания, безопасный в использование, компактный размер, что позволяет доставлять БПЛА в любое место. К основному недостатку всех дронов относятся получения смазанных фото и видео изображений из-за вибрации. Для дронов с электрическим двигателем недостатком является малое соотношение емкости аккумуляторной батареи к его весу, из-за этого продолжительность полета не велика. Для дронов на бензиновом двигателе основным недостатком является вероятность возгорания двигателя.

Таблица 1

Основные технические характеристики БПЛА

Марка	«Геоскан 401»	«Геоскан 101»	«Геоскан 201»	«Птеро-G0»
Класс	Мульти-роторные	Самолетный, малого радиуса действия	Самолетный, среднего радиуса действия	Самолетный, большого радиуса действия
Время полета	До 1 часа	До 1 часа	До 3 часов	До 8 часов
Максимальная длина маршрута	24 км	От 70 км	210 км	До 800 км
Площадь съемки за один полет	2-6 км ²	3-9 км ²	7-22 км ²	60-100 км ²
Максимальная допустимая скорость ветра	До 10 м/с	До 12 м/с	До 12 м/с	До 15 м/с
Скорость в полете	0-50 км/ч	25-125 км/ч	25-140 км/ч	85-115 км/ч
Максимальная масса при взлете	9,5 кг	3,1 кг	8,5 кг	20 кг
Максимальная масса полезной нагрузки	2 кг	0,8 кг	1,5 кг	5 кг
Вид двигателя	Электрический	Электрический, бесколлекторный	Электрический, бесколлекторный	Двигатель внутреннего сгорания
Минимальная безопасная высота при полете	10 м	100 м	100 м	80 м
Максимальная высота при полете	500 м	4000 м	4000 м	3000 м
Время подготовки к взлету	5 мин	10 мин	10 мин	15 мин
Температура эксплуатации АКБ Стандарт	От -20 до +40 °С	От -20 до +40 °С	От -20 до +40 °С	От -30 до +40 °С
Температура эксплуатации АКБ Арика	От -40 до +20 °С	От -40 до +20 °С	От -40 до +20 °С	От -30 до +40 °С
Стоимость, тыс. руб.	1650	980	1680	4100

На сегодняшний день существует несколько способов контроля состояния ВЛЭП, например:

1. Пешие обходы линий – пока наиболее распространенный в России, но в то же время трудоемкий способ. В труднодоступной местности данный способ может представлять угрозу безопасности рабочего персонала, для некоторых районов применение данного метода не представляется возможным.

2. Облеты линий на вертолете – как правило, проводятся без использования специального оборудования, поэтому эффективность данного метода ограничивается опытом и остротой зрения специалиста

3. Обследование линий БПЛА – метод довольно недавно появившийся в России, хотя в зарубежных странах уже накопился определенный опыт использования БПЛА.

Из данных способов контроля наиболее эффективными на данный момент являются пеший обход линии и обследовании линий БПЛА.

Ниже представлено экономическое сравнение двух способов контроля состояния ВЛЭП (табл. 2).

Таблица 2

Оценка экономической эффективности при использовании БПЛА
для осмотра ВЛЭП

Параметр	Пешая группа	«Геоскан 401»	«Геоскан 101»	«Геоскан 201»	«Птеро-G0»
Численность рабочей группы	3	2	2	2	2
Заработная плата, руб ¹ .					
человека в месяц	41490	44695	44695	44695	44695
группы в день	5927	4257	4257	4257	4257
Число рабочих часов в день, ч	8	5	5	5	5
Скорость осмотра, км:					
в час	2	24	70	85	115
в день ²	16	72	210	210	500

Окончание табл. 2

Параметр	Пешая группа	«Геоскан 401»	«Геоскан 101»	«Геоскан 201»	«Птерро-G0»
Стоимость БПЛА, руб. ³	–	1650000	980000	1680000	4100000
Стоимость эксплуатации БПЛА ⁴ , руб.:					
при 500 взлетов/посадок (250 дней)	–	550000	326667	560000	1366667
в течение 1 дня ⁵	–	2200	1307	2240	5467
при осмотре 1 км ВЛЭП ⁵	–	31	6	11	11
Общая стоимость осмотра 1 км ВЛЭП, руб.	370	90	26	31	19
Время осмотра 1000 км ВЛЭП, дней	63	14	5	5	2
Стоимость осмотра 1000 км ВЛЭП, руб.	370446	89681	26495	30938	19447

Примечания:

¹ Данные по заработной плате взяты с сайта Росстата [3].

² Дальность полета указана для полета в обе стороны. Не учтена поправка на траекторию движения БПЛА, которая зависит от кривизны линии, а также от скорости ветра. Полетное время снижается при плохих летных условиях. Допускается работа БПЛА во время дождя, но это вредит качеству снятого материала.

³ Стоимости комплексов взяты с сайта [1, 2] и актуальны на начало 2017 г.

⁴ При сравнительном анализе не учитывались расходы на транспорт и другое оборудование, так как они одинаковы во всех случаях.

⁵ Расчеты велись с учетом максимальной трудовой занятости комплекса, 500 взлетов/посадок (250 дней), в течении 3 лет.

По рассчитанным значениям можно сказать, что использование БПЛА в несколько раз экономически эффективнее обследования наземной группой, но в расчетах была максимизирована занятость БПЛА в диагностике ВЛЭП, поэтому полученные значения имеют

скорее ориентировочный характер. Использование БПЛА рациональнее в труднодоступных районах, с большой протяженностью линий. Для Белгородской области широкое применение диагностики с помощью дронов в ближайшее время маловероятно, так как помимо всех перечисленных преимуществ они имеют и недостатки: высокую стоимость комплекса и необходимость наличия квалифицированных узкоспециализированных кадров.

Библиографический список

1. ГК Геоскан Беспилотные технологии для профессионалов Geoscan производитель беспилотников в России [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geoscan.aero/>.
2. АФМ-СерверсПтеро-G0 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.airwar.ru/enc/bpla/pterosm.html>.
3. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru>.
4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [Электронный ресурс]. URL: <http://птээп.рф/>.
5. Эксплуатация воздушных линий электропередачи [Электронный ресурс]. URL: <http://forca.ru>.
6. **Нестеров А.М., Вендин С.В.** Обзор возможности строительства ВЛ 35 кВ в габаритах ВЛ 10 кВ в Белгородской области // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 200–203.
7. **Лоскутов А.Б., Соснина Е.Н., Лоскутов А.А.** Новый подход к построению электрических распределительных сетей России // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 148–152.

СОТОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА НА ОСНОВЕ SMART-GRID

Магистрант **Дубовский А.И.**

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. **Коваленко В.В.**

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

***Аннотация.** Предложена концепция развития сотовой энергетики на основе smart-grid-технологии. Рассмотрены вопросы децентрализованной выработки электроэнергии за счет применения альтернативных источников и её распределение, а также новые способы управления микросистемами за счет интеллектуальной обработки информации, полученной от потребителей.*

В последнее время в мире наблюдается тенденция к развитию саморегулирующихся сетей электроснабжения, которые за рубежом получили название smart-grid. Под smart-grid понимают систему нового поколения, в которой происходит взаимодействие электроэнергетики с IT-технологиями для сбора и обработки информации, например, о состоянии электрооборудования, потребляемой мощности. Сама идея внедрения интеллектуальных сетей подразумевает передачу не только электрической энергии, но и информации. Это позволяет системе самой распределять электрическую энергию между потребителями для достижения максимальной эффекта энергопотребления и снижения затрат.

Цель данной статьи состоит в рассмотрении системы smart-grid для её внедрение в современные системы электроснабжения.

Интерес к развитию интеллектуальных сетей связан в первую очередь с повышением энергоэффективности. При централизованном электроснабжении («электрическая станция – повышающая подстанция – понижающие подстанции – потребитель») передача энергии сопровождается огромными потерями, что недопустимо при ограниченности энергетических источников. Также при централизованном электроснабжении большую сложность представляет собой регулирование выдаваемой мощности при постоянно меняющейся мощности потребителей. Решить данные проблемы удастся внедрением концепции сотовой энергетики и применении технологии «smart-grid». При использовании smart-grid предполагается, что будущая сеть не будет содержать иерархическую структуру и потребители будут расположены в непосредственной близости от маломощных альтернативных источ-

ников электроэнергии [1]. Это будет очень сложная система электро-снабжения, неструктурированная, которая будет содержать smart-датчики и smart-счетчики для контроля и мониторинга состояния потребителей и электрооборудования. В этой системе вырабатывается именно столько энергии, сколько необходимо потребителю на данный момент времени. В случае излишней генерации подключаются аккумуляторные батареи, энергия которых расходуется только в случае недостатка мощности. Стоит отметить, что концепция Сотовой энергетики предполагает, что потребитель сам может выступать в качестве поставщика и продавать свою собственную энергию от ветрогенератора или солнечной батареи сетевым компаниям [2].

Технической единицей малой распределенной энергетики являются локальные энергосистемы, которые могут быть представлены различным сочетанием генерирующих и сетевых объектов, а также иного электротехнического оборудования, которые могут быть изолированными энергетическими островами либо иметь электрические связи с централизованными электрическими сетями и взаимодействовать с ними с помощью технологий «smart-grid».



Рис.1. Сотовая система на основе smart-grid

Измерительные приборы и устройства (smart-датчики) являются ключевой характеристикой интеллектуальных сетей. Данные приборы будут выполнять следующие операции:

- 1) контроль состояния электрооборудования;
- 2) обеспечение непрерывного мониторинга данных, способное минимизировать ошибки при выставлении счетов потребителям;
- 3) способствование прямому взаимодействию между поставщиком услуг и потребителем.

Для повышения эффективности передачи электроэнергии в системах Smart Grid используют устройств FACTS (гибкая система передачи переменного тока). FACTS является одной из наиболее перспективных электросетевых технологий, суть которой состоит в том, что электрическая сеть из пассивного устройства транспорта энергии превращается в устройство, активно участвующее в управлении режимами работы электрических сетей [3]. К данным устройствам относится оборудование, предназначенное для регуляции уровня напряжения и поддержание необходимого уровня реактивной мощности в электрических сетях. Стоит отметить, что помимо регулирования абсолютной величины напряжения, устройства FACTS способны к изменению фаз вектора напряжения. Все это стало возможным благодаря использованию элементов силовой электроники при разработке современного оборудования.

Значимое место в функционировании «умных сетей» занимают накопители энергии. Как отмечалось ранее, данные устройства позволяют выравнять графики нагрузки в сети (накопление электрической энергии в периоды избыточной энергии и выдача в сеть в период дефицита), обеспечивать бесперебойное питание объектов электроснабжения, а также стабилизировать работу источников энергии с неравномерным графиком выработки электричества. Для связи накопительного устройства с сетью применяют зарядно-преобразовательные устройства на основе элементов силовой электроники.

Одним из важнейших элементов интеллектуальных сетей являются цифровые подстанции. Основная задача таких подстанций – замена обмена аналоговыми и дискретными сигналами, поступающих от аналоговых измерительных приборов, на передачу информации при помощи цифровых сообщений. По данному вопросу на сегодняшний день больше всего разработок для такого оборудования, как измерительные трансформаторы тока и напряжения (оптические трансформаторы), а также микропроцессорная релейная защита и автоматика.

Остановимся подробнее на цифровых трансформаторах. Принцип действия данных приборов основан на применении двух физических явлений [4]:

1) изменение угла поляризованного светового луча в магнитном поле (продольный магнитооптический эффект Фарадея) – данное явление используется при разработке цифровых трансформаторов тока;

2) поворот вектора поляризованного светового потока под действием электрического поля (электрооптический эффект Погкельсона) используется для разработки трансформаторов напряжения.

Несомненным преимуществами оптических трансформаторов тока являются [4]:

1) измерение токов и напряжений в широком диапазоне;

2) высокий класс точности;

3) для цифровых ТТ возможна передача достоверной информации о токах короткого замыкания в первый период времени; это стало возможным из-за отсутствия насыщения магнитопроводов апериодической составляющей КЗ, которое вызывает в аналоговых трансформаторах тока большие погрешности;

4) полная взрыво- и пожаробезопасность.

Подводя итоги, можно сказать, что применение замкнутых сетей на основе smart-grid позволяет избежать большую часть проблем, возникающих в централизованных сетях, дает возможность иметь конкурентные преимущества при производстве энергии и обеспечить экологическую безопасность при ее производстве и передаче.

Библиографический список

1. **Кобец Б.Б., Волкова И.О.** Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ Энергия, 2010. 208 с.

2. **Коваленко В.В., Степанов С.Ф., Коваленко П.В.** Управление инновационными объектами в электроэнергетике на основе кластерного подхода // Химическая физика и актуальные проблемы энергетики: сборник тезисов и статей Всероссийской молодежной конференции. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. С. 142-145.

3. Методика оценки технико-экономической эффективности применения устройств FACTS в ЕНЭС России: Стандарт Организации ОАО ФСК ЕЭС, Проект. М., 2009. 35 с.

4. **Гречухин В.Н.** Электронные трансформаторы тока и напряжения. Состояние, перспективы развития и внедрения на ОРУ 110–750 кВ станций и подстанций энергосистем // Вестник ИГЭУ. 2006. №4. С 1–9.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Аспирант **Жилин Е.В.**

Студент **Гергель Е.О.**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

***Аннотация.** Статья посвящена оптимальному выбору мощности фильтр компенсирующих устройств по критерию минимума потерь активной мощности. Использование пассивных фильтров гармоник существенно помогает добиться простого и эффективного способа повышения ПКЭ. В качестве исследовательской задачи была произведена попытка оценить дополнительные потери активной мощности по критерию минимума. Для примера был рассмотрен фрагмент системы электроснабжения.*

Электроэнергетика стала неотъемлемой частью человеческой жизни. Развитие данной отрасли связано с научно-техническим и социальным скачком прогресса, что сопровождается с увеличением потребляемой энергией.

Цель работы заключается в определении объекта, параметров и критериев оптимизации, а также ограничений для целевой функции.

Современная структура электропотребления характеризуется расширяющейся нелинейной нагрузкой, которая имеет импульсный характер электропотребления, широкий спектр высших гармоник (ВГ) и низкую электромагнитную совместимость с питающей сетью [1].

Наличие ВГ в трехфазных сетях приводит к различным негативным последствиям [2, 3]:

- возникновение дополнительных потерь электроэнергии в элементах системы электроснабжения;
- ускоренному старению изоляции кабелей, трансформаторов и электрических машин;
- ложным срабатываниям устройств релейной защиты и автоматики;
- увеличению погрешности измерения приборов учета;

Увеличение доли нагрузки с нелинейной вольтамперной характеристикой в электрической сети, приводит к искажению формы, и как следствие, гармонического состава напряжения не только на зажимах потребителя, но и всей сети электроснабжения, что существенно сказывается на показателях качества электроэнергии (ПКЭ) системы электроснабжения, которые регламентируют ГОСТ Р 32144-2013 [4].

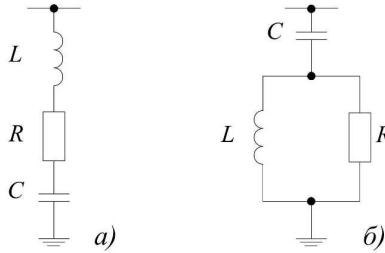


Рис. 1. Схемы ПФГ: а) резонансный; б) широкополосный

Для подавления ВГ и уменьшения дополнительных потерь электроэнергии используются различные технические устройства. Одним из простых и эффективных способов повышения ПКЭ является использование пассивных фильтров гармоник (ПФГ). По своему назначению ПФГ подразделяют на резонансные и широкополосные (рис. 1) [5].

Резонансные фильтры настраиваются на подавление одной предварительно выбранной гармоники. Широкополосные фильтры предназначены для подавления высших гармоник в строго ограниченном частотном диапазоне. У таких фильтров также имеется существенный недостаток: помимо подавления амплитуд ВГ они снижают амплитуду основной гармоники. Основным преимуществом является невысокая стоимость по отношению к другим техническим устройствам. Однако неправильный выбор мощности ПФГ в узлах системы электроснабжения приводит к недостаточной компенсации ВГ и не к удовлетворительному снижению дополнительных потерь электроэнергии.

Постановка оптимизационной задачи заключается в определении объекта, параметров и критериев оптимизации, а также ограничений для целевой функции.

Для примера рассмотрим фрагмент системы электроснабжения, представленный на рис. 2. Для узлов системы электроснабжения требуется определить величину тока компенсации третьей гармоники исходя из условия минимума потерь активной мощности.

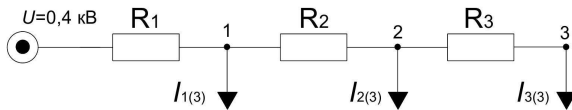


Рис. 2. Фрагмент системы электроснабжения

Исходными данными является напряжение сети ($U_{ном}=0,4$ кВ), сопротивление линии ($R_1=0,018$ Ом; $R_2=0,014$ Ом; $R_3=0,022$ Ом), ток третьей гармоники в узлах ($I_{1(3)}=3,8$ А; $I_{2(3)}=4,1$ А; $I_{3(3)}=3,3$ А).

Требуется найти оптимальную величину тока компенсации ПФГ между узлами 1, 2 и 3 по заданному току третьей гармоники.

Подлежащая минимизации целевая функция, представляет собой потери активной мощности в системе электроснабжения, имеет следующий вид:

$$\Delta P = R_1 \cdot (I_{1(3)} + I_{2(3)} + I_{3(3)} - I_{k1}^{(3)} - I_{k2}^{(3)} - I_{k3}^{(3)})^2 + \\ + R_2 \cdot (I_{2(3)} + I_{3(3)} - I_{k2}^{(3)} - I_{k3}^{(3)})^2 + R_3 \cdot (I_{3(3)} - I_{k3}^{(3)})^2 \rightarrow \min$$

Область ограничения задается из условия, что ПФГ может компенсировать 75 % тока третьей гармоники:

$$(I_1^{(3)} + I_2^{(3)} + I_3^{(3)}) - 0,75(I_{k1}^{(3)} + I_{k2}^{(3)} + I_{k3}^{(3)}) \rightarrow 0$$

Для решения данной целевой функции воспользуемся методом Лагранжа. Функция Лагранжа примет следующий вид [6]:

$$L = 0,018 \cdot (11,2 - I_{k1}^{(3)} - I_{k2}^{(3)} - I_{k3}^{(3)})^2 + 0,014 \cdot (7,4 - I_{k2}^{(3)} - I_{k3}^{(3)})^2 + \\ + 0,022 \cdot (3,3 - I_{k3}^{(3)}) + \lambda (I_{k1}^{(3)} + I_{k2}^{(3)} + I_{k3}^{(3)} - 8,4)$$

Для определения минимума функции Лагранжа вычислим ее частные производные по всем неизвестным переменным:

$$\frac{\partial L}{\partial I_{k1}^{(3)}} = -0,036 \cdot (11,2 - I_{k1}^{(3)} - I_{k2}^{(3)} - I_{k3}^{(3)}) + \lambda \\ \frac{\partial L}{\partial I_{k2}^{(3)}} = -0,036 \cdot (11,2 - I_{k1}^{(3)} - I_{k2}^{(3)} - I_{k3}^{(3)}) - 0,028 \cdot \\ \cdot (7,4 - I_{k2}^{(3)} - I_{k3}^{(3)}) + \lambda \\ \frac{\partial L}{\partial I_{k3}^{(3)}} = -0,036 \cdot (11,2 - I_{k1}^{(3)} - I_{k2}^{(3)} - I_{k3}^{(3)}) - 0,028 \cdot \\ \cdot (7,4 - I_{k2}^{(3)} - I_{k3}^{(3)}) - 0,044 \cdot (3,3 - I_{k3}^{(3)}) + \lambda \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = I_{k1}^{(3)} + I_{k2}^{(3)} + I_{k3}^{(3)} - 8,4.$$

Найденные производные приравняем к нулю и решаем систему уравнений с четырьмя неизвестными методом Крамера [7].

$$\begin{cases} 0,036 \cdot I_{k1}^{(3)} + 0,036 \cdot I_{k2}^{(3)} + 0,036 \cdot I_{k3}^{(3)} + \lambda = 0,4 \\ 0,036 \cdot I_{k1}^{(3)} + 0,064 \cdot I_{k2}^{(3)} + 0,064 \cdot I_{k3}^{(3)} + \lambda = 0,61 \\ 0,036 \cdot I_{k1}^{(3)} + 0,064 \cdot I_{k2}^{(3)} + 0,108 \cdot I_{k3}^{(3)} + \lambda = 0,76 \\ I_{k1}^{(3)} + I_{k2}^{(3)} + I_{k3}^{(3)} = 8,4 \end{cases}$$

Рассчитает главный определитель и вспомогательные определители для выше представленной системы уравнений:

$$\Delta = -0,0012; \quad \Delta_1 = -0,001; \quad \Delta_2 = -0,005; \quad \Delta_3 = -0,004; \quad \Delta_4 = -0,0001.$$

По найденным значениям определяем множитель Лагранжа и необходимую величину тока компенсации в узлах, по которым подбираем необходимую мощность ПФГ.

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = 0,9 \text{ A}; \quad I_{k2}^{(3)} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = 4,09 \text{ A};$$

$$I_{k3}^{(3)} = \frac{\Delta_3}{\Delta} = 3,4 \text{ A}; \quad \lambda = \frac{\Delta_4}{\Delta} = 0,09.$$

В соответствии с выражением целевой функции минимальные потери активной мощности в системе электроснабжения составят:

$$\begin{aligned} \Delta P &= 0,018 \cdot (11,2 - 0,9 - 4,09 - 3,4)^2 + 0,014 \cdot (7,4 - 4,09 - 3,4)^2 + \\ &+ 0,022 \cdot (3,3 - 3,4) + 0,09(0,9 + 4,09 + 3,4 - 8,4) = 0,139 \text{ Вт} \end{aligned}$$

Выводы: анализ современной литературы показал, что в системах электроснабжения большая часть электроприемников генерирует в сеть ВГ, которые увеличивают потери электроэнергии в элементах сети.

Для уменьшения потерь электроэнергии в элементах системы электроснабжения, путем компенсации ВГ и реактивной мощности можно использовать ПФГ. Однако нерациональный выбор мощности и места расположения ПФГ может привести к тому, что использование данного технического устройство не окупиться за весь период эксплуатации.

Произведена оптимизация выбора мощности и места размещения ПФГ по критерию минимума потерь электроэнергии. Рассчитана величина тока компенсации между узлами 1, 2 и 3, по которому выбирается мощность ПФГ, что позволяет уменьшить активные потери в линии от тока высших гармоник, при наименьших финансовых затратах.

Библиографический список

1. **Авербух М. А., Жилин Е. В.** О потерях электроэнергии в системах электроснабжения индивидуального жилищного строительства // Энергетик. 2016. № 6. С. 54–57.
2. Проблемы обеспечения электромагнитной совместимости в электроустановках промышленных предприятий / М.А. Авербух, В.А. Кузнецов, Д.Н. Коржов и др. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5 (36). С. 203–208.
3. **Виноградов А. А., Зябкина О. Н., Михайлова М. Ю.** Анализ показателей качества электрической энергии в системе электроснабжения Лебединского горно-обогатительного комбината в Белгородской области // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 3. С. 175–180.
4. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
5. **Довгун В. П., Боярская Н. П., Новиков В. В.** Синтез пассивных фильтр компенсирующих устройств // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9–10. С. 31–39.
6. **Костин В. Н.** Оптимизационные задачи электроэнергетики. СПб: СЗТУ, 2003. 120 с.
7. **Каплан И. А.** Практические занятия по высшей математике. М.: Рипол Классик, 2013. 952 с.

НОВЫЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Магистрант **Ибрагимова А.В.**

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. **Сабитов Л.С.**
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

Аннотация. Проведены теоретические исследования напряженно-деформированного состояния гибкой механической связи, к разновидности которой относятся провода воздушных линий электропередач, вантовые тросовые крепления конструкций, струны частотных датчиков силы и малых перемещений в узлах жесткой заделки. Подобрана форма утолщений, гибкой механической связи в узлах жесткой заделки из условия повышения её ресурсной стойкости, а также снижения максимального суммарного напряжения от растяжения и изгиба в узлах жесткой заделки.

Ключевые слова. Гибкая механическая связь с узлами жесткой заделки провода воздушных линий электропередач, вантовые тросовые крепления конструкций, струны частотных датчиков силы, оптимальная форма утолщений в узлах жесткой заделки, ресурсная стойкость.

Abstract. Conducted theoretical research of the stress-strain state of flexible mechanical connections, the varieties of which are wires of overhead transmission lines, cable cable mounting structures, strings frequency sensors of force and small displacements at the nodes of a rigid fixing. Chosen form of nodules, a flexible mechanical connection at the nodes of the rigid fixing of the conditions of increasing resource durability, and also reduce the maximum total stresses from stretching and bending at the nodes of a rigid fixing.

Key words. Flexible mechanical connection with the rigid sealing wire of overhead transmission lines, cable cable mounting structures, strings, frequency of the force sensors, the optimal form of thickenings at the nodes of a rigid fixing, resource durability.

Исследование напряженно-деформированного состояния гибкой механической связи в узлах жёсткой заделки

В технике существует несколько разновидностей гибкой механической связи с узлами жесткой заделки, к которым можно отнести провода воздушных линий электропередач, вантовые тросовые крепления конструкций, струны частотных датчиков силы и малых перемещений. Все перечисленные элементы, несмотря на различие областей и целей применения являются сходными в том, что они имеют высокое отношение длины к диаметру, подвергаются значительным растягивающим нагрузкам и поперечным колебаниям. Результатом этих воздействий может быть повреждение гибкой механической связи в узлах их

жесткой заделки, где происходит суммирование напряжений от растяжения и от изгиба.

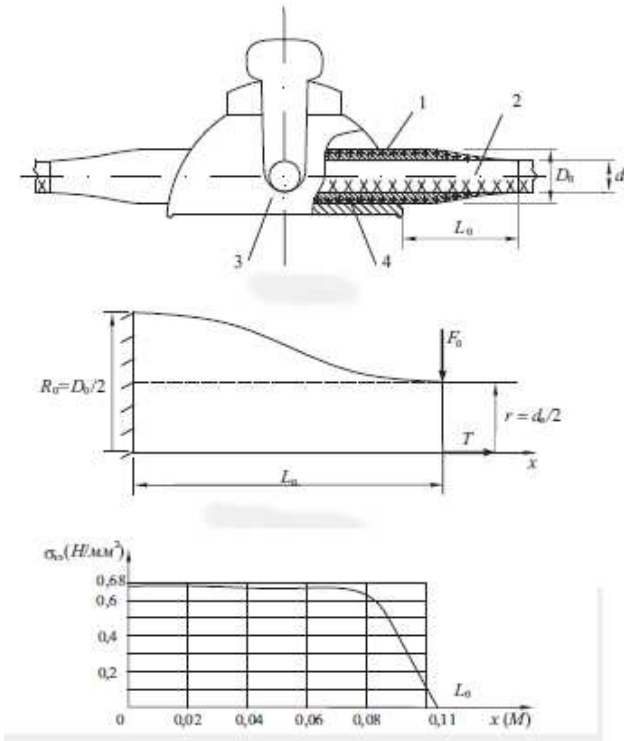


Рис. 1 Способ защиты проводов ВЛЭП

Например, в типовых узлах жёсткой заделки струн для снижения указанных напряжений за счет увеличения диаметра концов струны, производят их зачеканку в круглых нипелях, заделку в разрезных конусах, а также изготовление струны за одно целое с коническим утолщением концов [1, 2].

Однако в отмеченных вариантах крепления возможны местные перенапряжения из-за смятия струны, концентрация напряжений в местах перехода конической части струны в цилиндрическую, что приводит к снижению прочности струны в узлах жёсткой заделки и ухудшает стабильность частоты колебаний.

Провода воздушных линий электропередачи в той или иной степени подвержены колебаниям, вызванным воздействием ветра, аналогичному воздействию подвержены и тросы вантовых креплений, поэтому в процессе эксплуатации возможны их усталостные колебательные повреждения в узлах жесткой заделки. Для защиты проводов от этих повреждений на выходе из поддерживающего зажима, являющегося узлом жёсткости заделки провода, рекомендовано применение спиральных прожекторов, навиваемых на провод в месте установки поддерживающего зажима [3]. При этом система провод с прожектором имеет недостаточно высокие жесткость и изгибную прочность, что не позволяет обеспечивать эффективную защиту провода от усталостных повреждений.

Для решения указанных проблем в данной работе предлагается в узле жесткой заделки гибкой механической связи формировать утолщение из материала, имеющего сходные с ней механические характеристики с начальным диаметром утолщения D_0 в месте заделки, равным нескольким диаметрам d_n гибкой механической связи, плавно переходящее в своей консольной части к диаметру d_n . При этом форма консольной части утолщения подобрана из условия повышения ресурсной стойкости гибкой механической связи, а также снижения максимального суммарного напряжения от растяжения и изгиба в узле жёсткой заделки.

Для провода воздушной линии электропередачи и троса вантового крепления формирование утолщения предложенной формы обеспечивается приваркой к ним в узлах жёсткости заделки термитной сваркой защитного элемента с заданным профилем консольной части. В случае струны частотного датчика рационально ее изготовление за одно целое с утолщением её концов соответствующим предложенной форме.

Процедура выбора профиля утолщения, формируемого в узле жёсткой заделки гибкой механической связи, а также оценка эффективности предложенного способа повышения её ресурсной стойкости приведены на примере провода воздушной линии электропередачи.

Способность провода с защитным элементом выдерживать без повреждения вибрационные колебания определяется в первую очередь, уровнем циклических изгибных напряжений в месте его выхода из поддерживающего зажима, а также в сечении на выходе провода из защитного элемента. Исходя из этих условий подобрана форма консольной части защитного элемента таким образом, чтобы во всех сечениях по длине консоли изгибные напряжения не превышали допускае-

мого значения σ_{\max} и по возможности были одинаковы, с целью наиболее полного использования материала защитного элемента, при обеспечении плавного перехода от диаметра D_0 к диаметру провода d_n . Для произвольного сечения консоли, отстоящего на расстоянии x от места ее закрепления, условия обеспечения требуемой прочности имеет вид

$$\frac{M_{изг}(x)}{W(x)} \leq \sigma_{\max}, \quad (1)$$

где $M_{изг}(x)$ – изгибающий момент, $M_{изг}(x) = F_0(L_0 - x)$; $W(x)$ – момент сопротивления круглого сечения, $W(x) = \pi D^3 / 32$, здесь $D = D(x)$ – диаметр круга в сечении x , причем $D(0) = 2R_0$, $D(L_0) = 2r$.

Условие равного сопротивления изгибу для консоли будет

$$F_0(L_0 - x) = \sigma_{\max} \cdot \frac{\pi D^3}{32}, \quad (2)$$

или

$$R^3 = \frac{4F_0}{\pi\sigma_{\max}} \cdot (L_0 - x), \quad (3)$$

где $R = R(x)$.

Перепишем это равенство в виде

$$R^3 = \beta(L_0 - x), \quad (4)$$

где $\beta = \frac{4F_0}{\pi\sigma_{\max}} = \frac{R_0^3}{L_0}$.

Плавный переход от диаметра D_0 защитного элемента к диаметру провода d_n обеспечивается при

$$\left. \frac{dR}{dx} \right|_{x=L_0} = 0. \quad (5)$$

Будем отыскивать $y \equiv R^3$ в виде

$$y = a + bx + cx^2 + ex^3 \quad (6)$$

из следующих условий

- 1) $x = 0, y = R_0^3$;
 - 2) $x = L_0, y = r^3$;
 - 3) $x = L_0, y' = 0$,
- данное условие равносильно равенству (5);
- 4) $\min_e I = \int_0^{L_0} [\beta \cdot (L_0 - x) - y]^2 dx$,

при выполнении этого условия обеспечивается минимальное отклонение действительного продольного профиля консоли от теоретического, представляющего собой кубическую параболу, которое обусловлено необходимостью выполнения плавного перехода от диаметра D_0 защитного элемента к диаметру провода $d_{\text{п}}$.

Из условия 1) следует, что $a = R_0^3$,

из условия 2) $r^3 = R_0^3 + bL_0 + cL_0^2 + eL_0^3$,

из условия 3) $b + 2cL_0 + 3eL_0^2 = 0$, или $b = -2cL_0 - 3eL_0^2$.

Тогда

$$r^3 = R_0^3 - 2cL_0^2 - 3eL_0^3 + cL_0^2 + eL_0^3 = R_0^3 - cL_0^2 - 2eL_0^3$$

и

$$b = -2 \frac{R_0^3 - r^3}{L_0} + eL^2, \quad (8)$$

$$c = \frac{R_0^3 - r^3}{L_0^2} - 2eL. \quad (9)$$

Таким образом

$$y = R_0^3 + \left(eL_0^2 - 2 \frac{R_0^3 - r^3}{L_0} \right) x + \left(\frac{R_0^3 - r^3}{L_0^2} - 2eL_0 \right) x^2 + ex^3. \quad (10)$$

Условие минимума интеграла I (7) $\frac{\partial I}{\partial e} = 0$

или

$$\frac{\partial}{\partial e} \int_0^{L_0} [\beta \cdot (L_0 - x) - y]^2 dx = 2 \int_0^{L_0} [\beta \cdot (L_0 - x) - y] \cdot \frac{\partial y}{\partial e} dx = 0,$$

с учетом (10) приводит к

$$\int_0^{L_0} [\beta \cdot (L_0 - x) - y] x (L_0 - x)^2 dx = 0 \quad (11)$$

или

$$\int_0^{L_0} [\beta x \cdot (L_0 - x)^3 - x (L_0 - x)^2 y] dx = 0. \quad (12)$$

После вычисления интеграла (12) получим выражение для определения коэффициента e

$$e = \frac{21}{4} \frac{\beta}{L_0^2} - \frac{35}{4} \frac{R_0^3}{L_0^3} - \frac{7}{2} \frac{b}{L_0^2} - \frac{7}{4} \frac{c}{L_0}. \quad (13)$$

Подставив в (13) значение коэффициентов β из (4), b из (8) и c из (9), имеем

$$e = \frac{7}{4} \frac{R_0^3 - 3r^3}{L_0^3}. \quad (14)$$

Таким образом, в уравнении (6) определены все коэффициенты:

$$a = R_0^3; \quad b = -2 \frac{R_0^3 - r^3}{L_0} + e L_0^2; \quad c = \frac{R_0^3 - r^3}{L_0^2} - 2eL; \quad e = \frac{7}{4} \frac{R_0^3 - 3r^3}{L_0^3}.$$

После преобразования (6) получаем уравнение для определения значений диаметра консольных частей защитного элемента $D(x)$ в местах после выхода из поддерживающего зажима в зависимости от текущей координаты x X , отсчитываемой от крайних точек поддерживающего зажима

$$D(x) = 2\sqrt[3]{a + bx + cx^2 + ex^3}, \quad (15)$$

где

$$a = \frac{D_0^3}{8}; \quad b = -\frac{D_0^3 - d_{II}^3}{4L_0} + e \cdot L_0^2; \quad c = \frac{D_0^3 - d_{II}^3}{8L_0^2} - 2e \cdot L_0; \quad e = \frac{7}{32} \cdot \frac{D_0^3 - d_{II}^3}{L_0^3}.$$

Выводы

Наряду с повышением ресурсной стойкости провода предложенный способ позволяет предотвратить аварии линий электропередачи

из-за механических перегрузок проводов в случае возникновении пляски проводов, вызванной сочетанием значительных ветровых нагрузок с гололедными отложениями. В наиболее опасном сечении провода, в месте его выхода из поддерживающего зажима, возникает суммарное напряжение от растяжения провода и от его изгиба. При пляске проводов существенно увеличивается натяжение провода T вследствие того, что удельные нагрузки на провод от веса провода, покрытого гололедом, и давления ветра на покрытый гололедом провод могут в несколько раз превышать нагрузки от собственного веса провода (для провода АС 120/19 более, чем в 5 раз [3]). Кроме того, при воздействии на провод воздушного потока со скоростью достигающий 30 м/с происходит увеличение знакопеременного изгибающего момента действующего в этом сечении. При этом эффективность предложенного способа защиты от повреждения проводов в этом случае определяется значительным снижением в опасном сечении провода, с коаксиально приваренным к нему защитным элементом, максимального напряжения σ_{Σ} , равного сумме напряжений от растяжения $\sigma_p = 4T / \pi D_0^2$ и от изгиба $\sigma_{изг} = 32M_{изг\max} / \pi D_0^3$. Это обусловлено тем, что площадь сечения системы провод с защитным элементом и ее момент сопротивления существенно, соответственно в 4 и 8 раз превышают указанные величины собственно для провода.

Библиографический список

1. **Новицкий П.В., Кнорринг В.Г., Гутников В.С.** Цифровые приборы с частотными датчиками. Л.: Энергия, 1970. 424 с.
2. Проектирование датчиков для измерения механических величин/ Под ред. Е.П. Осадчий, М.: Машиностроение, 1979. 480 с.
3. **Колосов В.Г., Рыжов С.В.** Повышение ресурсной стойкости проводов ВЛ при вибрации путём установки спиральных прожекторов в лодочки поддерживающих зажимов // Электро. 2005. № 6. С. 45–51.
4. Патент на изобретение РФ № 2615178 «Способ защиты сталеалюминиевых проводов воздушных линий электропередачи от усталостных колебательных повреждений на выходе из поддерживающего зажима». Опубликовано 04.04.2017, Бул. № 10 Заявка № 2016104470, (10.02.2016)

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Магистрант **Ихсанов Р.М.**,

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. **Сабитов Л.С.**

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

Новый стенд для динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи включает установку не менее трех промежуточных опор на основании силовой прямоугольной рамы, моделирующих анкерный участок, в котором боковые стойки рамы представляют собой макеты анкерных опор, закрепление на изоляторах, установленных на траверсах, тросовых тяг с встроенными в них калиброванными разрывными вставками, динамометрами и пружинами растяжения, являющимися упругими эквивалентами проводов в промежуточных пролетах, у которых зависимость между усилием растяжения и удлинением пружины соответствует зависимости силы натяжения провода в промежуточном пролете от его удлинения, вызванного воздействием на провод нагрузки от собственного веса провода и веса гололеда, а также закрепление на изоляторах опор грузов, веса которых соответствуют весам приложенных к проводу нагрузок, позволило на компактном стенде исследовать работу опор в анкерном участке в расчетных и аварийных режимах в условиях максимально приближенных к реальным. Отмеченные обстоятельства позволяют уточнить методики расчета опор на основе полученных экспериментальных данных, так как теоретические методы описания сложных динамических процессов, происходящих в воздушных линиях электропередачи, с множеством влияющих факторов, имеют ограниченное применение вследствие недостаточной высокой точности расчетов.

Нагружение опор в конце испытаний разгружающей нагрузкой и регистрации основных параметров разрушения конструкций опор позволяют определить предельную расчетную нагрузку на опору и выявить наименее прочные узлы конструкций опоры.

На рис. 1 представлена схема стенда для динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи, на фиг.2 – зависимость силы натяжения провода в пролете от его удлинения, вызванного изменением удельных нагрузок от гололеда.

Стенд для динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи включает силовую прямоугольную раму 1, на основании

2 которой установлено не менее трех испытуемых опор 3, моделирующих анкерный участок, в котором боковые стойки 4 рамы 1 представляют собой макеты анкерных опор. На изоляторах 5, установленных на траверсах 6, закреплены тросовые тяги 7 с встроенными в них калиброванными разрывными вставками 8, динамометрами 9 (устройства 8 и 9 показаны только на одной тросовой тяге) и пружинами растяжения 10, представляющими собой упругие эквиваленты проводов, включая грозозащитный трос, закрепляемых на изоляторах 5 испытуемых опор 3 в реальных промежуточных пролетах. Концы тросовых тяг 7 через блоки 11 соединены с соответствующими лебедками 12, закрепленными на основании 2. На верхней балке 13 рамы 1 установлены датчики перемещения 14, вершин 15 опор 3.

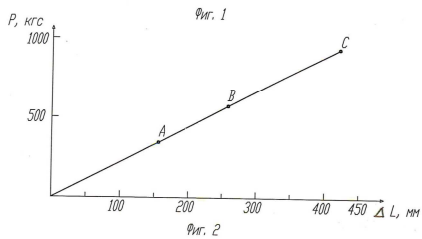
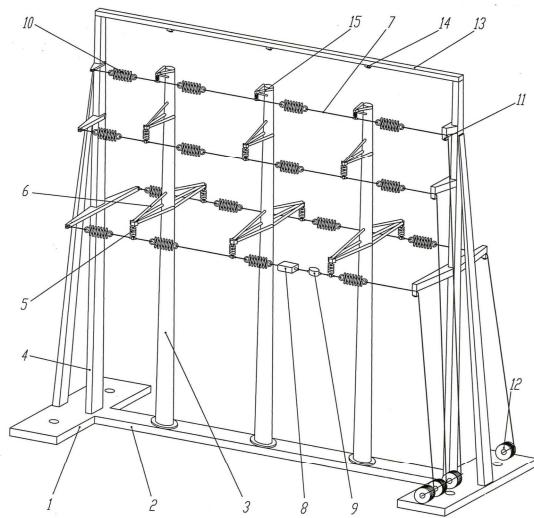


Рис.1 Установка для динамических испытаний опор воздушных ЛЭП

Динамические испытания опор осуществляют следующим образом. Предварительно, для проведения динамических испытаний опор в полном соответствии с реальными условиями, на каждом изоляторе 5 испытываемой опоры 3 закрепляют тарировочный груз (не показан), вес которого равен разности между весом провода в реальном пролете и весом тяги 7, с встроенным в нее калиброванной разрывной вставкой 8, динамометром 9 и пружиной растяжения 10, закрепленной в пролете между двумя опорами 3, установленными на стенде.

После этого осуществляют контролируемое динамометрами 9 натяжение тросовых тяг 7 с помощью лебедок 12 до разрыва одной из калиброванных вставок 8, рассчитанных на минимальное усилие натяжения тросовой тяги 7, определяемое нагрузкой от собственного веса провода в реальном пролете. При разрыве калиброванной вставки 8 определяют отклик промежуточных опор 3 на реальное импульсное воздействие, соответствующее условиям эксплуатации, а именно обрыв провода в пролете. При этом измеряют амплитуду и частоту собственных колебаний опор 3, соединенных между собой тросовыми тягами 7 с встроенными пружинами растяжения 10, являющимися упругими эквивалентами проводов, с помощью датчиков перемещения 14.

Также тензодатчиками (не показаны) определяют механические напряжения в критических точках конструкций опор 3 в период воздействия на них импульсной нагрузки. Аналогичным образом осуществляют повторение описанных операций после закрепления на изоляторах 5 дополнительных грузов (не показаны), вес которых соответствует весу гололеда с возрастающими ступенями толщины его стенки, включая её максимальное значение. С учетом повышения силы натяжения провода в пролете от увеличения дополнительной нагрузки на него от веса гололеда повышают величину усилия разрыва калиброванной вставки 8 до значения соответствующего этой дополнительной нагрузке и собственному весу провода.

После окончания испытаний по моделированию воздействия на провод гололеда с максимальной сверхнормативной толщиной стенки устанавливают величину усилия разрыва калиброванной вставки 8 равной усилию разрыва провода и за счет натяжения тросовой тяги 7 производят разрушение наименее прочной конструкции опоры 3, при этом вследствие редукации тяжения проводов разрушаются конструкции опор 3 в соседних с аварийным пролетах. Также осуществляют регистрацию параметров процесса разрушения конструкций опор 3 и определяют коэффициенты динамичности опор 3.

На примере ВЛ 110 кВ с многогранными опорами к которым подвешены сталеалюминиевые провода АС-70, II района гололедности (максимальная толщина стенки гололеда составляет 10мм) при длине пролета $l=300\text{м}$, определим зависимость силы натяжения провода в пролете от его удлинения, вызванного изменением удельных нагрузок от гололеда.

Исходные данные:

- общее сечение провода $S = 79,3 \text{ мм}^2$;
- диаметр провода $d = 11,4 \text{ мм}$;
- вес 1 км провода 275 кгс;
- максимально допустимое напряжение $\sigma_{\text{max}} = 11,6 \text{ кгс/мм}^2$, при максимальной толщине стенки гололеда $c = 10 \text{ мм}$ и температуре $t = -50^\circ\text{C}$;
- удельная нагрузка от собственного веса провода $\gamma_0 = 3,46 \cdot 10^{-3} \text{ кгс/м} \cdot \text{мм}^2$;
- удельная нагрузка от веса гололеда с толщиной стенки 10 мм $\gamma_{r \text{ max}} = 7,463 \cdot 10^{-3} \text{ кгс/м} \cdot \text{мм}^2$;

Удельная нагрузка от веса провода с гололедом

$$\gamma = \gamma_0 + \gamma_{r \text{ max}} = 3,46 \cdot 10^{-3} + 7,63 \cdot 10^{-3} = 11,09 \cdot 10^{-3} \text{ кгс/м} \cdot \text{мм}^2$$

Механические напряжения в проводе при изменении нагрузок от гололеда, определяются из уравнения состояния провода [1]

$$\sigma - \frac{\gamma^2 \times E \times l^2}{24 \times \sigma^2} = \sigma_0 - \frac{\gamma_0^2 \times E \times l^2}{24 \times \sigma_0^2} \quad (1)$$

где $E = 8,25 \cdot 10^3 \text{ кгс/мм}^2$ – модуль упругости провода.

В результате решения уравнения (1) было определено σ_0 – напряжение в проводе, вызванное удельной нагрузкой γ_0 от собственного веса провода, $\sigma_0 = 4,21 \text{ кгс/мм}^2$, а также напряжение $\sigma_5 = 7,24 \text{ кгс/мм}^2$ при толщине стенки гололеда 5 мм.

По полученным значениям напряжений в проводе при толщинах стенки гололеда 0; 5 и 10мм (точки А, В, С на графике) была построена зависимость силы натяжения провода в пролете $P = 5 \times S$ от его удлинения ΔL , вызванного изменением удельных нагрузок от гололеда. При этом удлинение ΔL определялось по формуле

$$\Delta L = l \cdot \frac{\sigma - \sigma_0}{E},$$

его максимальное значение равно

$$\Delta L_{\max} = l \cdot \frac{\sigma_{\max} - \sigma_0}{E} = 300 \cdot \frac{11,6 - 4,21}{8,25 \cdot 10^3} = 268,727 \text{ мм.}$$

Как следует из графика рис.1 в его точках А, В, С сила натяжения провода в пролете Р и удлинение провода ΔL равны соответственно PA=333,85кгс, $\Delta LA=153$ мм; PB=574,1кгс, $\Delta LB=263,27$ мм; PC=919,88 кгс, $\Delta LC=421,8$ мм. При этом в диапазоне удлинения провода равном 268.73мм, вызванного воздействием гололеда его сила натяжения изменяется от 333.85 до 919.88 кгс практически по линейной зависимости. Аналогичным образом согласно [1] производят расчет грозозащитного троса.

Так как в предложенном техническом решении провода в реальном пролете заменены их упругими эквивалентами, в качестве которых использованы пружины растяжения, представленная на рис.1 зависимость является исходной для расчета нагрузочной характеристики пружины.

Расчет размеров и параметров пружины проведен согласно [2]. Параметры рассчитанной пружины представлены в табл.

Таблица

Параметры пружины.

Формат расчета усилий	Расчет усилий в кгс	Размерность
1	2	3
Материал	60С2А, 51ХФА	–
Диаметр проволоки(прутка), d	14	мм
Наружный диаметр, D1	111	мм
Рабочее число витков, n	12	шт
Предварительное растяжение, S1	262	мм
Рабочее растяжение, S2	262	мм
Максимальное растяжение, S3	268	мм
Количество пружин в партии	1	шт
Внутренний диаметр зацепа, D2	83	мм
Длина пружины по телу, L0	182	мм
Длина пружины между зацепами, L	348	мм
Индекс пружины	6,93	–
Размер открытой части зацепа	35	–
Жесткость пружины	3,51	кг/мм
Предварительная нагрузка, F1	268,33	кг
Рабочая нагрузка, F2	919	кг

Окончание табл.

1	2	3
Максимальная нагрузка, F3	940,05	кг
Длина пружины между зацепами при нагрузке F1, L1	424,5	мм
Длина пружины между зацепами при нагрузке F2, L2	610	мм
Длина пружины между зацепами при нагрузке F3, L3	616	мм
Максимальные касательные напряжения	102,84	МПа
Масса пружины, m	5,24862	кг

Выводы

Использование предложенного способа динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи позволит обеспечить динамические испытания единой системы опор, объединенных упругими механическими связями, выполненными в виде тросовых тяг с встроенными в них пружинами растяжения, наиболее полно моделирующей реальный анкерный участок, для определения динамических характеристик опор при имитации реального импульсного воздействия на них, соответствующего условиям эксплуатации, а именно обрыв провода, как в расчетных условиях, так и в аварийных режимах, вызванных воздействием гололедных нагрузок, превышающих предельные значения, включающих разрушение конструкций опор.

Также предложенный способ позволит провести экспериментальные исследования процессов каскадного разрушения анкерного участка вследствие обрыва проводов, когда потенциальная энергия натяжения проводов в пролетах анкерного участка преобразуется в мощное динамическое воздействие на конструкции опор, приводящее к их разрушению.

Библиографический список

1. **Крюков К.П., Новгородцев Б.П.** Конструкции и механический расчет линий электропередачи. Л.: Энергия, 1979. 312 с.
2. **Ачеркан Н.С.** Детали машин. Т.2. М.: Машиностроение, 1968. 408 с.

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО ПОДХОДА К ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Магистрант **Калинина Н.Д.**

Магистрант **Шуватова И.А.**

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. **Гашо Е.Г.**

*Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт», г. Москва*

Если задать вопрос – как на северных территориях Российской Федерации происходит покрытие тепловых и электрических нагрузок – можно ответить – дорого и сложно.

Целью работы является создание экспериментального объекта в суровых климатических условиях, который должен потреблять минимальное количество тепловой и электрической энергии, а также разработка энергоэффективной установки, покрывающей эти нагрузки.

На северные территории и приравненные к ним местности приходится 60% общей площади страны. Совместно с «НИИ «Центр экологической промышленной политики» был разработан план создания объекта под названием «Центр изучения окружающей среды и климата в арктической зоне России». Местом размещения центра был выбран п. Хатанга (п-ов Таймыр) - один из самых северных населенных пунктов РФ [1]. Климат Хатанги субарктический, температура может достигать как +35°C летом, так -50°C зимой [3].

Стояла задача определить какие материалы будут использоваться для строительства здания, каких размеров и формы оно будет, разработать систему энергоснабжения, которая полностью или в значительной степени будет работать от возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а именно, энергии солнца, ветра, биомассы, отработанных масел и др. [2].

В соответствии с климатическими нормами для Хатанги расчетная температура наружного воздуха в холодный период года равна $t_{нх} = -49^\circ\text{C}$. Нормативный отопительный период $\tau_{от.нор} = 304$ суток определяется, как период со среднесуточной температурой наружного воздуха менее 8°C. Средняя температура наружного воздуха в этот период равна $t_{cp.от} = -18^\circ\text{C}$ [4].

Климатические условия холодного периода года в регионе строительства определяются показателем градусо-суток отопительного периода по формуле:

$$\text{ГСОП} = (t_{вр} - t_{cp.от}) \cdot \tau_{cp.от} = (20 - (-18)) \cdot 304 = 11552 \text{ }^\circ\text{C сут/год [4].}$$

При выборе оптимальных геометрических параметров для строительства объекта объемом 576 м³ был проведен сравнительных анализ зданий прямоугольной, квадратной и купольной формы (табл.1).

Таблица 1

Геометрические параметры зданий

№	Тип здания	A, г, м	B, м (π)	H,м	V,м ³	F _{сум} , м ²	F пол, м ²	K _{ко} мп, м ⁻¹
1	Прямоугольное здание	24,0	8,0	3,0	576	576	192	1,00
2	Выбранное для постройки здание	12,0	12,0	4,0	576	480	144	0,83
3	Здание-полусфера	6,51	3,14	6,51	576	398,6	132,9	0,69

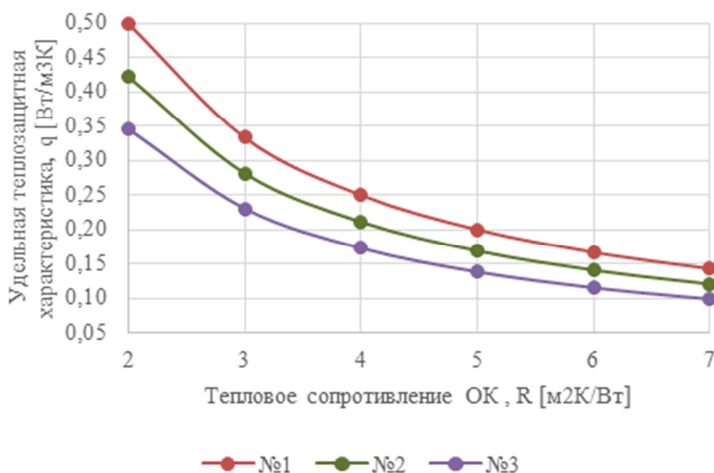


Рис. 1. График зависимости удельной теплозащитной характеристики q_0 от изменения приведенного теплового сопротивления R

$$q = K_{\text{компр}}/R = F_{\text{ок}}/V \cdot R$$

В результате полученных данных о параметрах здания отметим, что коэффициент компактности здания влияет не только на удельную теплозащитную характеристику, но и на общую долю трансмиссионных потерь в энергетическом балансе здания. Чем меньше коэффициент компактности, тем меньше трансмиссионные потери. А также, было выявлено, что с увеличением значений сопротивления теплопередачи R ($\text{м}^2\text{К}/\text{Вт}$) ограждающих конструкций (ОК) наблюдается все меньшее влияние на удельную теплозащитную характеристику q ($\text{Вт}/\text{м}^2$), а значит и на тепловые потери через ОК.

Если здание № 1 потребляло бы 100% тепловой мощности, то № 2 - 83%, а № 3 всего 69%, а если сравнить здание № 1 при $R = 2 \text{ м}^2\text{К}/\text{Вт}$ и № 3 $R = 6 \text{ м}^2\text{К}/\text{Вт}$, то отопительная нагрузка снизится в 4,1 раза.

Таким образом, можно сделать вывод, что подход к повышению энергоэффективности зданий исключительно за счет применения большого количества тепловой изоляции является нерациональным и экономически необоснованным. Наиболее выгодным способом понижения удельной теплозащитной характеристики для возводимых объектов является строительство зданий "эталонной" формы с выбором качественных материалов.

Изучив климатологические и географические особенности местности было принято решение о создании гибридной установки с использованием ТНУ, котельной установки на отработанных маслах, солнечных коллекторов и ветрогенераторов.

Вывод по проделанной работе: Эксперимент с таким комплексным подходом к объекту и производству энергии на севере, позволит улучшить энергоснабжение Северных регионов и снизить их зависимость от дорогостоящих поставок топлива. А для территорий близлежащих к месторождениям нефти и газа выходом будет использование мини-ТЭЦ.

Библиографический список

1. Бердин В.Х., Кокорин А.О., Юлкин Г.М., Юлкин М.А. Возобновляемые источники энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2017. 80 с.
2. Башмаков И.А. Повышение эффективности энергоснабжения в северных регионах России // Энергосбережение. 2017. № 2. С 46–53.
3. Климат Хатанги // по материалам сайта Погода и климат [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/20891.html>.
4. СП 131.13330.2012 Строительная климатология: Актуализированная редакция СНиП 23-01-99 (с Изменением № 2).

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВОК ДЛЯ СУШКИ ХЛОПКА-СЫРЦА С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЧ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

Магистрант **Косимов Б.М.**

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. **Кожевников В. Ю.**

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

В данной статье произведен расчет технико-экономических показателей для двух установок: СВЧ-сушка и традиционная сушилка СХН-3М, предназначенных для сушки хлопка-сырца. Данные технико-экономические расчеты производятся с целью определения окупаемости данных установок, а также срока окупаемости. Данные расчеты были произведены с помощью целевой функции технико-экономического сравнения.

Хлопок имеет очень большое значение для народного хозяйства. Хлопок и его продукты переработки широко применяются в отраслях народного хозяйства [4].

Производство хлопкового волокна, получаемого в результате первичной обработки хлопка-сырца, с каждым годом увеличивается.

Наряду с повышением качества выпускаемой продукции одной из основных и неотложных задач, стоящих перед хлопкоочистительной промышленностью, является полная механизация трудоемких и тяжелых работ, а также автоматизация управления технологическими процессами. В настоящее время созданы и успешно работают в хлопкоочистительной промышленности механизмы и устройства для комплексной механизации трудоемких и тяжелых работ с хлопком-сыром, семенами и отходами; полностью внедрена бестарная перевозка хлопка-сырца на хлопкоочистительные заводы и заготовительные пункты. Однако важнейшей и первоочередной задачей является переход от автоматизации отдельных операции и процессов к созданию хлопкоочистительного завода-автомата с полностью автоматизированным производственным процессом [4].

Экономическая эффективность СВЧ электротермического оборудование

СВЧ электротермическим оборудованием (СВЧ ЭО) называют совокупность однотипных установок СВЧ диэлектрического нагрева

(У СВЧ ДН), расположенных на производственном участке, в цехе, обеспечивающих общий заданных объем производства[1].

Экономическая эффективность \mathcal{E}_3 СВЧ ЭО определяется $\mathcal{E}_3 > 1$. Экономическая эффективность зависит от физической эффективности $\mathcal{E}_{эф}$, определяющей конечный результат в отношении к затратам ресурса. Физическая эффективность существенна в той мере, в какой она обеспечивает экономическая эффективность. Оптимальность структуры и параметров СВЧ ЭО должна определяться в первую очередь экономической эффективностью установки [2].

Оптимизацию структуры и параметров технологического оборудования проводят с помощью технико-экономических расчётов на базе системного подхода. Он может быть использован для оценки эффективности инвестиционных проектов.

На рис. 1 изображена установка большой мощности конвейерного типа для нагрева крупногабаритных объектов [3].

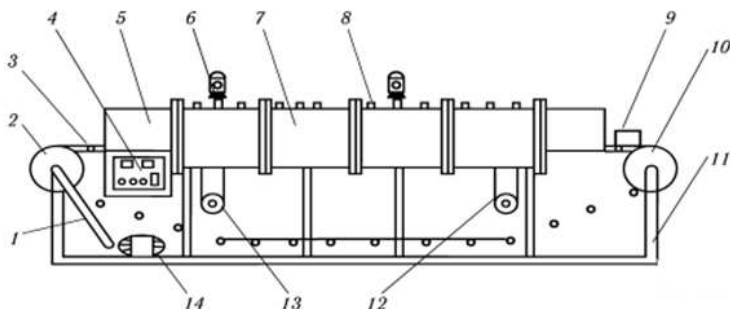


Рис. 1. СВЧ установка конвейерного типа:

- 1 – передаточная цепь; 2 – приводная станция; 3 – цепной конвейер; 4 – пульт управления; 5 – запердельный волновод; 6 – вентилятор; 7 – волновод; 8 – вентиляторные трубки; 9 – контейнер с объектом обработки; 10 – натяжная станция; 11 – рама; 12 – окно для подключения согласованной нагрузки; 13 – окно для подключения генератора; 14 – электродвигатель

Расчет экономической эффективности

Величина \mathcal{E}_Σ (чистого дисконтированного дохода) в общем случае вычисляется по формуле:[1]

$$\mathcal{E}_\Sigma = ЧДД = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \alpha_t - K_0,$$

где R_t – результат (доходы), достигаемые на t -ом шаге расчета; Z_t – затраты, осуществляемые на t -ом шаге расчета; T – продолжительность расчетного периода или горизонт расчета; $\alpha_t = (1 + E)^{-t}$ – коэффициент дисконтирования; E – норма дисконта, равная приемлемой для инвестора норме дохода на капитал; t – номер шага расчета, как правило, по месяцам, начиная с момента начала осуществления проекта; K_0 – величина дисконтированных капиталовложений.

С учетом остаточной стоимости основных фондов формула (1) приобретает вид:

$$\mathcal{E}_{\Sigma} = ЧДД = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t - K_t)(1 + E)^{-t} + \Phi_{t_{cl}} (1 + E)^{-t_{cl}}$$

где $\Phi_{t_{cl}}$ – остаточная на момент времени t_{cl} стоимость основных фондов; t_{cl} – срок службы (эксплуатации) установки.

Для действующей установки валовую прибыль можно вычислить по соотношению:

$$\Pi_{et} = \sum_{i=1}^n (\Pi_i \Pi_{\Pi i})_t + C_{\Pi t} + C_{Ct} + C_{\Phi t} - C_t,$$

где Π_i – количество i -й продукции, произведенной установкой на t -ом шаге; $\Pi_{\Pi i}$ – цена i -й продукции на t -ом шаге работы установки; $C_{\Pi t}$ – стоимостная оценка сопутствующего эффекта в производственной сфере на t -ом шаге; C_{Ct} – стоимостная оценка социального эффекта в производственной сфере на t -ом шаге; $C_{\Phi t}$ – остаточная стоимость основных фондов производственной инфраструктуры, исключаемых из эксплуатации на t -ом шаге; C_t – производственная себестоимость продукции на t -ом шаге; n – количество типов продукции.

Количество продукции, выпускаемой установкой в течение года, можно рассчитать по соотношению:

$$\Pi_y = Dt_p G$$

где D – количество дней в году по выпуску готовой продукции, дн/год; t_p – время работы установки по выпуску готовой продукции в сутки, с/дн; G – производительность установки, кг/ч.

Для СВЧ, работающей в периодическом режиме затраты на электроэнергию находятся по формуле:

$$C_3 = \text{DN} \left\{ t_p \left[T_3 \left(\sum_{i=1}^M \frac{P_i}{\eta_{3л}} + \sum_{i=1}^{m_2} P_{32i} \right) + M \Pi_{хв} G_{хв} \right] + t_{3вс} T_3 \sum_{i=1}^M P_{3в} \right\},$$

где $\eta_{3л}$ – КПД СВЧ генератора; T_3 – тариф на электроэнергию промышленной частоты, руб/кВт·ч; P – СВЧ мощность одного магнетрона, кВт; P_{31} – мощность, потребляемая от сети электродвигателем, приводящим в движение механизм перемещения обрабатываемого объекта в установке, кВт; P_{32} – мощность, потребляемая от сети электродвигателем воздуходувки, кВт; t'_c – время работы установки в сутки с учетом остановок на замену магнетрона, ч; m_1, m_2 – число электродвигателей транспортной системы и воздуходувки в одной установке; $G_{хв} = G_{зв}$ – количество воды, расходуемой на охлаждение одного магнетрона, м³/ч; $\Pi_{хв}$ – цена холодной воды (тариф), руб/м³; $P_{3в}$ – мощность, потребляемая от сети генератора в момент загрузки-выгрузки (в дежурном режиме).

Амортизация основного капитала — это стоимостная оценка износа основного капитала за определенный период времени. На основе этой оценки происходит ежегодное списание части стоимости основных фондов, так называемые амортизационные отчисления. Они поступают в амортизационный фонд, который служит для возмещения износа основного капитала. Владельцы основных фондов осуществляют амортизационные отчисления согласно утверждаемым для всей страны норма амортизационных отчислений по балансовой стоимости основных фондов [2]:

$$C_A = K\gamma_A,$$

В данной статье полагаем, что инвестирование осуществляется за счет собственных средств предприятия. В этом случае $C\% = 0$

$$H_{np} = \Pi_{ст} \gamma_{np}$$

где γ_{np} – процентная ставка налога на прибыль, принимается согласно ст. 286 п.25 Налогового кодекса РФ равной 20%.

Срок окупаемости – минимальный временной интервал (от начала осуществления проекта), за пределами которого интегральный эффект (ЧДД) становится неотрицательным (рис. 2). Иными словами, это – период (измеряемый в годах или месяцах), после которого первоначальные вложения и другие затраты покрываются суммарными результатами (доходами) его осуществления [1].

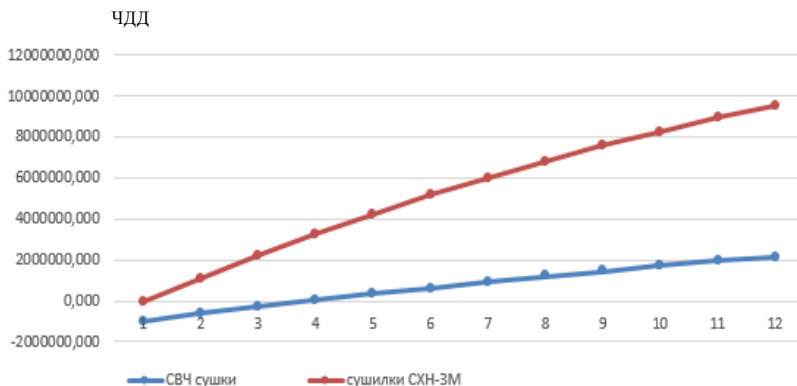


Рис. 2. Графическое определение дисконтированного срока окупаемости инвестиций варианта №1 и № 2 внедрения электроустановок.

Вывод

В данной статье было установлено, что срок окупаемости инвестиций в обоих вариантах меньше трех лет, что видно по рис. 2: для первого варианта (выделен красным цветом) – 5 кварталов (1 год 3 месяца), для второго варианта (выделен голубым цветом) – 0,5 квартала (1,5 месяца), что является наилучшим вариантом. Максимальный определяющий экономический критерий – чистый дисконтированный доход (ЧДД) имеет второй вариант, что делает его наиболее оптимальным к реализации и внедрения на производство.

Библиографический список

1. **Архангельский Ю.С.** Справочная книга по СВЧ электротермии. Саратов: Изд-во Научная книга, 2011. 560 с.
2. **Толстов В.А., Архангельский Ю.А.** Эффективность электротехнологических установок. Саратов: СГТУ, 2000. 148 с.
3. **Архангельский Ю.С.** Установки диэлектрического нагрева СВЧ установки. Саратов: СГТУ, 2003. 344 с.
4. Первичная обработка хлопка / Г.Д. Джаббаров, С.Д. Балтабаев, Д.А. Котов, Н.Д. Соловьёв. М.: Изд-во Легкая индустрия, 1978. 430 с.
5. Налоговый кодекс [Электронный ресурс]: Система Гарант. URL: <http://base.garant.ru/10900200/>.

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ МАТРИЦ ГЛАВНЫХ СЕЧЕНИЙ И ГЛАВНЫХ КОНТУРОВ ИЗ МАТРИЦЫ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

студент **Кулыгина А.С.**

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. **Шмелев В.Е.**

*Владимирский государственный университет
им. А.Н. и Г.Н. Столетовых, г. Владимир*

Для автоматизации компьютерных расчетов режимов работы электрических цепей необходимы методы кодирования соединений их элементов или ветвей. Наиболее удобными с вычислительной точки зрения являются методы, основанные на построении топологических матриц схем. Предложен алгоритм формирования матрицы главных сечений и матрицы главных контуров из матрицы узловых связей схемы. Алгоритм основан на соотношениях линейной алгебры.

Цель работы Составление в системе MATLAB [2] подпрограммы- функции автоматического преобразования типов топологических матриц электрических цепей. Эта m-функция нужна, чтобы при автоматизированных расчетах режимов работы электрических цепей можно было легко выбрать любой существующий метод, если топология цепей задана только матрицей узловых соединений [A].

Содержательная часть

Топологическими называются матрицы коэффициентов линейно независимых систем уравнений, составленных по первому или второму закону Кирхгофа. Каждый элемент этих матриц может принимать одно из трёх возможных значений: -1, 0, +1. Существует 3 вида топологических матриц [1]. Матрица узловых соединений [A] – матрица коэффициентов системы уравнений по первому закону Кирхгофа для всех узлов цепи, кроме одного. Узел, не представленный в матрице [A], называют общим. Обычно его электрический потенциал принимают равным нулю. Матрица главных сечений [Q] – матрица коэффициентов системы уравнений по первому закону Кирхгофа для главных сечений. Матрица главных контуров [B] – матрица коэффициентов системы уравнений по второму закону Кирхгофа для главных контуров. При автоматизированном анализе режимов работы электрических цепей положительные направления обхода всех главных контуров принято выбирать совпадающими с соответствующими направлениями

ветвей связи, направления главных сечений – совпадающими с соответствующими направлениями ветвей дерева.

Наиболее легко составляется матрица узловых соединений $[A]$, поскольку правила её построения наиболее просты. Существуют методы анализа режимов работы цепей [1], в расчётные уравнения которых входят другие топологические матрицы. Поэтому нужен алгоритм их формирования из матрицы $[A]$.

Этот алгоритм основан на блочно- матричных топологических соотношениях [1]:

$$\begin{aligned} [A] &= [[A^{(d)}], [A^{(k)}]]; \\ [Q] &= [[E^{(d)}], [A^{(d)}]^{-1} \\ [A^{(k)}] &= [[E^{(d)}], [Q^{(k)}]]; \\ [B] &= [-[Q^{(k)}]^T, [E^{(k)}]], \end{aligned}$$

где $[A^{(d)}]$ – блок матрицы $[A]$, соответствующий ветвям дерева; $[A^{(k)}]$ – блок матрицы $[A]$, соответствующий ветвям связи; $[E^{(d)}]$ – единичная матрица размера (d,d) , где d – число ветвей дерева; $[Q^{(k)}] = [A^{(d)}]^{-1} \cdot [A^{(k)}]$ – блок матрицы $[Q]$, соответствующий ветвям связи; $[E^{(k)}]$ – единичная матрица размера (k,k) , где k – число ветвей связи (число главных контуров).

Алгоритм реализован в виде подпрограммы- функции на языке MATLAB, проверен на многочисленных примерах графов электрических цепей. Ниже представлен текст m-функции.

```
% getqbm - вычисление топологических матриц Q, B по известной матрице
A
% [Q,B] = getqbm(A,D,S)
% D - массив номеров ветвей дерева;
% S - массив номеров ветвей связи;
function [Q,B] = getqbm(A,D,S)
[d,v]=size(A);
s=v-d;
if (length(D)~=d)||(length(S)~=s), Q=NaN; B=NaN; return; end;
if det(A(1:d,D))==0, Q=NaN(d,v); B=NaN(s,v); return; end;
Q(1:d,[D,S])=A(1:d,D)\A(1:d,[D,S]);
B(1:s,[S,D])=[eye(s),-Q(1:d,S).'];
```

В представленном алгоритме сначала проверяется условие согласованности длин списков ветвей дерева и ветвей связи. В случае его невыполнения в матрицы $[Q]$ и $[B]$ записывается неопределённое ска-

лярное значение, и управление возвращается в вызывающую программу. Затем проверяется, является ли деревом множество ветвей, указанное во втором входном параметре. Если нет (определитель соответствующего блока матрицы узловых соединений равен нулю), то матрицы [Q] и [B] заполняются неопределёнными значениями (NaN) , и управление возвращается в вызывающую программу. Если ошибок во входных параметрах не обнаружено, то для вычисления матриц [Q] и [B] применяются записанные выше блочно- матричные функции.

В качестве примера рассмотрим ориентированный граф электрической цепи, изображённый на рис. 1. Его матрица узловых соединений показана на рис. 2.

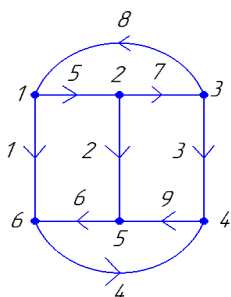


Рис.1. Пример графа электрической цепи

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Рис.2. Матрица узловых соединений

Топологические матрицы [Q] и [B], автоматически сформированные подпрограммой getqbm, показаны на рис. 3.

$$\mathbf{Q} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис.3. Топологические матрицы [Q] и [B]

Выводы по работе

Предложенный алгоритм применяется авторами для автоматизации расчетов режимов работы электрических цепей в части лёгкого автоматического выбора любого существующего метода, если топология анализируемой цепи задана только матрицей узловых соединений.

Библиографический список

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В. Теоретические основы электротехники. Том 1. СПб.: Питер, 2009. 512 с.
2. Дьяконов В.П. MATLAB 7.*/R2006/R2007 [Электронный ресурс]: Самоучитель. М.: ДМК Пресс, 2008. 768 с. URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940744245.html>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПОТЕРИ В ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Студент **Лавриненко Н.С.**

Студент **Корякин С.Н.**

Студент **Безуглова С.В.**

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. **Скурятин Ю.В.**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Прогнозируемый рост экономики России в ближайшие годы на 2-3 % дает основания полагать, что энергопотребление в стране будет расти. По оперативным данным АО «СО ЕЭС», потребление электроэнергии в Единой энергосистеме России в 2016 году составило 1026,7 млрд кВт·ч, что на 1,8 % больше показателей 2015 года [1]. На данный момент в энергосистеме РФ наблюдается профицит мощностей в размере 20-30 ГВт, но согласно прогнозам он может быть полностью исчерпан после 2020 года. В связи с этим остро встает вопрос не только о вводе дополнительных мощностей, но и о сокращении потерь при передаче электроэнергии, объем которых может составлять до 20 % от генерируемой мощности и должен быть учтен в выборе электрооборудования.

В то же время неотъемлемым режимом работы любой сети является переходный процесс, который при повторно-кратковременном режиме работы приемников может занимать значительную часть эксплуатационного времени и тем самым сильно влиять на общее потребление электроэнергии. Кроме того, при одновременном подключении к сети множества крупных потребителей, например, после производства ремонтных работ, переходный процесс может оказывать достаточно сильное влияние на всю сеть.

Целью данной работы является анализ потерь в ЛЭП в переходном и установившемся режимах при подключении активно-индуктивной нагрузки с различными коэффициентами мощности, а также оценка целесообразности использования сетевого активного фильтра (САФ) для их сокращения.

В последнее время САФ находят все большее применение в системах электроснабжения в связи со все возрастающей актуальностью вопросов, касающихся качества электроэнергии. САФ позволяет повысить коэффициент мощности в сети вплоть до единицы, подавить гармонические составляющие тока, создаваемые нагрузкой, динамически

скомпенсировать реактивную мощность и сгладить график потребляемой активной мощности.

Потери мощности будут рассматриваться на примере участка сети напряжением 10кВ (рис.1).

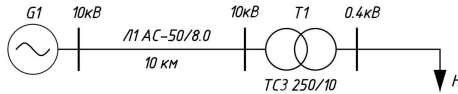


Рис. 1. Однолинейная схема участка сети

Питание системы осуществляется от трехфазного симметричного источника энергии с линейным напряжением 10 кВ. Передача энергии производится по ЛЭП, выполненной из кабеля АС 50/8.0. Для преобразования напряжения сети в напряжение, подводимое к нагрузке, используется трансформатор ТСЗ 250/10. Параметры трансформатора и линии приняты в соответствии с каталожными данными (табл. 1) [2].

Таблица 1

Параметры элементов сети

Линия							
Марка	$U_{ном}$, кВ	$r_{уд}$, Ом/км	$x_{уд}$, Ом/км	Длина, км	$R_{л}$, Ом	$X_{л}$, Ом	
АС 50/8.0	10	0.592	0.382	20	11.842	7.64	
Трансформатор							
Марка	$S_{ном}$, кВА	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	$P_{ХХ}$, Вт	$P_{к}$, Вт	$U_{к}$, %	$I_{к}$, %
ТСЗ-250/10	250	10	0.4	1000	3800	5.5	3.5

В качестве инструмента исследования процессов, происходящих в системе, используется имитационное моделирование в среде Simulink пакета прикладных программ Matlab 16.

Схема моделирования (рис.2) состоит из:

- модели генератора, представляющей собой симметричный идеальный трехфазный источник напряжения бесконечной мощности;
- линии со сосредоточенными параметрами, представленной в виде последовательного соединения активного и индуктивного сопротивлений;
- симметричной активно-индуктивной нагрузки, параметры которой указаны в табл.2;

Таблица 2

Параметры нагрузки

№ опыта	$U_{\text{ф}}, \text{В}$	$\text{Cos}\phi$	$P, \text{кВт}$	$S, \text{кВА}$
Нагрузка 1	220	0,6	150	250
Нагрузка 2		0,7	175	
Нагрузка 3		0,8	200	
Нагрузка 4		0,9	225	

– трансформатора ТСЗ-250/10, введенного в схему с использованием модели из библиотеки элементов среды Simulink. Его параметры рассчитаны по каталожным данным.

– сетевого активного фильтра, который является подключаемым параллельно к сети источником тока, состоящим из силового блока и блока управления (рис.3). Силовой блок состоит из трехфазного автономного инвертора напряжения, собранного на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT), и конденсатора в качестве накопителя электроэнергии в цепи постоянного тока. Блок управления реализован с помощью реле, которые в зависимости от входящего сигнала подают отпирающий импульс на один из двух транзисторов фазы. Сигнал на реле подает сумматор, формирующий на выходе разность между током на низкой стороне трансформатора и задающим током, который соответствует активной мощности, потребляемой нагрузкой [3].

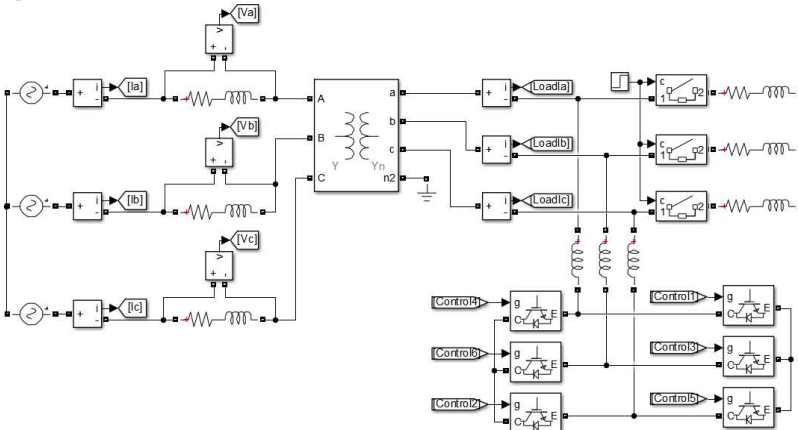


Рис. 2. Силовая часть схемы

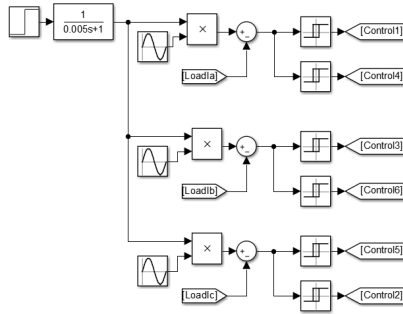


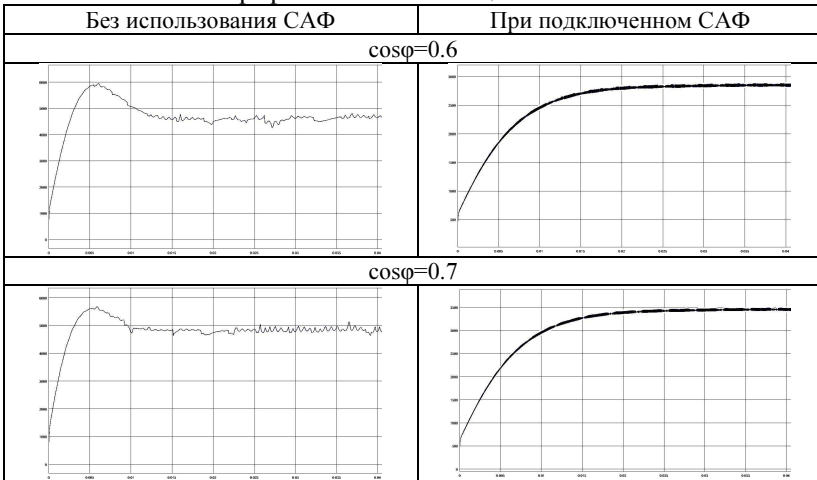
Рис. 3. Блок управления

Суть эксперимента заключается в поочередном включении нагрузок с различным коэффициентом мощности. Коммутация происходит в момент времени $t=0$ при нулевых начальных условиях.

Для каждой из нагрузок получаем графики потерь активной мощности в линии при подключенном САФ и без него (табл.3), на которых можно выделить два временных интервала, соответствующих переходному ($0 - 0,02$ с) и установившемуся ($0,02 - 0,04$ с) режимам работы системы. Для всех случаев рассчитываем среднеквадратичную мощность, а также отношение мощностей двух указанных режимов (табл. 4).

Таблица 3

Графики активной мощности в линии



Продолжение таблицы 3

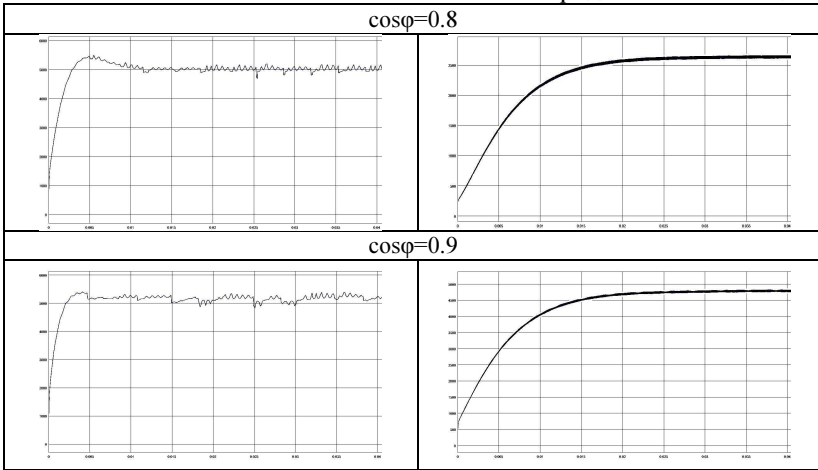


Таблица 4

Полученные результаты

	cosφ=0.6		cosφ=0.7		cosφ=0.8		cosφ=0.9	
	-	САФ	-	САФ	-	САФ	-	САФ
$P_{ск.пер.}$, Вт	4815	2301	4889	2752	4959	3283	5053	3756
$P_{ск.уст.}$, Вт	4546	2843	4854	3440	5000	4050	5151	4691
k_p	1.059	0.809	1.007	0.8	0.992	0.8	0.981	0.801
k_3 , %	24		21		19.5		18	

$P_{ск.пер.}$ – среднеквадратичная мощность потерь в линии в течение переходного процесса (0 – 0,02 с).

$P_{ск.уст.}$ – среднеквадратичная мощность потерь в линии в установившемся режиме работы (0,02 – 0,04 с).

$$k_p = \frac{P_{ск.пер.}}{P_{ск.уст.}}$$

– коэффициент, определяющий отношение потерь в

линии в течение переходного процесса к потерям в установившемся режиме.

$k_3 = (1 - \frac{k_{p,САФ}}{k_p}) \cdot 100\%$ – коэффициент эффективности применения САФ.

Из анализа полученных результатов видно, что применение САФ позволяет уменьшить влияние переходного процесса в нагрузке на сеть электроснабжения. При снижении коэффициента мощности характер переходного процесса становится более выраженным, о чем говорит рост коэффициента k_p . Это, в свою очередь, влечет за собой увеличение потерь в переходном процессе: при $\cos\varphi=0,7$ $P_{ск.пер.}$ достигает величины $P_{ск.уст.}$, а при $\cos\varphi=0,6$ превышает их. Вместе с этим повышается экономический эффект от применения САФ, что подтверждается полученными результатами: даже при малоиндуктивной нагрузке использование САФ позволяет снизить потери в переходном процессе на 18%, а при коэффициенте мощности 0,6 – на 24%.

Также стоит отметить, что применение САФ снижает потери и в установившемся режиме, так как в этом случае из сети потребляется только активная составляющая тока.

Таким образом, широкое внедрение САФ в сетях электроснабжения, особенно там, где имеет место повторно-кратковременный режим работы электрооборудования с низким коэффициентом мощности, позволит значительно уменьшить потери в ЛЭП. Экономическая же выгода от их использования в долгосрочной перспективе сможет окупить затраты на их установку.

Библиографический список

1. Деятельность СО ЕЭС [Электронный ресурс]. URL: <https://so-ups.ru/index.php?id=ees>.
2. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков, В.В. Жуков, Ю.П. Кузнецов. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. 152 с.
3. Generalized Theory of Instantaneous Reactive Power and Its Application / H. Akagi, Y. Kanazawa, K. Fujita, A. Nabae // Engineering in Japan. 1983. Vol. 103. No 4. P. 483–490.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

магистрант **Маряхина С.В.**

Научный руководитель канд техн. наук, доц. **Логачева А.Г.**

*Казанский государственный энергетический
университет, г. Казань*

***Аннотация.** В то время как учет ресурсопотребления является основной для оценки энергоэффективности существующих систем, планирования и разработки мероприятий по реализации их ресурсосберегающего потенциала, существующие способы сбора показаний приборов учета в жилищно-коммунальном секторе России не могут обеспечить высокой точности и оперативности. Традиционный механизм расчета зачастую приводит к небалансу распределения платы за потребленные энергоресурсы между жильцами в многоквартирных домах.*

Существующее положение: дистанционное управление и сбор данных является основным и в настоящее время остается наиболее перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими процессами в жизненно важных и критичных с точки зрения безопасности и надежности областях. Именно на принципах диспетчерского управления строятся крупные автоматизированные системы в промышленности и энергетике.

Цель работы: решение проблемы учета потребления ресурсов в жилищно-коммунальном секторе.

Существующие проблемы и пути их решения при учете потребления ресурсов

В современных условиях постоянного роста цен на ресурсы их точный учет имеет большое значение. Потенциал ресурсо- и энергосбережения российской экономики составляет по разным оценкам от 20 до 45%. При этом немалая его доля лежит в жилищно-коммунальном секторе. В свою очередь учет ресурсопотребления является основной для оценки энергоэффективности существующих систем, планирования и разработки мероприятий по реализации их ресурсосберегающего потенциала. Тем не менее, традиционно используемые в большинстве случаев способы сбора показаний приборов учета имеют определенные недостатки.

Согласно статье 155 Жилищного кодекса РФ плата за жилое помещение и коммунальные услуги вносится ежемесячно до 10-го числа

месяца, следующего за истекшим. То есть, за март граждане должны заплатить до 10 апреля. Объемы потребления энергоресурсов, согласно Правилам предоставления коммунальных услуг в многоквартирных домах (МКД), определяются по показаниям приборов учета, а при непредставлении этих показаний – по среднемесячному потреблению электроэнергии.

В результате между ресурсоснабжающей организацией, исполнителем коммунальных услуг и бытовым потребителем в МКД возникают сложности по определению объемов потребленных энергоресурсов. Эффективное решение данной проблемы может быть достигнуто путем создания систем сбора данных на базе LPWAN сетей. Внедрение LPWAN в ЖКХ для создания автоматизированных систем сбора данных с приборов учета облегчит администрирование, удобство и эффективность сбора показаний [1, 2].

LPWAN– беспроводная технология передачи малых по объёму данных на дальние расстояния. LPWAN обеспечивают среду сбора данных с датчиков, счётчиков и сенсоров [3, 4]<https://ru.wikipedia.org/wiki/LPWAN> - cite_note-pcweek-1.

Передача данных в сетях LPWAN осуществляется по принципу радиосвязи, и как для всех радиосистем, действует свойство увеличения дальности связи при снижении скорости передачи. Таким образом, передавая небольшой объем данных на низкой скорости, удается добиться большей дальности распространения радиосигнала и увеличения зоны действия для принимающих и передающих устройств.

Устройство или модем с LPWAN-модулем передает данные по радиоканалу на базовую станцию. Станция принимает сигналы от всех устройств в радиусе своего действия, оцифровывает и передаёт на удалённый сервер, используя доступный канал связи: Ethernet, сотовая связь, VSAT. Управление устройствами, обновление программного обеспечения происходит с использованием обратного канала связи.

На рис. 1 представлена топология LPWA сети.

На данный момент существует несколько LPWAN-технологий, используемых в различных точках мира. Друг от друга они отличаются частотами и протоколами связи [6]. В России наиболее широко используются две технологии: «СТРИЖ» и LoRa.

«СТРИЖ» – российская технология энергоэффективной связи, разработанная компанией «СТРИЖ Телематика». Работает на частоте 868,8 МГц с использованием узкополосной модуляции радиосигнала на базе собственного протокола связи Marcatto 2.0 [7].

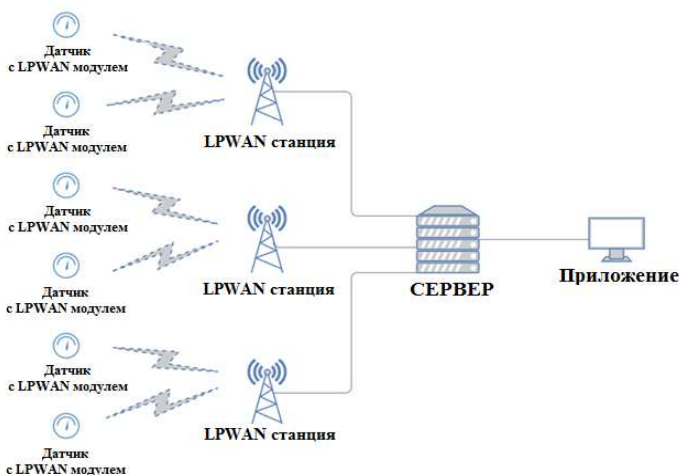


Рис. 1. Топология LPWA-сети [5]

Компания Lase создает и использует одноименную беспроводную глобальную энергоэффективную сеть, внедряемую Альянсом LoRa. Технология LoRa разработана компанией Semtech, является широкополосной, работает в субгигагерцовом диапазоне. Сеть уже развернута во многих городах России [8].

Потребители привыкли оплачивать коммунальные ресурсы по остаточному принципу и в последнюю очередь. Многие копят долги за 2-3 месяца, а в совокупности это миллиарды рублей, приводящие к серьезным кассовым разрывам у поставщиков ресурсов.

Сумма долгов россиян в сфере ЖКХ:

- август 2009 г. – 200 миллиардов рублей;
- май 2015 г. – 1 триллион рублей (6,6% всего бюджета страны).

Фактическая утечка и неучтенный расход воды составляет 22-23% от суммарного объема подачи воды по всей России.

Фактические потери электроэнергии по стране достигают 130 миллиардов кВт·ч (13,6% отпуска в сеть) [9].

Расчет перехода на дистанционный сбор данных в многоквартирных домах при помощи технологии «СТРИЖ Телематика»

Рассмотрим 10 одинаковых многоквартирных домов, 80 квартир в каждом.

Приведем расчет затрат на переход оборудования LPWAN сетей.

Стоимость оборудование, руб.:

1) электросчетчик с радиомодулем «Ампер-1»	5 990
2) счетчик воды с радиомодулем «Аква1» ДУ15 80 мм	2 190
3) модем «Тиффани iAA» для общедомового счетчика воды	4 490
4) модем «Тиффани iAA» для квартирных водосчетчиков	2 490
5) модем TDIN rD для учета электроэнергии	3 990
6) базовая радиостанция УСПД «СТРИЖ НВГВ 1000»	~ 195 000
7) сервер Комплект разработчика DK-100	39 900

Обслуживание, руб.:

1) установка счетчика воды	2 000
2) установка электросчетчика	1 500

На 1 кв. необходимо два счетчика воды (холодная и горячая вода), один электросчетчик, два радиомодема (на электросчетчик и на водосчетчик), установка электросчетчика, установка водосчетчика, всего

$$2 \times 2\,190 + 5\,990 + 3\,990 + 2\,490 + 1\,500 + 2\,000 = 20\,350 \text{ руб.}$$

На один дом из 80 квартир: $20\,350 \times 80 = 1\,628\,000$ руб.

На дом для ОДН необходимо два счетчика воды (холодная и горячая вода), один электросчетчик, два радиомодема (определяют общедомовые показания счетчиков), установка счетчиков, всего 20 350 руб.

В результате затраты на один дом составят

$$1\,628\,000 + 20\,350 = 16\,483\,350 \text{ руб.}$$

Затраты на 10 домов $1\,648\,350 \times 10 = 16\,483\,500$ руб.

Базовая станция «СТРИЖ» – стационарная радиостанция принимающая сигналы от модемов «СТРИЖ». Данные от тысячи модемов поступают на базовую станцию, обрабатываются и транслируются в информационный центр «СТРИЖ Телематика».

Станция может быть подключена к сети Интернет и электропитанию посредством одного и того же Ethernet кабеля. Для ситуаций, когда рядом нет Ethernet или Интернета, используется обычный GSM модем для подключения станции к сети.

Так как базовая станция имеет встроенный GSM модем, то можно 1 станцию установить на 10 квартирных домов.

С учетом базовой станции и сервера получим общую стоимость

$$16\,483\,500 + 195\,000 + 39\,900 = 16\,718\,400 \text{ руб.}$$

Объясним, как сократить расходы на общедомовые нужды (ОДН) на примере воды, применив рассматриваемую технологию.

Теоретически, ОДН – это вода, которая пошла на уборку подъезда, этажей, лестниц, а также на полив прилегающей территории и другие хозяйственные нужды. Но по факту ОДН получается путём вычитания из показаний общедомового счётчика суммы потребленной всеми жильцами воды. Только вот в результате некоторых факторов доля общего поквартирного потребления снижается, а ОДН, соответственно, увеличивается: 1) в квартирах без водомеров потребляют больше, чем положено по нормативу; 2) потери из-за меньшего, чем порог чувствительности водосчётчика, тока воды; 3) несовпадение момента снятия показаний с общедомового и квартирных водосчётчиков; 4) непредоставление показаний некоторыми жильцами; 5) аварии трубопроводов и протечки в подвалах; 6) фальсификация и ошибки в показаниях; 7) перетекание из стояка в стояк; 8) неконтролируемое потребление воды в местах общего пользования; 9) халатность отдельных сотрудников управляющих компаний.

ОДН оплачивается всеми жильцами пропорционально площадям их квартир. Полагается, что ОДН составляет 3-4% от общедомового расхода воды, но в силу перечисленных выше причин на практике ОДН достигают 30%.

Переход на водомеры с постоянной дистанционной передачей данных в систему учёта приведёт к невозможности исказить данные и потребитель будет платить только за использованные им кубометры и в полном объёме. Но такое возможно только при системном подходе – если поставить счётчик с постоянной передачей данных в одной квартире, то ситуацию с ОДН это не исправит.

Нужно установить счётчики с возможностью дистанционной передачи показаний в квартирах, где вообще не установлены приборы учёта. А там, где водомеры были установлены недавно, просто подключить модемы. Разумно заменять водосчётчики, у которых подходит время поверки, на новые, со встроенным модемом. И, конечно же, оснастить счётчиками «публичные» точки расхода воды для хозяйственных нужд для объективного учёта потребления. Нужно провести осмотр сантехники на предмет незначительных подтёков, создающих «расход утечек». А для предупреждения аварийных потерь воды из-за прорыва — установить систему контроля протечек.

Ранее подобные процедуры были довольно затратным, но с появлением технологии «СТРИЖ» формирование показателя ОДН перестало быть бесконтрольным процессом. Система позволяет избавиться от хищения воды и начисления по нормативам, фальсификации пока-

заний и задержек подачи показаний. К тому же значительно упрощается работа управляющей организации: а) сокращается персонал; б) сокращается время обработки и выставления счетов; в) данные автоматически передаются в ИС, ГИС ЖКХ и другие учётные системы; д) исключается возможность спорных ситуаций с поставщиком воды.

Выводы

Использование LPWAN в ЖКХ для создания автоматизированных систем сбора данных с приборов учета облегчит администрирование, удобство и эффективность сбора показаний. Кроме того, нивелируются такие недостатки современного подхода к сбору показаний, такие как: 1) погрешность приборов учёта; 2) несовпадение момента снятия показаний; 3) несвоевременная подача данных; 4) манипуляции со счётчиками; 5) неконтролируемое потребление ресурсов в местах общего пользования; 6) ошибки в показаниях; 7) халатное отношение управляющих компаний.

Кроме городских служб ЖКХ, сети применяются в интересах нефте- и газодобывающей промышленности, горнодобывающих предприятий, промышленных предприятий и других сферах деятельности.

Библиографический список

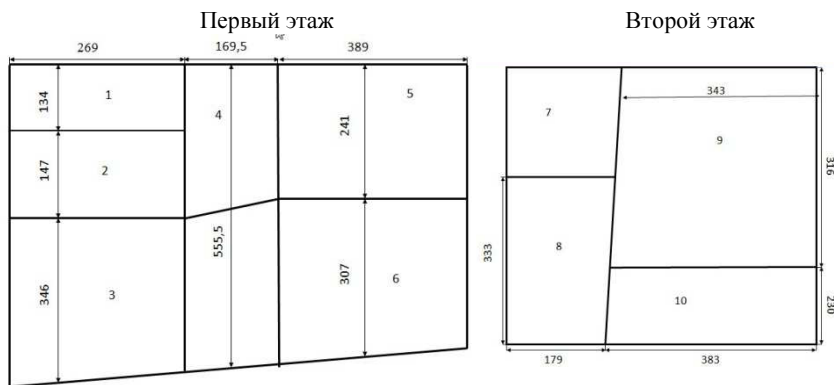
1. Учет ресурсов ЖКХ [Электронный ресурс]. URL: http://abireg.ru/n_38304.html(дата обращения: 21.10.2017)
2. **Чачин П.** IoT внедряется в ЖКХ // Электроника: наука, технология, бизнес. 2017. № 6 (166). С. 138–142.
3. Перспективная универсальная сеть передачи данных / Г.Ф. Насонов, В.Ф. Танаев, Д.В. Ефанов и др. // Транспорт Российской Федерации. 2016. № 5 (66). С. 29–32.
4. **Kirichek R.1, Kulik V.** Long-Range Data Transmission On Flying Ubiquitous Sensor Networks (Fusn) By Using Lpwan Protocols // Communications In Computer And Information Science. 2016. Vol. 678. Pp. 443–453.
5. LPWAN [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LPWAN> (дата обращения: 21.10.2017)
6. **Кумаритова Д.Л., Киричек Р.В.** Обзор и сравнительный анализ технологий LPWANсетей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. № 4. С. 33–48.
7. СТРИЖ [Электронный ресурс]. URL: <http://strij.net/internet-of-things/resheniya> (дата обращения: 23.10.2017).
8. Сообщество LoRaWAN. Протокол LoRaWAN, модуляция LoRa [Электронный ресурс]. URL: <http://lorawan.lace.io/> (дата обращения: 23.10.2017).
9. Актуальность применения систем дистанционного сбора данных с приборов учёта [Электронный ресурс]. URL: http://net868.ru/upload/CounterApp_presentation.pdf (дата обращения: 29.10.2017)

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ЧАСТНОГО ДОМА

Магистрант **Михалева К.Д.**
Научный руководитель д-р техн. наук, доц. **Трубаев П.А.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

После решения проблемы по отоплению частной постройки появилась проблема по сохранению тепла внутри помещения [1]. Целью данной работы стала необходимость сокращения тепловых потерь в помещении, так как в холодное время года при внешней температуре -25°C , температура в помещении не превышает $+10^{\circ}\text{C}$, а котел работает в пиковом режиме. Кроме того, при утеплении частного дома снизятся затраты на электроэнергию, так как для теплоснабжения используется электрический котел.

В этой статье будут приведены рекомендации по сокращению тепловых потерь в частном доме [2]. Начальные данные: дом, выполненный в начале 1990-х годов из белого кирпича, имеющий два этажа. На рис. 1 изображены эскизы каждого этажа. Для системы отопления выбраны радиаторы алюминиевые, полипропиленовые трубы диаметрами 32мм и 20мм.



. Рис.1. Схема первого этажа частного дома:

1 – ванная комната; 2 – коридор; 3 – гостиная (с окнами $1,16 \times 1,15$ м); 4 – коридор; 5 – кухня (окно $0,74 \times 1,08$ м); 6-гостиная (окно $0,76 \times 1,06$ м); 7 – гардеробная; 8 – коридор (окно $0,78 \times 1,06$ м; окно $1,70 \times 1,15$ м); 9 – спальня 1 (окно $1,70 \times 1,15$ м); 10 – спальня 2 (окно $1,70 \times 1,15$ м)

На рис. 2. приведены фотографии, сделанные в феврале этого года тепловизором RGK TL-80. Температура окружающего воздуха составляет -8°C . Точка самой высокой температуры равна $+2^{\circ}\text{C}$, учитывая температуру внутри дома $+12^{\circ}\text{C}$.



Рис. 2. Тепловые потери частного дома

Через стены уходит около 30% тепла из дома, поэтому на их утепление следует обратить внимание [3]. Самый распространенный и простой способ утепления – организация многослойной системы [4]. Внешние стены дома обшиваются утеплителем, в роли которого был выбран Пеноплекс с толщиной 30 мм, сверху монтируется армирующая сетка, а потом – базовый и основной слой штукатурки (рис. 3).



Рис.3. Утепление с помощью пенополистирола Пеноплекс

Также рекомендуется теплоизолировать оконные проемы, кровлю, пол и фундамент [5]. Известно, что тепловые потери сквозь кровлю могут составлять до 20%. Чтобы утеплить крышу используются те же строительные материалы, что и для стен. Получили широкое распро-

странение минеральная вата и пенополистирол. Специалисты рекомендуют кровельную теплоизоляцию не тоньше 200 мм [6].

На оконные проемы также приходится до 20% теплопотерь. Учитывая тот факт, что стеклопакеты лучше деревянных окон, они не без изъянов. Предпочтительнее установка селективных стекол. Селективные стекла работают по принципу земной атмосферы. Они пропускают коротковолновое излучение, но не выпускают тепловые лучи, создавая «парниковый эффект». Селективные стекла бывают И- и К-типа. На И-стекла покрытие наносится в вакууме уже на готовый материал. На К-стекла покрытие наносят в процессе изготовления, используя химическую реакцию. И-стекла считают более эффективными, так как они сохраняют 90% тепла, в то время как К-стекла – 70% [7]. Селективные стекла с инертным газом максимально сокращают теплопотери через окна. Теплопроводность используемого инертного газа ниже, чем воздуха, поэтому дом почти не теряет через них теплоту.

Через фундамент и пол первого этажа теряется по 10% теплоты. Пол утепляют теми же материалами, что и стены, но можно использовать и другие варианты: наливные теплоизоляционные смеси, пенобетон и газобетон, гранулобетон с теплопроводностью $0,1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$. Можно утеплить не пол, а потолок подвала, что и будет выполнено в нашем случае.

Фундамент лучше утеплять снаружи, что поможет защитить его не только от промерзания, но и от других негативных факторов, в т.ч. влияния грунтовых вод, перепадов температур и т.д. В целях утепления фундамента используют напыляемый полиуретан, керамзит и пенопласт [8].

Кроме того, затраты на энергопотребление можно снизить за счет снижения потребления самого электричества [9]. Пусть в частных домах отдается предпочтение естественному освещению, отказаться от искусственного полностью невозможно. Важно не просто разместить светильники, но и обеспечить достаточный уровень освещенности, так как недостаток света ухудшит зрение. Максимально уменьшат затраты на электроэнергию датчики движения, присутствия и освещенности.

Датчики движения подойдут для тех комнат, в которых жители бывают периодически. Рекомендуется разместить подобные устройства в гардеробной, коридоре или кладовой. При выходе из комнаты датчик движения заметит это и автоматически отключит светильники.

У датчиков присутствия есть зона высокой чувствительности, которая распознает даже мельчайшие движения. В отличие от датчика

движения, датчик присутствия «увидит» не только при перемещении по комнате, но и тогда, когда мы, например, перелистываем книгу во время чтения.

Такие устройства подойдут для рабочего кабинета, домашней библиотеки или ванны. Для ванной комнаты важно, чтобы установленный в ней датчик подходил для влажных помещений и имел степень защиты IP65, как мини-датчик присутствия PICO-M-1C.

Окончание работ по энергосбережению планируется в апреле-мае 2018 года.

Библиографический список

1. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха : справ. пособие / ред. Л. Д. Богуславского. М.: Стройиздат, 1990. 624 с.

2. Апсалямова Я.И., Тарасюк П.Н., Трубаев П.А. Определение расхода энергетических ресурсов в зданиях // Образование, наука, производство. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 1183-1187.

3. Тарасюк П.Н., Трубаев П.А., Сухорослова В.В. Повышение энергоэффективности в индивидуальном жилищном строительстве в условиях Белгородской области // Научное обозрение. 2013. № 9. С. 410-415.

4. Тарасюк П.Н., Вашенко Д.А., Трубаев П.А., Радченко В.В. Анализ термического сопротивления ограждающих конструкций различного типа по результатам инструментальных измерений // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 152-158.

5. Власова А.А., Тарасюк П.Н., Сухорослова В.В., Трубаев П.А. Опыт энергосбережения при индивидуальном жилищном строительстве в Западной Европе // Фундаментальные исследования в естественнонаучной сфере и социально-экономическое развитие Белгородской области. БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. С. 21-24.

6. Ведерников И.К., Тарасюк П.Н., Трубаев П.А. Анализ конструктивных решений ограждающих конструкций общественных зданий Белгородской области // Образование, наука, производство. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 1217-1219.

7. Свирин М.В., Мелашич Е.А., Тихомирова Т.И. Энергосберегающие стеклопакеты // Энергетические, управляющие и информационные системы: Сб. докл. I меж. научно-техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. С. 141-145.

8. Тихомирова Т.И., Щетинина И.А., Щетинин Н.А. Энергосбережение при утеплении фасадов зданий // Энергетические, управляющие и информационные системы: Сб. докл. I меж. научно-техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. С. 154-157.

9. Дёгтев И.А., Лаврик Г.И. Малоэтажное эколого-экономичное жилище для массового строительства в условиях Белгородчины // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2008. – № 1. – С. 32-34.

КРИТЕРИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

Аспирант **Найман Мих.О.**

Магистрант **Найман М.О.**

Научный руководитель канд. биол. наук, доц. **Найман С.М.**

*Казанский национальный исследовательский
технический университет имени А.Н. Туполева,
г. Казань*

***Аннотация.** В работе рассмотрены преимущества, недостатки, условия и экономическая целесообразность рекуперации отходов пластических материалов. Многообразие видов полимерных материалов, существенные различия в составе исходных веществ в значительной степени усложняют задачи их утилизации, вызывая в ряде конкретных случаев необходимость изыскания своеобразных путей их решения*

Полимерные материалы играют важную роль в производстве широкого ассортимента изделий машиностроительной, электротехнической, электронной, радиотехнической, приборостроительной и многих других отраслей современного производства [1]. В последние десятилетия отмечается рост использования различных пластмасс, что ведет к увеличению доли пластиковых отходов в общей массе твердых коммунальных отходов (ТКО) [2].

Целью данной работы было установление возможности переработки полимерных отходов в зависимости от их дальнейшего использования.

Преимуществом полимеров по сравнению с другими материалами является их невысокая плотность, возможность регулирования свойств путем введения различных модифицирующих добавок (наполнителей, пластификаторов, стабилизаторов и др.); высокие диэлектрические свойства, коррозионная и химическая стойкость, а в некоторых случаях радио- и оптическая прозрачность, антифрикционные, фрикционные и разнообразные декоративные свойства; доступность и дешевизна исходного сырья. Полимерные материалы имеют высокую технологичность, поскольку при переработке в готовые изделия отличаются малооперационностью и низкой энергоемкостью. Например, у полимеров энергоемкость по сравнению с титановыми сплавами ниже в 20 раз, с алюминиевыми - в 5 раз, со сталью - в 3 раза [1]. Одновременное снижение эксплуатационных затрат на антикоррозионную защиту, смазку и замену изношенных деталей делает выбор полимерных мате-

риалов не только экономически наиболее предпочтительным, но часто и единственно возможным. Отсюда и неуклонный рост объемов применения полимеров во всех отраслях современной промышленности [3].

Ассортимент и марочный состав материалов на основе полимеров постоянно расширяется, что создает существенные трудности при выборе материалов для конкретных условий применения, оценке его технических свойств, экономичности и т.п. Научно-обоснованный подход к выбору полимерных материалов является необходимым условием повышения надежности и сроков службы изделий, а, следовательно, и эффективности использования этих материалов.

Основные виды полимерных отходов и области применения вторично переработанных пластмасс приведены в табл. 1.

Утилизация полимерных отходов может рассматриваться как важный экономический фактор [4], поскольку энергия и материалы поступают в повторное использование. Из восстановленных пластмасс может быть изготовлено большое количество разнообразной продукции [5].

Но, несмотря на значительные преимущества повторного использования полимерных материалов, таким способом утилизируется лишь незначительное их количество [6], что связано с трудоемкостью сбора, разделения, сортировки, очистки отходов (прежде всего отходов бытового потребления). Преимущественное положение занимают [7] промышленные полимерные отходы, так как они являются отходами компактных источников, не содержат поверхностные загрязнения и являются однородными по составу продуктами, легко поддаются селективному сбору, не требуют сортировки, и их подготовка и переработка могут быть осуществлены достаточно легко

Бытовые полимерные отходы могут собираться через приемные пункты вторичного сырья, а также путем раздельного сбора в местах образования, но это экономически малоэффективно. К тому же основная масса бытовых отходов требует очистки от загрязнений.

В промышленности применяются следующие основные направления утилизации и ликвидации отходов полимеров:

- переработка отходов в полимерное сырье и повторное его использование для получения изделий;
- сжигание вместе с бытовыми отходами;
- пиролиз и получение жидкого и газообразного топлива;
- захоронение на полигонах и свалках.

Таблица 1

Применение вторично переработанных пластмасс

Тип пластмассы	Структура полимерных отходов, %	Уровень сбора и переработки	Применение переработанного пластика
Полиэтилен высокой плотности	34	20	Упаковка, шпалы, баки, ящики для тары, трубы, фурнитура и пленка
Полиэтилен низкой плотности			Строительная пленка (гидроизоляция), мешки для мусора, тепличная пленка
Полиэтилен-терефталат	21	15	Волокно (одежда, ковровые покрытия, нетканый текстиль, волоконный наполнитель), листы, ремни и стропы, бутылки
Поливинилхлорид	14	10	Трубы, трубные соединения, сердечники шлангов, автомобильные брызговики, покрытия и половики
Полипропилен	8	17	Ящики, тара, пластмассовые брусья (с ПЭ), офисные принадлежности, детали для автомобильной промышленности
Полистирол	8	12	Изоляционные панели, упаковочные материалы, утепляющая обшивка труб
Комбинированные материалы на основе бумаги и картона	17	Не собираются и не перерабатываются	

Особенности технологий переработки отходов полимерных материалов связаны с их уникальными свойствами и строением.

Таким образом, критерии экономического эффекта при заготовке, подготовке к переработке и использовании вторичного полимерного сырья необходимо различать по затратам и результатам:

По затратам:

- одноразовые затраты – капиталовложения; организация производства по переработке полимерных отходов;
- текущие затраты – себестоимость; материалоемкость; закупочные цены исходного полимерного сырья; потребляемые энергоресурсы (электроэнергия, вода, сжатый воздух);
- потребность в рабочей силе;
- защита окружающей среды – очистные сооружения, воздухообменная вентиляция и др.

По результатам:

- прибыль, объем производства, срок окупаемости;
- производительность труда;
- качество продукции;
- экономия энергоресурсов;
- экологические характеристики, снижение затрат на мероприятия по защите окружающей среды, усовершенствование технологии производства.

Конечные свойства и экономическая ценность вторичных полимерных материалов зависят от степени деструкции при первичном использовании и от условий вторичной переработки.

Библиографический список

1. Вторичная переработка пластмасс; под ред. Ф. Ла Мантия; пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова. СПб.: Профессия, 2006. 400 с.
2. **Бабаев В.Н., Коринько И.В., Шутенко Л.Н.** Полимерные отходы в коммунальном хозяйстве города. Харьков: ХНАГХ, 2004. 375 с.
3. **Гродзенский С.Я., Еманаков И.В., Овчинников С.А.** Бережливое производство – прошлое и настоящее // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2016. № 1. С. 204–207.
4. **Найман С.М.** Формирование ресурсосберегающей технологии на основе балансового метода // Экология промышленного производства. 2014. № 1 (85). С. 55–59.
5. **Найман С.М.** Биоэнергетические технологии и рациональное природопользование. // Экология и промышленность России. 2014. № 9. С. 56–61.
6. **Тимонин А.С.** Инженерно-экологический справочник. Т. 3. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. 1024 с.
7. **Вайсман Я.И., Пугин К.Г.** Ретроспективный анализ и перспективы развития систем управления обращением с отходами производства // Вестник МГСУ. 2015. № 2. С. 70–84.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА СЕРИИ RS-A

Магистрант **Нигматзанова Э.М.**

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. **Рыжков Д.В.**

*Казанский государственный энергетический
университет, г. Казань*

Рассматриваются водогрейные котлы предприятия ООО «Завод котельного оборудования» в г. Туймазы РТ серии «RS-A» предназначены для отопления жилых домов, зданий коммунально-бытового и производственного назначения, общественных зданий (школы, больницы, социальные и торговые центры), максимально приспособлены для установки в крышных котельных.

В настоящее время интенсивно развивается малая энергетика, в большом количестве строятся индивидуальные котельные на предприятиях, жилых домах, и т.п. Отсоединение их от общей теплосети вызвано перебоями в теплоснабжении, непостоянными параметрами теплоносителя, а также дороговизной получаемого тепла. В связи с этим появляется повышенный спрос на отопительные котлы сравнительно небольшой мощности.

Такие котлы обладают общими признаками в первую очередь это единое конструктивное решение всего типоряда, возможность комплектации горелочным устройством и группой безопасности непосредственно на заводе-изготовителе и пр.

В настоящее время в коммунальном секторе водогрейные отопительные котлы малой мощности, на нашем рынке в большей степени представляли зарубежные производители, но в последнее время стали появляться и отечественные котлы малой мощности с вентиляторными горелками с достаточно высоким КПД – 93-94% и низкой эмиссией загрязнения окружающей среды.

Самым главным вопросом в выборе и установке котельного оборудования ресурсоснабжающих предприятий для предоставления качественной и бесперебойной тепловой энергии населению является выбор марки котла.

Рассмотрим один из них.

Котлы серии RS-A являются газовыми водогрейными аппаратами с водотрубным теплообменником. Конструкция теплообменника обес-

печивает сочетание значительной тепловой мощности и высокого КПД при малых габаритах и небольшом весе.

Данные агрегаты имеют открытую топку, оборудованы атмосферной горелкой, теплообменник выполнен из оребренных труб. Благодаря оребренным трубам наружная поверхность увеличивается, что приводит к повышению эффективности теплопередачи в полтора раза.

Котлы водогрейные серии "RS-A" выпускаются по ТУ 4931-011-88137190-2009, в соответствии с "Правилами устройства и безопасности эксплуатации паровых котлов с давлением пара до 0,07 МПа, водогрейных котлов и водоподогревателей с температурой нагрева воды не выше 115°C". Мощность от 40 до 500 кВт. Вид топлива: природный газ ГОСТ 5542-87; сжиженный бытовой газ LPG (пропан-бутан).

Высокая скорость циркуляции теплоносителя в топочных трубах позволяет в несколько раз снизить отложения накипи на стенках труб и увеличивает интенсивность теплообмена.

Малый водяной объем делает котел безопасным при превышении рабочего давления или при перегреве воды.

Котлы имеют большой срок эксплуатации и неограниченное количество пусков и остановок благодаря плавающей конструкции теплообменника, которая позволяет трубам свободно перемещаться относительно каркаса котла при тепловом расширении (включение-выключение котла).

Газовый котел RS-A имеет одну из самых простых конструкций в мире котлостроения. Достаточно понять, что чем проще система работы котла – тем она надежнее, доступнее и удобнее в эксплуатации. Ведь сложность производства техники обуславливает её стоимость на рынке. Теплообменник газового котла RS-A устроен настолько просто, что даже невероятно, что такая конструкция может работать на КПД более 90% (рис.1).

Эта простая система является очень надежной. Соединительные кольца оребренных труб выполняют роль турбулизаторов. Из-за малого водоизмещения теплообменника пришлось делать его скоростным. Скорость прохождения теплоносителя через теплообменник должна составлять 2 м/с. В противном случае меньшая скорость будет вызывать подкипание теплоносителя.

Автоматика безопасности газового котла RS-A производится такими фирмами как Honeywell и Sit, поэтому в более детальном пояснении качества не нуждаются. Горелка фирмы Polidoro так же является одним из самых качественных элементов котла.

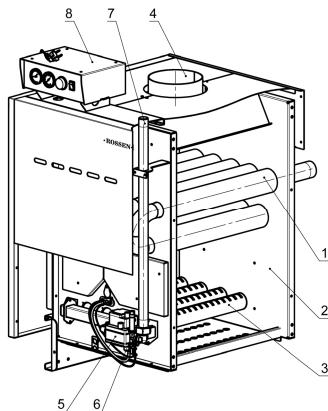


Рис.1. Внутреннее устройство котла:

- 1 – оребренная труба теплообменника; 2 – теплоизоляция; 3 – ручки горелки;
 4 – выход дымовых газов; 5 – автоматика ELETROSIT-810; 6 – пьезорозжиг;
 7 – подача газа; 8 – пульт

ООО "Завод Котельного Оборудования" в г.Туймазы РТ, где котел RS-A производится, является специализированным предприятием, основным направлением деятельности которого является производство широкого спектра продукции теплоэнергетического комплекса.

Продукция изготавливается на собственных производственных площадях предприятия. Котлы серии RS-A защищены патентом №2477824.

Технические характеристики котла указаны в табл. 1.

Для полного анализа и подведения итогов, проведем сравнительную характеристику котлов серии RS-A и Хопер (табл. 2).

По итогам наблюдений, необходимо отметить следующее преимущества котла RS-A: 1) использование гидронного теплообменника, который не позволяет образоваться накипи и шламу; 2) серийно производится больше моделей котлов различной мощности (до 500 кВт); 3) современный дизайн; 4) габариты; 5) вес; 6) возможность диспетчеризации.

В настоящее время, задачей многих предприятий Республики Татарстан является модернизация теплового хозяйства, что влияет на повышении эффективности, энергосбережения.

В связи с этим, большое значение имеет не только внедрение нового оборудования, но и модернизация существующего оборудования.

Таблица 1

Газовые котлы RS-A

Модель котла	RS-A80	RS-A100
Вид топлива	газ природный ГОСТ 5542-87, сжиженный бытовой газ LPG (пропан- бутан)	
Давление газа перед котлом, при работе на природном газе мм.вод.ст	100	
минимальное номинальное максимальное	250	
Давление газа перед котлом, при работе на сжиженном газе, мм.вод.ст., номинальное	350	
	280	
Номинальный расход природного газа, м ³ / час	9	10
Номинальная тепловая мощность при работе на природном газе, кВт	80	96
Номинальный расход сжиженного газа, кг/ час	7	8
Модель котла	RS-A80	RS-A100
Номинальная тепловая мощность при работе на сжиженном газе, кВт	75	90
Разряжение за котлом, не более, Па	40	
Вид теплоносителя	вода питьевая ГОСТ 2874-73 (карбонатная жёсткость 1 мг-экв/л, не более)	
Водяной объем котла, л	17	20,5
Максимальное давление на входе в котел, МПа	0,6 (по спецзаказу 1,0)	
Диапазон поддержания температуры воды на выходе из котла, °С	+50...+95 °С, (по спецзаказу +50...+110 °С)	
Коэффициент полезного действия котла, %	93	
Номинальный расход воды через котел, м3/час	3.36	4,2
Гидравлическое сопротивление котла, МПа	0.035	0,05
Присоединительная резьба патрубка подачи газа патрубков системы отопления	Ду25 Ду50	
Размеры дымохода Ø, мм	200	250
Диаметр сопла, мм	3,55	
Напряжение питания, В	220 ± 10	
Масса, кг, не более	220	250

Таблица 2

Сравнительная характеристика котлов серии RS-A и Хопер

Марка котлов	RS-A	Хопер
Площадь отапливаемого здания	до 5000 кв.м и высоте потолков 2,5 - 3 метра.	до 1000 кв.м и высоте потолков 2,5 - 3 метра
Устройство теплообменника	высокоскоростной водотрубный теплообменник в виде змеевика	теплообменник, изготовленный из стали толщиной 3 мм
Мощность	25-500 кВт	25-100 кВт
Автоматика	1. SIT Nova (на котлы, мощностью 40 и 60 кВт) 2. 810 Elettrosit (на котлы, мощность которых от 80 до 96 кВт) 3. Автоматика Honeywell (на котлы мощностью 99...500 кВт)	Широкий выбор автоматики разных производителей
КПД	не менее 93 %	не менее 92 %

Одним из лучших путей, гарантирующим эффективную эксплуатацию котельной, является высокоэффективное регулирование. Высокоэффективное регулирование позволяет сэкономить в среднем от 4 до 5 % используемой тепловой энергии и окупается в течение года.

Хочу отметить, по сравнению с котлами серии RS-A, не все котлы отечественного производства подлежат модернизации и имеют возможность внедрения системы диспетчеризации.

Котел серии RS-A - это возможность импортозамещения на рынке теплового хозяйства, который позволит повысить:

- развития собственного производства;
- уровень образования при необходимости развития инновационных отраслей для страны.

Библиографический список

1. Патент РФ № 2011127533/06, 06.07.2011. Шаймухаметов Р.С. Водогрейный котел // Патент России № 2477824. 2013. Бюл. № 8.
2. **Внуков А.К.** Режимно-наладочные испытания котлов малой мощности, работающих на газе // Теплоэнергетика. 2005. № 9. С. 70–73.
3. **Баранов П.А.** Эксплуатация и ремонт паровых и водогрейных котлов. М.: Энергоатомиздат, 1998. 264 с.
4. **Эстеркин Р.И.** Эксплуатация, наладка и испытания теплотехнического оборудования: учеб. для техникумов; 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отделение, 1991. 304 с.
5. **Хаванов П. А.** Водогрейные котлоагрегаты малой мощности. Теплотехнические особенности применения // АВОК. 2011. № 5. С. 66-75.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ УЛИЦЫ КОНЕВА Г. БЕЛГОРОД

Студент **Посохов Н.О.**

Студент **Лесников А.О.**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

На сегодняшний день для уличного освещения применяют различные источники света. Самыми востребованными являются газоразрядные и светодиодные лампы. При большом разнообразии источников освещения и тенденции к уменьшению как потерь электроэнергии, так и снижению денежных затрат вопрос об эффективности осветительных приборов весьма актуален.

Для сравнения были выбраны источники света с одинаковыми характеристиками: световой поток – 6000 лм, срок службы – 10 лет. Этим критериям соответствуют лампы следующих марок: лампа «ДНаТ ЖКУ 16-70-001 Лидер GALAD» [3]; лампа «ДРИ ГКУ 16-70-001 Лидер GALAD» [4]; лампа светодиодная «Победа LED-60-ШБ1/К50 GALAD» [2].

Расчет параметров освещения четырехполосной улицы протяженностью 670 м, шириной 1,25 м и пропускной способностью 1,5-3 тыс.ед./ч проводился в программе Light in Night Road 6.0 в соответствии с требованиями по освещенности и яркости СП 52.13330.2016. Все рассматриваемые светильники монтируются на опорах НФГ-6,0-05-ц высотой 7,08 м и вылетом 1,79 м с отступом 1 м на кронштейне 5.К1-1,0-1,5-Ф1-ц. Расстановка опор выполняется в шахматном порядке из-за небольшой ширины проезжей части. Расчёты показали, что для обеспечения требований по освещенности и яркости проезжей части, шаг между опорами для ламп «ДНаТ ЖКУ 16-70-001 Лидер GALAD» составит 35 м, для ламп «ДРИ ГКУ 16-70-001 Лидер GALAD» – 23 м, а для светодиодных ламп «Победа LED-60-ШБ1/К50 GALAD» – 42 м.

Результаты светотехнического расчета представлены в табл. 1 и на рис. 1–3. Исходя из результатов можно сделать вывод, что наиболее равномерное распределение освещенности, общей и продольной яркости имеет лампа ДРИ.

Таблица 1

Результаты светотехнического расчета

Параметры	Ед.изм.	LED	ДНАТ	ДРИ	Норматив
По проезжей части					
$L_{\text{ср}}$	кд/м ²	0,99	1,15	1,17	0,8
$L_{\text{мин}}/L_{\text{ср}}$	–	0,7	0,53	0,76	0,4
$L_{\text{мин}}/L_{\text{макс}}$	–	0,66	0,52	0,87	0,5
$E_{\text{ср}}$	лк	15,3	15,2	15,2	15
$E_{\text{макс}}$	лк	21	19,6	17,5	–
$E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$	–	0,7	0,69	0,86	0,25
$E_{\text{макс}}/E_{\text{ср}}$	–	1,4	1,3	1,2	–
П	%	9,8	6,9	8,7	15
По тротуару (правый)					
$E_{\text{ср}}$	лк	9,1	8,3	11,1	8
$E_{\text{макс}}$	лк	12,4	11,4	12,5	–
$E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$	–	0,8	0,79	0,92	0,3
$E_{\text{макс}}/E_{\text{ср}}$	–	1,4	1,4	1,1	–
По тротуару (левый)					
$E_{\text{ср}}$	лк	9,1	8,3	11,1	8
$E_{\text{макс}}$	лк	12,4	11,4	12,5	–
$E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}}$	–	0,8	0,79	0,92	0,3
$E_{\text{макс}}/E_{\text{ср}}$	–	1,4	1,4	1,1	–

Также стоит отметить, что самым высоким показателем средней горизонтальной освещенности по проезжей части обладают светодиодные лампы, при их наименьшем необходимом количестве, что свидетельствует о высокой эффективности осветительных установок данного вида.

Разработка системы наружного освещения рассматриваемой улицы включала выбор электрооборудования и кабелей для каждого из вариантов. Расчёты показали, что по экономической плотности тока могут использоваться следующие марки кабелей ВВГ 3х1,5 (для светодиодных ламп), ВВГ 3х2,5 (для ламп ДНАТ), ВВГ 3х4 (для ламп ДРИ).

Для каждого из разработанных вариантов наружного освещения улицы Конева были определены капиталовложения, включающие: стоимость светильников, опор и питающих кабелей. Также были определены ежегодные амортизационные издержки, издержки на ремонт и на потери электроэнергии в питающих осветительные приборы линиях.

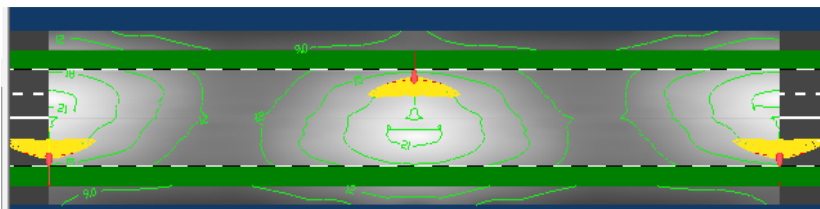


Рис. 1. Распределение освещенности при использовании светодиодных ламп «Победа LED-60-ШБ1/К50 GALAD»

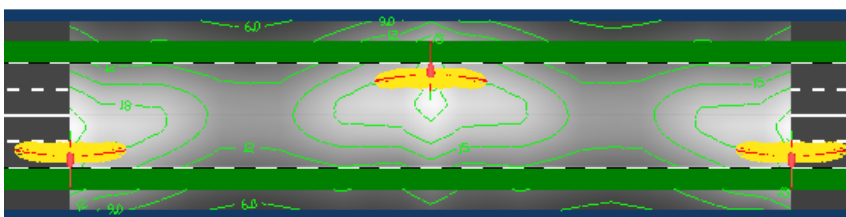


Рис. 2. Распределение освещенности при использовании ламп «ДНаТ ЖКУ 16-70-001 Лидер GALAD»

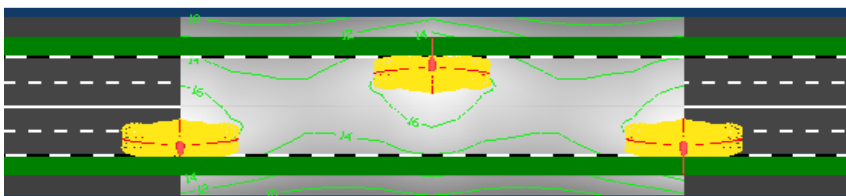


Рис. 3. Распределение освещенности при использовании ламп «ДРИ ГКУ 16-70-001 Лидер GALAD»

По полученным данным были рассчитаны экономические затраты [1, с. 303] для каждого вида источника света, которые составят: для ламп ДНаТ 64098 руб. , для ДРИ 96041 руб. , для светодиодных ламп 56877 руб. Результаты экономического расчета приведены в табл. 2.

Таким образом, для наружного освещения улицы Конева наиболее целесообразно использовать светодиодные осветительные приборы, так как затраты для светодиодных источников света меньше, чем для остальных видов осветительных установок. Это обусловлено тем, что светодиодные источники света имеют высокий световой поток и сравнительно малую потребляемую мощность [2].

Таблица 2

Экономическое сравнение осветительных приборов

Наименование	ДНаТ	ДРИ	Светодиод
Количество	20	30	16
Стоимость, руб.	4017	4017	5775
Стоимость кабелей, руб/м	19,29	21,9	10,7
Капиталовложения, руб	311064	461883	273809
Амортизационные издержки, руб	2981	4472	2666
Издержки на ремонт, руб	2385	3578	2133
Издержки на потери, руб	2085	3021	1416
Потери, кВт/год	540	796	1153

Поэтому данный вид осветительных приборов наиболее экономически выгоден для эксплуатации в сетях наружного освещения. Также стоит отметить, что светодиодная лампа является одним из наиболее экологических и устойчивых к механическим повреждениям источников света, поскольку принцип светодиодного свечения позволяет изготавливать их с использованием безопасных для экологии и ударостойких материалов. К недостаткам можно отнести то, что для данных ламп используются импульсные источники питания, наиболее восприимчивые к перепадам напряжения, поэтому надежность светодиодных источников света ниже, чем у других [3].

Библиографический список

1. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л. Файбисовича. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2009. 392 с.
2. **Духанин С. А., Нестерова Н. В., Прасол Д. А.** Сравнительный анализ энергосберегающих источников света акцентного освещения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 4. С. 198–201.
3. **Стоцкий В.В., Нестеров А.М.** Тестирование объектов наружного освещения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 1. С. 204–208.
4. Марки кабелей [Электронный ресурс]. URL: <https://cable.ru/cable/group> (дата обращения: 1.11.2017).
5. LED-60-ШБ1/К50 GALAD [Электронный ресурс] URL: <http://galad.ru/catalog/328/10213/> (дата обращения: 1.11.2017).
6. ДНаТ ЖКУ 16-70-001 Лидер GALAD. [Электронный ресурс]. URL: <http://galad.ru/catalog/53/00116/> (дата обращения: 1.11.2017).
7. ДРИ ГКУ 16-70-001 Лидер GALAD. [Электронный ресурс]. URL: <http://galad.ru/catalog/53/00870/> (дата обращения: 1.11.2017).

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ЛАБОРАТОРНОГО КОВШОВОГО ЭЛЕВАТОРА НА БАЗЕ ТРЁХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Аспирант **Прокопишин Д.И.**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

***Аннотация.** В статье рассматривается разработка системы управления производительности лабораторного наклонного ковшового элеватора по средством изменения частоты вращения вала приводного двигателя. В качестве приводного двигателя используется трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.*

Помол клинкера — важный технологический процесс, один из наиболее энергоёмких в цементном производстве [1]. Для изучения и исследования технологического цикла помола клинкера в БГТУ им. В.Г. Шухова была разработана экспериментальная линия, состоящая из наклонного ковшового элеватора, ленточного весового дозатора, шаровой мельницы и виброгрохота, системы аспирации.

Одной из целью создания экспериментальной линии является изучение влияния регулируемого электропривода наклонного ковшового элеватора на производительность и энергоэффективность процесса помола клинкера. Привод элеватора оснащён как трёхфазным асинхронным электродвигателем АОЛ21-4 так и двигателем постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ с НВ) марки СЛ-621.

Целью данной работы является обеспечение возможности регулирования частоты вращения вала трёхфазного асинхронного электродвигателя АОЛ21-4, паспортные данные которого приведены в табл. 1.

Регулируемый привод на базе асинхронных двигателей строится по системе полупроводниковый преобразователь частоты – двигатель (ППЧ-Д) [2]. Для частотного регулирования координат электропривода могут использоваться следующие способы частотного управления: а) скалярный; б) векторный; в) прямое управление моментом. Скалярный способ управления применяется для систем управления насосов, вентиляторов и других механизмов, где нет высоких требований к точности регулирования. Для механизмов, требующих высокую степень точности регулирования координат, используют системы векторного управления и прямого управления моментом [3].

Таблица 1

Параметры асинхронного двигателя АОЛ 21-4

Наименование параметра	Значение
Номинальная мощность, кВт	0,27
Номинальная частота вращения, об/мин	1400
Номинальное линейно напряжение треугольник/звезда, В	220/380
Номинальный ток треугольник/звезда, А	1,43/0,83
КПД, %	86
Cos φ	0,75
Кратность пускового тока	5
Кратность пускового момента	2,1
Кратность критического момента	2,2

Так как привод экспериментального элеватора не предъявляет высоких требований к точности регулирования координат, то для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором будет использоваться система ППЧ-Д со скалярным законом управления.

Анализ процессов происходящих в регулируемом электроприводе будет производиться с помощью математического пакета Matlab Simulink.

На рис. 1 представлена имитационная модель пуска двигателя с задатчиком интенсивности. Напряжение подаваемое на двигатель определяется по скалярному закону $U/f = \text{const}$.

На рис. 2 представлена структура блока VectorPWM, в котором на основании заданных величин напряжения по оси Q [4] и частоты выходного напряжения инвертора f производится расчёт скважностей для трёхфазного инвертора Universal Bridge. В качестве задатчика интенсивности используется аperiodическое звено первого порядка Z .

На рисунках 3-5 представлены структуры блоков `invPark`, `angel_gen` и `3 PWM`. В блоке `invPark` перевод напряжений из подвижной DQ системы координат в не подвижную $\alpha\beta$, угол подвижной системы координат вычисляется в блоке `angel_gen` на основании заданной частоты выходного напряжение f . Полученные значения напряжений в системе $\alpha\beta$ передаются в блок `Vector`, где производится расчёт скважностей по алгоритму векторной ШИМ. Рассчитанные значения скважностей w_1 , w_2 , w_3 поступают в блок `3PWM`, где происходит формирование управляющих импульсов для транзисторов инвертора.

На рис. 6 представлены результаты моделирования работы АД. Как видно из рис. применение скалярного управления и задатчика интенсивности позволяет не только плавно регулировать частоту вращения ротора двигателя но уменьшить токи в переходном процессе.

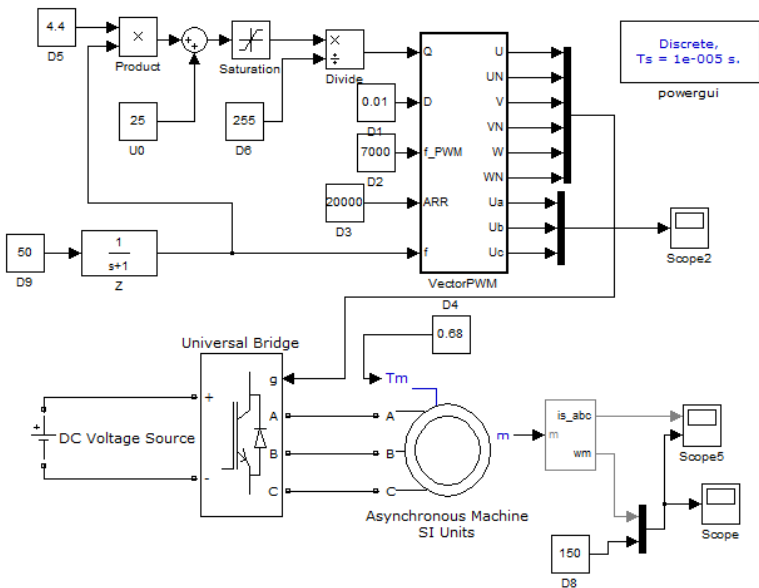


Рис. 1. Имитационная модель пуска асинхронного двигателя с датчиком интенсивности

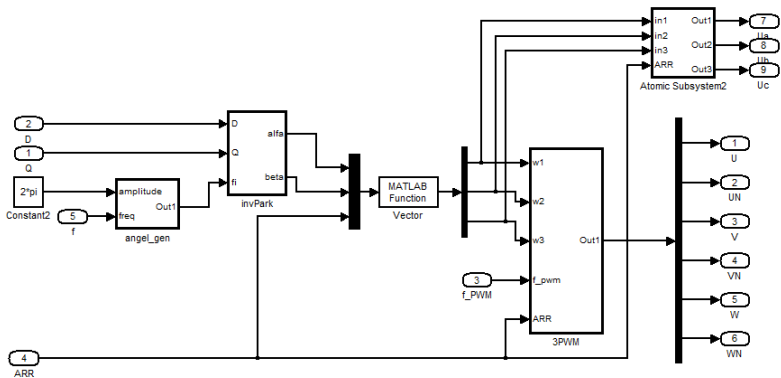


Рис. 2. Структура блока Vector PWM

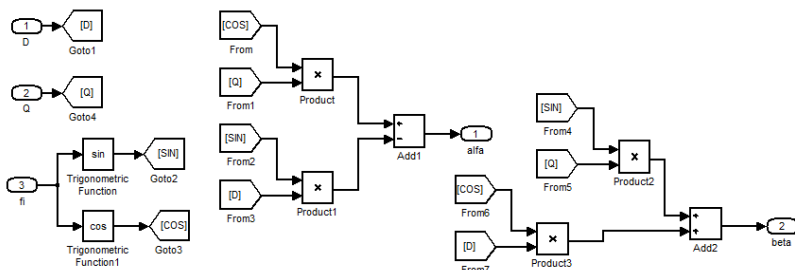


Рис.3. Структура блока `invPark`

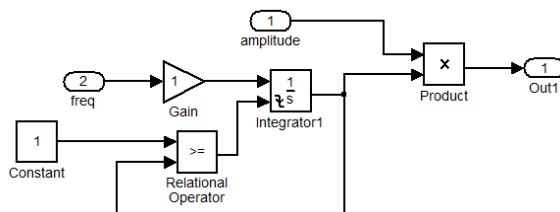


Рис. 4. Структура блока `angel_gen`

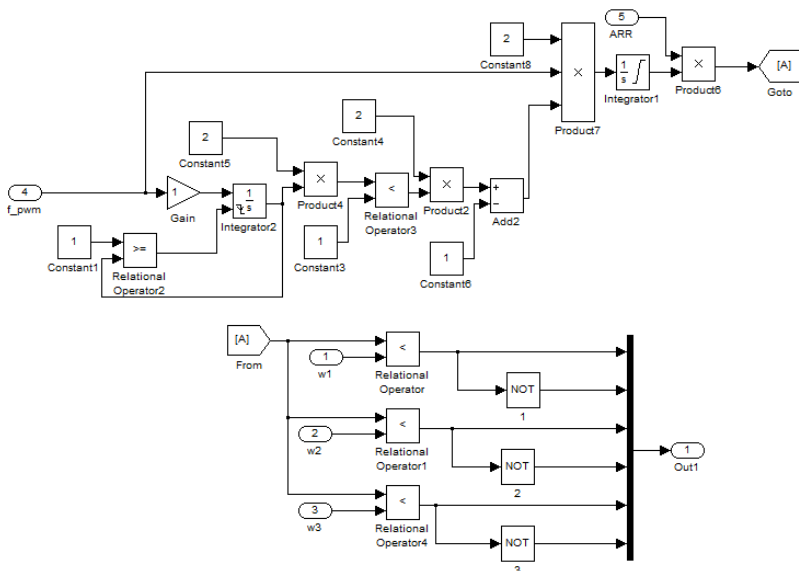


Рис. 5. Структура блока `3PWM`

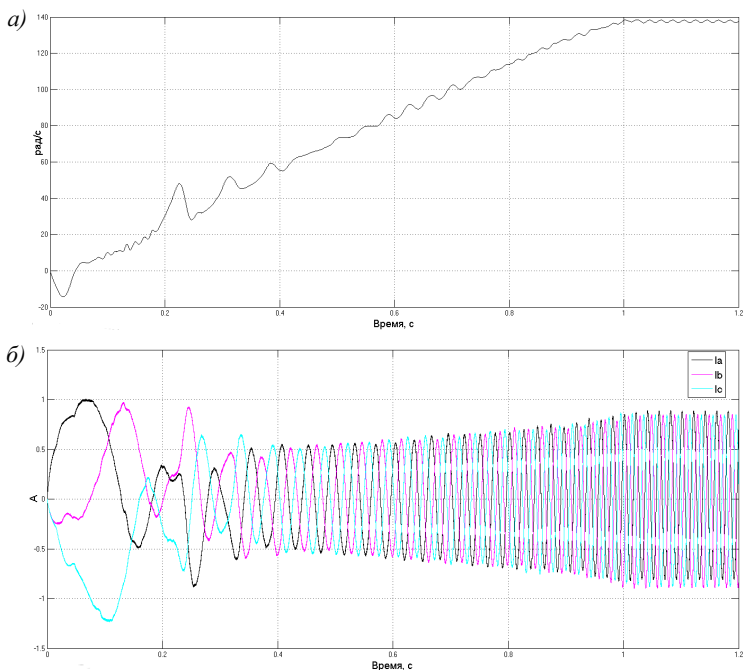


Рис. 6. Результаты моделирования пуска асинхронного двигателя с датчиком интенсивности: а) частота вращения вала двигателя, б) ток статора

В результате была разработана система управления электроприводом лабораторного ковшового элеватора. Разработанная система позволяет регулировать частоту вращения вала асинхронного двигателя, а также снижать ток в переходном режиме работы.

Библиографический список

1. Рядинская Л.В., Лозовая С.Ю. Экспериментальные исследования по управлению энергетическими характеристиками помольных устройств // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 177-180.
2. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. М: Academia, 2004. 202 с.
3. Усынин Ю.С. Системы управления электроприводов: учебное пособие. Челябинск: ЮУрГУ, 2001. 358с.
4. Sensored Field Oriented Control of 3-phase Induction Motors [Электронный ресурс] URL: <http://www.ti.com/lit/an/sprabp8/sprabp8.pdf> (дата обращения 1.10.17).

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭНЕРГОАУДИТА МАНОУ «ШУХОВСКИЙ ЛИЦЕЙ» Г. БЕЛГОРОДА

Магистрант **Свирин М.В.**

Магистрант **Гончаренко П.С.**

Научный руководитель д-р техн. наук, доц. **Трубаев П.А.**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Здание МАНОУ «Шуховский лицей» состоит из основного здания (1980 г.), пристройки (1997 г.) и перехода между ними. Наружные стены основного здания и перехода выполнены из керамзитобетонных стеновых панелей толщиной 400 мм, пристройки – кладкой из силикатного кирпича толщиной 510 мм.

Лицей является потребителем тепловой энергии на отопление, горячего водоснабжения, электроэнергии, холодного водоснабжения и услуг водоотведения. Затраты на энергоресурсы за год в среднем составляют 4 млн. руб. (табл. 1).

Таблица 1

Общее потребление энергоресурсов МАНОУ «Шуховский лицей»

Наименование		2014 г.	2015 г.	2016 г.
Тепло-снабжение	Потребление тепловой энергии, Гкал	1471,780	1378,372	1487,605
	Потребление горячей воды, тыс. м ³	2,015	2,560	2,767
	Стоимость, тыс. руб.	2731,925	2737,025	2522,252
Электро-энергия	Потребление, тыс. кВт·ч	220,376	206,060	217,700
	Стоимость, тыс. руб.	954,801	945,829	1181,971
Холодное водоснабжение	Потребление, тыс. м ³	4,612	4,831	3,333
	Стоимость, тыс. руб.	110,926	116,637	87,805
Водоотведение	Расход, тыс. м ³	6,260	6,771	5,752
	Стоимость, тыс. руб.	83,251	92,190	86,964
Общая стоимость, тыс. руб.		3880,903	3891,681	3878,992

Соотношение затрат следующее:

- теплоснабжение – 69%;
- электроэнергия – 26%;
- холодное водоснабжение – 3%;
- водоотведение – 2%.

Из структуры можно сделать вывод, что наиболее перспективным направлением энергосбережения является сокращение расходов на тепловую и электроэнергию.

Динамика потребления тепловой энергии имеет ярко выраженные максимумы в зимние периоды и минимумы – в летние. Потребление горячей воды равномерно в 2014-2015 годах с повышением в 2015-2016. Пики потребления электроэнергии приходятся на ноябрь и декабрь каждого года в связи с уменьшением светового дня. Динамика потребления холодной воды и объемы водоотведения имеют схожий между собой характер с минимумами в летние месяцы. Тенденций к изменению потребления энергоресурсов не наблюдается.

Для определения структуры затрат электроэнергии был составлен список оборудования с режимами его работы и произведен расчет годового потребления [1]. Определено, что наибольшие затраты приходятся на наружное и внутреннее освещение – 51%, для которого следует проводить мероприятия по экономии электроэнергии.

Удельный расход тепловой энергии на отопление примерно на 8% ниже среднего значения по образовательным учреждениям г. Белгорода [2] (38 кДж/м³·°С·сут.). Удельный расход электроэнергии (153 кВт·ч/чел.) ниже на 20% (184 кВт·ч/чел.), потребление холодной воды (3,03 м³/чел.) почти в 3 раза ниже среднего (8,19 м³/чел.). В ходе расчета был определен класс энергосбережения здания: «С – нормальный».

Для определения структуры тепловых потерь здания был выполнен тепловой расчет по СП 50.13330.2012 («Тепловая защита зданий»). Результаты приведены в табл. 2.

Наибольшие тепловые потери приходятся на:

- потери от инфильтрации и вентиляции - 32%;
- через наружные поверхности стен - 26%;
- через окна - 22%.

Именно в этих направлениях следует проводить энергосберегающие мероприятия по уменьшению потерь тепла.

В ходе выполнения работы было проведено наружная тепловизионная съемка здания при помощи тепловизора Testo-881 10 марта в 6 часов утра. Температура воздуха 3°C, осадки, сильный ветер и туман отсутствовали. Было выполнено 102 снимка. Обследование выявило следующие основные дефекты: повышенные температуры фрагментов цоколя и фрагментов стен перед отопительными приборами; повышенные температуры углов проемов, монтажных швов некоторых окон, а также в местах утоньшения ограждающих конструкций [3].

Таблица 2

Структура тепловых потерь здания

Статья потерь	Площадь, м ²	Сопротивление теплопередаче R, м ² ·°C/Вт	Теплопотери за отопительный сезон, МДж
Стена из керамзитобетонных стеновых панелей	2371,31	0,898	954340,2
Стена из силикатного кирпича	1381,92	0,849	588256,1
Окна пластиковые	1371,93	0,52	953498,1
Окна деревянные	474,08	0,44	389394,8
Стекланные блоки	10,21	0,4	9224,8
Двери металлические	42,75	0,47	32872,3
Двери деревянные утепленные	8,19	0,37	7999,7
Двери пластиковые	14,31	0,45	11492,6
Перекрытие подвала	1511,4	1,632	301226,4
Пол по грунту	2344,63	5,865	144476,6
Перекрытие проездов	428,43	1,603	96591,2
Перекрытие крыши	4284,46	2,445	633298,5
Потери от инфильтрации и вентиляции	14243,62	2,688	1914937,2

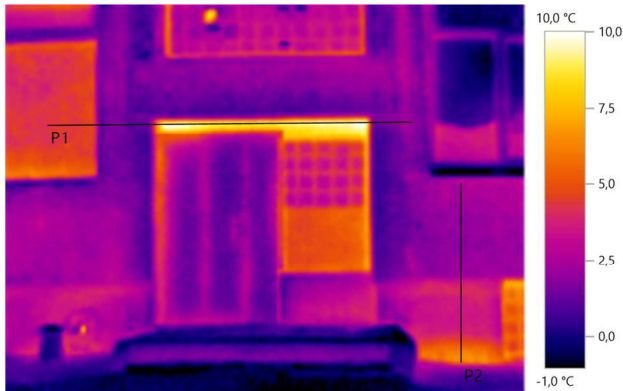


Рис.1. Пример снимка с выявленным дефектом ограждающей конструкции

По результатам теплового расчета и внешнего тепловизионного обследования были предложены энергосберегающие мероприятия, представленные в табл. 3 [4].

Таблица 3

Перечень энергосберегающих мероприятий

Наименование мероприятия	Затраты, тыс. руб.	Годовая экономия энергоресурсов		Средний срок окупаемости, лет
		В натуральном выражении	тыс. руб.	
1	2	3	4	5
Организационные и краткосрочные мероприятия				
Установка теплоизоляционных отражающих экранов	19,28	19,97 Гкал	29,31	0,66
Замена ламп накаливания на светодиодные	40,8	9945 кВт·ч	36,0	1,13
Среднесрочные мероприятия				
Замена ламп уличного освещения на светодиодные	292,5	15604 кВт·ч	56,49	3,98
Долгосрочные мероприятия				
Нанесение энергосберегающей пленки на окна	960,4	54,59 Гкал	80,12	11,99
Монтаж приточно-вытяжных установок с рекуператором	5916	322,71 Гкал	451,61	13,1
Замена люминесцентных ламп на светодиодные светильники:				
60 Вт, 20 шт.	54	1050 кВт·ч	3,8	12,31
40 Вт, 864 шт.	1814,4	25920 кВт·ч	93,83	16,39
18 Вт, 820 шт.	1640	13530 кВт·ч	48,98	24,11
Утепление наружных стен пристройки	2224,9	120,03 Гкал	176,16	12,63
Утепление наружных стен	3817,7	192,05 Гкал	281,85	13,55

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5
Утепление перекрытий над проездами	689,6	16,20 Гкал	23,78	29,00
Утепление над неотапливаемыми подвалами	2320,0	52,29 Гкал	76,74	30,23
Утепление покрытия крыши	5612,5	93,35 Гкал	137,00	40,97
Замена деревянных окон на пластиковые	2370,4	37,09 Гкал	54,43	43,55

В предложенный список не вошли организационные мероприятия [5]: предлагается проведение агитационной работы с учениками по вопросам энергосбережения и доработка монтажных швов окон в соответствии с ГОСТ 52749-2007.

Библиографический список

1. **Апсаямова Я.И., Тарасюк П.Н., Трубаев П.А.** Определение расхода энергетических ресурсов в зданиях // Образование, наука, производство. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 1183-1187.

2. **Трубаев П.А., Ширрине К.Ж.** Анализ показателей энергоэффективности образовательных учреждений // Промышленная энергетика. 2015. № 3. С. 6-11.

2. Анализ термического сопротивления ограждающих конструкций различного типа по результатам инструментальных измерений / П.Н. Тарасюк, Д.А. Ващенко, П.А. Трубаев, В.В. Радченко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 142-147.

4. **Шарапов О.Н., Шугаева М.А., Долженков Д.Ю.** Энергосбережение и повышение энергоэффективности в образовательных учреждениях // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 5. – С. 43-45.

5. **Ширрине К.Ж., Трубаев П.А.** Ключевые аспекты функционирования системы энергетического менеджмента в бюджетных учреждениях // Научные технологии и инновации. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. С. 224-232.

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ ФЗ-261

Магистрант **Симатов И.Д.**

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. **Коваленко В.В.**

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

***Аннотация.** В данной статье рассмотрены проблемы реализации Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Проанализированы особенности реализации данного закона в Саратовской области в сравнении с другими субъектами Российской Федерации.*

Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» пришел на смену Федеральному закону от 3 апреля 1996 г. № 28-ФЗ «Об энергосбережении». Целью нового закона является создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергоэффективности. Предполагается, что меры по повышению энергоэффективности должны приниматься в промышленности, жилищном фонде, государственных и муниципальных учреждениях, органах государственной власти и местного самоуправления, а также на транспорте. Особый акцент, сделанный на государственный и муниципальный секторы, а также на жилищный фонд, отличает Федеральный закон № 261-ФЗ от ранее действовавших правовых актов, где основной упор приходился на промышленных потребителей энергетических ресурсов. На сегодняшний день расширение состава участников работ по энергосбережению оправданно: органы государственной власти и местного самоуправления, действующие на определенной территории, имеют возможность скоординировать работу учреждений и организаций, а также эффективно взаимодействовать с населением, субъектами малого и среднего предпринимательства [1]. Из-за расширения полномочий региональных властей и местного самоуправления вся реализация данного закона перешла в их руки.

Целью данного исследования является выявление качества реализации Федерального закона № 261-ФЗ на примере Саратовской области.

Как правило, реализация № 261-ФЗ наиболее активно производится в тех регионах страны, где это более всего необходимо. К таким регионам относятся Дальний Восток и Западная Сибирь. Но и в Европейской части России также реализуется данный закон. Саратовская область тоже проводит необходимые мероприятия по повышению энергоэффективности. За 2017 год Некоммерческим партнерством объединения энергетиков «Энергоэффект» был проведен 21 энергоаудит, в том числе и в Саратовском Государственном Техническом Университете имени Гагарина Ю.А. Кроме того, «СГТУ имени Гагарина Ю.А.» имеет свой центр подготовки энергоаудиторов для повышения квалификации специалистов. Энергоаудиты также были проведены организациями из других регионов страны (НП «Союз организаций в области энергетических обследований» г. Курск; НП «Профессиональное объединение энергоаудиторов» г. Москва).

В Саратовской области реализуются целый перечень инновационных энергоэффективных технологий и мероприятий, целесообразных к реализации в рамках ФЗ-261 (газовые инфракрасные излучатели, система рекуперативной вентиляции воздуха, газовые теплогенераторы, применение солнечных коллекторов в системах ГВС (гелиоустановки), пенополиуретановые скорлупы для изоляции трубопроводов, каталитический котел (теплогенератор), водовитализатор (система водоподготовки на основе информационного воздействие на воду), Топливные гранулы (пеллет), уличные светильники на базе натриевых ламп высокого давления, тепловая композиция «АКАТЕРМ»(термокраска) и т.д.) [2].

В табл. 1 приведено сравнение выделенных средств на реализацию программы по повышению энергоэффективности. В Саратовской и Ростовской областях выделенные средства с каждым годом уменьшаются, а в Приморском крае выделяется стабильное количество денежных средств. В Ростовской области выделяемых средств меньше, чем в Саратовской области, а в Приморском крае выделено практически в 3 раза больше денежных средств, чем в Ростовской области. Причинами этому могут быть перспективы развития региона, уменьшение регионального бюджета и увеличение его дефицита. Из-за долгов перед государством Саратовская и Ростовская области не могут выделять большие суммы денег на реализацию Федерального закона № 261-ФЗ. Сейчас идет активное развитие Дальневосточных регионов, а, следовательно, вложения в программу по реализации Федерального закона № 261-ФЗ в Приморском крае больше. В итоге, мы подходим к главной проблеме, из-за которой реализация №261-ФЗ затрудняется

практически во всех регионах страны: нехватка бюджетных средств региона для финансирования государственной программы по повышению энергоэффективности и энергосбережения.

Таблица 1

Средства, выделенные на реализацию программы
по реализации ФЗ-261, тыс. руб.

Наименование	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Средства, выделенные на реализацию государственной подпрограммы «Повышение энергоэффективности и энергосбережения в Саратовской области до 2020 года»	4878,8	4804,7	4731,6
Расходы на обеспечение деятельности государственных учреждений Ростовской области в рамках подпрограммы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности Ростовской области» государственной программы Ростовской области «Энергоэффективность и развитие энергетики»	4287,8	3950,3	3950,3
Подпрограмма «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Приморском крае» на 2013-2020 годы	11222,34	11222,34	11222,34

Стоит добавить, что на данный момент в Госдуму внесен законопроект о требованиях к содержанию программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций. Это означает, что, скорее всего, будут внесены поправки в отдельные законодательные акты Российской Федерации, в части требований к программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций с участием государства или муниципального образования. Данный законопроект внесен Минэнерго России.

Законопроектом предлагается установить порядок утверждения единых требований к содержанию программ энергоэффективности организаций с учётом отраслевой специфики. Полномочия по утверждению таких требований закрепляются за Правительством России [3].

В итоге мы имеем ряд проблем, с которыми встречаются регионы при выполнении программы по реализации Федерального закона № 261-ФЗ. Главной проблемой можно назвать необходимость выделения денежных средств из бюджета субъектов РФ, либо поиск выгодных

энергосервисных договоров и контрактов, так как прямых государственных средств на реализацию мероприятий по энергосбережению не предусмотрено. Таким образом, признано целесообразным их реализация только через инвестиционные проекты. Проблема перспективности является главной проблемой при поиске инвесторов, готовых вложить свои деньги в проект или программу по реализации Федерального закона № 261-ФЗ.

Ещё одной немаловажной проблемой является несовершенство законодательной базы, так как практика реализации программы выявила отсутствие единого подхода к её формированию, в том числе к определению целевых показателей и их целевых уровней. Это препятствует проведению анализа реализации программы и делает практически невозможной оценку показателей в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности отраслей экономики.

Проведенный анализ реализации ФЗ-261 показал недостаток выделяемых денежных средств на реализацию данного закона и необходимость введения поправок в законодательные акты Российской Федерации, неготовность инвесторов вкладывать денежные средства в инновационные технологии и объекты.

Библиографический список

1. **Тарасюк В.М.** Проблемы реализации Федерального закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [Электронный ресурс] / ЖКХ: журнал руководителя и главного бухгалтера. 2011. № 9. С. 26–33. URL: <https://www.gkh.ru/article/58566>.
2. Правительство Саратовской области. Раздел «Энергетика. Энергоэффективность. Энергосбережение» [Сайт]. URL: <http://saratov.gov.ru/gov/auth/minprom/energetika/energetika.php> (дата обращения 31.10.2017 г.).
3. В Госдуму внесен законопроект о требованиях к содержанию программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций [Электронный ресурс] // Интернет-газета «Глас Народа» [14.10.2017]. URL: <https://glasnarod.ru/rossiya/129617>.
4. Закон Ростовской области от 26 декабря 2016 года № 836-ЗС «Об областном бюджете на 2017 год и плановый период 2018 и 2019 годов» [Электронный ресурс]: Профессиональная справочная система «Техэксперт». URL: <http://docs.cntd.ru/document/444971675>.
5. Закон Приморского Края от 03 июля 2017 года № 137-КЗ «О внесении изменений в закон Приморского Края «О краевом бюджете на 2017 год и плановый период 2018 и 2019 годов» [Электронный ресурс]: Профессиональная справочная система «Техэксперт». URL: <http://docs.cntd.ru/document/450253845>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМАХ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ СЕПАРАЦИИ И ПЕРЕГРЕВА ВЛАЖНОПАРОВЫХ ТУРБИН АЭС

студент **Скворцов С.Д.**

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. **Егоров М.Ю.**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург.*

***Аннотация.** В статье представлены результаты теплового расчета перегревательной части промежуточных сепараторов-пароперегревателей АЭС. В качестве исследуемой модели первоначально выбраны коридорный и шахматный пучки труб пароперегревателя, поперечно обтекаемые перегреваемым паром низкого давления, внутри которых конденсируется греющий пар высокого давления. Получены значения коэффициента теплоотдачи по нагреваемой стороне в первой и второй ступени перегревателя и величины коэффициента теплопередачи. Дальнейший уточнённый анализ теплообмена проведён в приближении пучка, состоящего из змеевиковых спиральных труб. Для такого приближения определен коэффициент запаса поверхности. Анализ полученных результатов показал, что при номинальном режиме работы и при расчётных параметрах нагреваемого и греющего пара обеспечивается надёжность конструкции СПП.*

В турбинах насыщенного пара АЭС на выходе из цилиндра высокого давления (ЦВД) пар имеет влажность 10–15%. Влажность пара отрицательно сказывается на эффективности установки в целом. В цилиндре низкого давления (ЦНД) лопатки подвергаются эрозии под воздействием влаги, содержащейся в пароводяной смеси. Одним из способов снизить влагосодержание пара является промежуточная сепарация пара с последующим перегревом отсепарированного пара в комбинированных аппаратах — сепараторах–пароперегревателях (СПП). Высококачественная сепарация и высокоэффективный перегрев пара позволяет продлить срок службы турбины и сократить продолжительность ее межремонтного периода [1].

Приведем краткое описание принципа работы СПП. Схема включения СПП в состав турбоустановки представлена на рисунке (рис.1). Острый пар поступает в ЦВД (поз. 5 на рис.1) и, после расширения в нем, через раздающую камеру попадает в сепарационное устройство СПП (поз. 1 на рис.1). В нем влага отделяется от пара, влага (сепарат) направляется в сепаратосборник (поз. 7 на рис.1). Осушенный пар поступает в пароперегреватель, где проходит первую и вторую ступень

перегрева. Греющий пар (первый отбор турбины) первой ступени и острый пар отдаёт теплоту перегреваемому пару и конденсируется. Конденсат отводится в конденсатосборники (поз. 8 на рис.1). Перегретый пар после прохождения первой и второй ступени через центральную трубу поступает в ЦНД турбины (поз. 6 на рис.1).

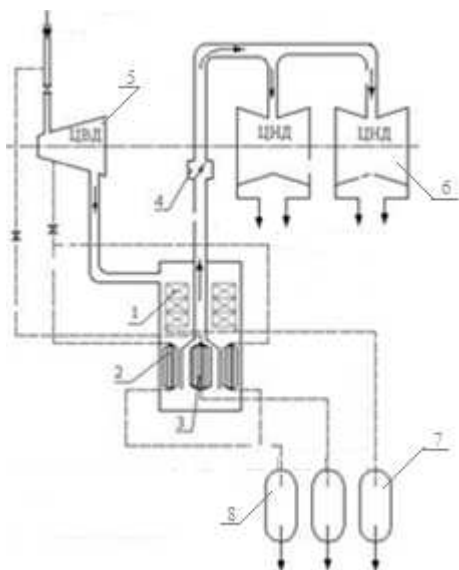


Рис. 1. Схема включения СПП в турбоустановку: 1 – сепарационное устройство, 2 – перегреватель первой ступени, 3 – перегреватель второй ступени; 5 – Цилиндр высокого давления, 6 – Цилиндр низкого давления, 7 – сепараторосборник, 8 – конденсатосборник.

Цель работы – анализ процесса теплопередачи в перегревательной части СПП. В работе исследован теплообмен в конструкции перегревателя змеевикового типа, перспективного для модернизации существующих и для создания новых СПП.

Предложена расчетная модель, которая описывает процесс передачи теплоты в приближении поперечного обтекания перегреваемым паром коридорного и шахматного типов пучков труб, внутри которых конденсируется греющий пар. Во втором, более точном приближении,

рассматривается пучок змеевиковых спиральных труб, для которого условия обтекания и параметры нагреваемого и греющего пара принимаются аналогичными первому приближению.

Методика исследования основана на решении системы уравнений:
– уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{гп}} = Q_{\text{нп}}$$

где $Q_{\text{гп}}$ — тепловой поток, подведенный греющей средой, Вт; $Q_{\text{нп}}$ — тепловой поток, отведенный нагреваемой средой, Вт.

– уравнение теплопередачи:

$$Q = H_{\text{расч}} \cdot k \cdot \Delta t$$

где Q — тепловой поток через поверхность теплообмена, Вт; $H_{\text{расч}}$ — расчетная поверхность теплообмена, м²; k — средний коэффициент теплопередачи, Вт/(м·К); Δt — температурный напор, К.

Исходные данные соответствуют номинальному режиму работы аппаратов СПП на АЭС [2].

Для анализа теплоотдачи нагреваемого пара определен режим течения нагреваемой среды по критерию Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega_{\text{нпрасч}} \cdot d}{\nu_{\text{нпср}}}$$

где $\nu_{\text{нпср}}$ — коэффициент кинематической вязкости пара при средних температуре и давлении в ступени, м²/с; $\omega_{\text{нпрасч}}$ — расчетная скорость нагреваемого пара, м/с; d — наружный диаметр трубки, м. Далее индексами 1 и 2 обозначены параметры для первой и второй ступени.

Средняя по ступени температура нагреваемого пара:

$$t_{\text{нпср}} = 0,5 \cdot (t_{\text{нпвх}} + t_{\text{нпвых}})$$

$$t_{\text{нпср1}} = 167^{\circ}\text{C}, t_{\text{нпср2}} = 231^{\circ}\text{C}.$$

Среднее по ступени давление нагреваемого пара:

$$p_{\text{нпср}} = 0,5 \cdot (p_{\text{нпвх}} + p_{\text{нпвых}})$$

$$p_{\text{нпср1}} = 0,331 \text{ МПа}, p_{\text{нпср2}} = 0,322 \text{ МПа}$$

Расчетные скорости нагреваемого пара $\omega_{\text{нпрасч1}} = 24 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и $\omega_{\text{нпрасч2}} = 40 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ соответствуют турбулентному режиму течения с критериями Рейнольдса $Re_1 = 4,9 \cdot 10^4$ и $Re_2 = 5,7 \cdot 10^4$ [3].

При $Re > 10^3$ для расчета безразмерного коэффициента теплоотдачи использованы следующие соотношения [4]:

для коридорного типа пучка:

$$Nu_1 = 0,22 \cdot Re^{0,65} \cdot Pr^{0,36}$$

для шахматного типа пучка:

$$Nu_1 = 0,40 \cdot Re^{0,60} \cdot Pr^{0,36}$$

Эти соотношения позволяют определить средний коэффициент теплоотдачи для трубок третьего и последующих рядов. Значения среднего коэффициента теплоотдачи для трубок первого и второго рядов определяются путем умножения найденного среднего значения коэффициента теплоотдачи для трубок третьего ряда на поправочный коэффициент. Для трубок первого ряда $\varepsilon_a = 0,60$, а для трубок второго ряда в коридорных пучках $\varepsilon_a = 0,90$, в шахматных — $\varepsilon_a = 0,70$.

В результате расчетов значения средних коэффициентов теплоотдачи для труб третьего и последующих рядов составили:

– для коридорного типа пучка

$$\alpha_{нп1} = 423 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}, \alpha_{нп2} = 450 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})};$$

– для шахматного типа пучка

$$\alpha_{нп1} = 536 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}, \alpha_{нп2} = 580 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})} \text{ —.}$$

Для определения среднего коэффициента теплоотдачи всего пучка в целом необходимо осреднение найденных значений, которое производится следующим образом:

$$\alpha_{\text{сред}} = \frac{\alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \alpha_3 F_3 + \dots + \alpha_m F_m}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_m},$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_m$ — средние значения коэффициента теплоотдачи по рядам, F_1, F_2, F_3, F_m — площади поверхности теплообмена всех трубок в ряду.

Значения среднего коэффициента теплоотдачи коридорного и шахматного пучка труб составили:

– для коридорного пучка

$$\alpha_{\text{сред_нп1}} = 412 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})} \text{ и } \alpha_{\text{сред_нп2}} = 434 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})};$$

– для шахматного пучка

$$\alpha_{\text{сред_нп1}} = 522 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})} \text{ и } \alpha_{\text{сред_нп2}} = 559 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})} \text{ —.}$$

Коэффициент теплопередачи k для шахматного и коридорного пучка труб определяется по формуле:

$$k = \left[\frac{1}{\alpha_{нп}} + \frac{\ln\left(\frac{d_1}{d_2}\right) \cdot d_1}{2\lambda_{ст}} + \frac{d_1}{\alpha_{гп} \cdot d_2} \right]^{-1}$$

где $\alpha_{\text{гп}}$ — коэффициент теплоотдачи при конденсации греющей среды, определенный по зависимости работы [5] для случая конденсации пара в стальных трубах с внутренним диаметром $d_2 = (10-35) \cdot 10^{-3}$ м: $\alpha_{\text{гп1}} = 10^4 \frac{Bm}{(m^2 \cdot K)}$, $\alpha_{\text{гп2}} = 1,5 \cdot 10^4 \frac{Bm}{(m^2 \cdot K)}$.

Анализ структуры коэффициента теплопередачи k показал, что на величину коэффициента теплопередачи определяющее влияние оказывает интенсивность теплоотдачи нагреваемого пара.

Расчетные значения коэффициента теплопередачи для первой и второй ступени перегрева составили:

– для коридорного пучка

$$k_1 = 380 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}; k_2 = 399 \text{ Вт/(м}^2\text{К)};$$

– для шахматного пучка

$$k_1 = 481 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}; k_2 = 512 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

Схема элемента пучка змеевиковых спиральных труб представлена на рис.2 [6].

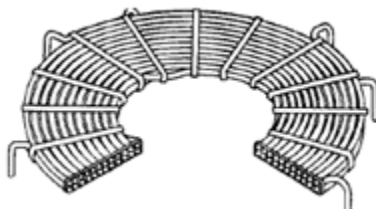


Рис. 2. Элемент теплообменного змеевикового спирального пучка.

Анализ теплопередачи подобных пучков сложен ввиду особенностей их конструкций. На интенсивность теплоотдачи в пучках змеевиковых труб влияет в большей степени относительный продольный шаг — расстояние между осями соседних двух рядов, расположенных один за другим в направлении течения среды (по глубине пучка) σ_2 . По рекомендациям [7] на данном этапе исследования относительный продольный шаг принят $\sigma_2 = 1,11$. В диапазоне $2 < \sigma_2 < 6$ можно оценить интенсивность теплоотдачи с инженерной точностью.

За основу анализа теплопередачи принята методика, которая была реализована в первом приближении для змеевиков с шагом $\sigma_2 = 1,1 \div 1,3$ и относительными шагами навивки $s/d_{\text{зм}} = 1,1 \div 1,6$.

В диапазоне чисел Рейнольдса $Re = (4 \div 20) \cdot 10^4$ и для шага навивки $s/d_{3M} = 1,1 \div 1,6$ рекомендованы соотношения для определения безразмерного коэффициента теплоотдачи [8]:

$$Nu = 0,028 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33}$$

Расчетные значения для первой и второй ступени составили:

$$Nu_1 = 176, Nu_2 = 204.$$

Расчетные значения коэффициента теплоотдачи и теплопередачи составили:

$$\alpha_{нп1} = 308 \frac{Bm}{(M^2 \cdot K)} \text{ и } \alpha_{нп2} = 422 \frac{Bm}{(M^2 \cdot K)}$$

$$k_1 = 259 \text{ Вт}/(M^2K) \text{ и } k_2 = 396 \text{ Вт}/(M^2K).$$

Площадь теплопередающей поверхности определяется по формуле:

$$H = \frac{Q}{k \cdot \Delta t}$$

где Δt - среднелогарифмический температурный напор, определяемый по формуле:

$$\Delta t = \frac{t_{нп}^{ВЫХ} - t_{нп}^{ВХ}}{2,31g \frac{t_{гп}^{ВХ} - t_{нп}^{ВХ}}{t_{гп}^{ВЫХ} - t_{нп}^{ВЫХ}}}$$

Расчетные значения среднелогарифмического температурного напора для первой и второй ступени составили: $\Delta t_1 = 34,6^\circ\text{C}$, $\Delta t_2 = 37,3^\circ\text{C}$. Тепловая мощность первой и второй ступени составляет: $Q_1 = 19,1 \text{ MBm}$, $Q_2 = 18,1 \text{ MBm}$ [6], фактическая площадь поверхности теплообмена составляет: $H_{\phi1} = 2135 \text{ м}^2$, $H_{\phi2} = 1218 \text{ м}^2$.

В результате, расчетные значения площади теплопередающей поверхности составили: $H_{расч1} = 1820 \text{ м}^2$, $H_{расч2} = 1208 \text{ м}^2$;

Расчетные значения коэффициента запаса поверхности [9]

$$\eta = \frac{H_{\phi} - H_{расч}}{H_{расч}} \cdot 100\%$$

составили: $\eta_1 = 17\%$ и $\eta_2 = 1\%$.

Сравнивая полученные в ходе расчётов значения со значениями площади в реальных аппаратах (фактической площадью теплопередающей поверхности) видно, что имеется запас поверхности. Это говорит о том, что при заданном режиме работы и при рабочих параметрах нагреваемого и греющего пара обеспечивается надежность конструкции СПП.

Меньшая площадь теплопередающей поверхности обуславливает меньшую металлоемкость и количество труб при данных значениях

длин и диаметров труб по техническому заданию. Фактическое значение количества труб $n_{тр}^{факт}$ для первой ступени составляет 432 шт., для второй – 216 шт. Расчетные значения $n_{тр}^{расч}$: для первой ступени – 357 шт., для второй ступени – 210 шт.

Библиографический список

1. Совершенствование конструкций СПП АЭС на основе результатов теоретических и стендовых исследований и опыта эксплуатации./ Денисов К.Н., Егоров М.Ю., Федорович Е.Д., Готовский М.А. Труды Шестой Российской национальной конференции по теплообмену. 2014. С. 152–155.

2. **Егоров М.Ю.** Разработка рекомендаций по повышению эффективности теплогидравлических процессов в сепараторах-пароперегревателях турбин АЭС на основе изучения опыта эксплуатации: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. 2015. 18 с.

3. **Скворцов С.Д., Егоров М.Ю.** Анализ теплопередачи в промежуточных сепараторах-пароперегревателях АЭС // Материалы научной конференции с международным участием «Неделя науки СПбПУ». Институт энергетики и транспортных систем. Изд-во Политехн. ун-та, Санкт-Петербург. 2016. Ч. 1. С. 84–87.

4. **Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А.** Тепломассообмен: Учебное пособие для вузов; 2-е изд., испр. и доп. М: Издательство МЭИ, 2005. 550 с.

5. **Волков Д.И.** Теплоотдача при конденсации пара внутри горизонтальной трубы // Энергомашиностроение. 1969. № 6. С. 22–24

6. **Егоров М.Ю. Федорович Е.Д.** Совершенствование системы промежуточной сепарации и перегрева влажнопаровых турбин АЭС: анализ теплогидравлических процессов в конструкциях сепараторов-пароперегревателей на основе опыта эксплуатации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2007. № 37. С. 339-350.

7. Сепараторы-пароперегреватели турбин АЭС. Расчет и проектирование. Руководящий технический материал 108.020.107-84. Л.: НПО ЦКТИ, 1986.

8.Руководящий документ по стандартизации. Тепловой и гидравлический расчет теплообменного оборудования АЭС. РД 24.035.05-89. НПО ЦКТИ им. И.И.Ползунова. Л., 1991. 362 с.

9.Руководящий технический материал. Тепловой и гидравлический расчет промежуточных сепараторов – пароперегревателей турбин насыщенного пара АЭС. РТМ 108.020.107-76. 1978. 134 с.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА РАСТВОРИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ТОНКОСЛОЙНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Магистр Снигирева Ю.В.

Студент Нигматуллин Р.Р.

Научный руководитель д-р хим. наук, проф. Новиков В.Ф.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

Аннотация. В работе проведено экспериментальное исследование влияния магнитных полей на сорбционные свойства Н-гексана в условиях тонкослойной хроматографии на пластинках с силикагелем

Цель работы: изучение влияния магнитных полей на сорбционные свойства силикагеля по отношению к неполярному Н-гексану в условиях восходящей тонкослойной хроматографии.

Введение

Проблема действия постоянного магнитного поля на различные вещества являются интересной как с теоретической, так с практической точки зрения. При этом исследование в этой области можно разделить на две составляющие. Первая заключается в изучении кинетических эффектов, в которых основная роль отводится магнитному взаимодействию при рекомбинации радикалов. Ко второй относится оценка влияния магнитного поля на структуру органической и неорганической жидкости, процессы адсорбции и физико – химических свойств полимерных материалов. Механизм влияния магнитных полей на физико-химических свойств жидкостей недостаточно ясен [1-3]. Магнитное поле при взаимодействии с веществом изменяет свою величину по сравнению с вакуумом. При этом, как правило, вещества подразделяются на две категории: диамагнетики – ослабляют магнитное поле и парамагнетики – усиливают магнитное поле. В этом случае в неоднородном магнитном поле на диамагнетик действует выталкивающая из магнитного поля сила, а на парамагнетик – втягивающая. Подавляющее большинство органических и высокомолекулярных соединений относится к диамагнетикам, так как у них имеются спаренные электроны и заполненные электронные оболочки. Парамагнетик обусловлен неспаренными электронами, так как их собственный маг-

нитный момент ничем не уравновешен и потому парамагнитная восприимчивость зависит от температуры [4-5].

Особенно сильно магнитные поля оказывают влияние на органические и неорганические растворители, а также на растворенные вещества. Учет такого влияния возможен на принципах аддитивности, то есть суммирования всех вкладов. В этом случае магнитная восприимчивость раствора приравняется к сумме магнитных восприимчивостей, отделенных компонентов с учетом их концентрации. При этом вклады парамагнитных и диамагнитных веществ в магнитную восприимчивость противоположны по знаку и их можно разделить [6].

Обычно магнитная восприимчивость рассматривается как количественная мера отклика вещества на приложенное внешнее магнитное поле, которое в вакууме характеризуется напряженностью. В образцах, помещенном в магнитное поле, индуцируется собственное магнитное поле, которое совпадает или не совпадает по направлению с внешним полем. Поэтому эффективное магнитное поле внутри образца связано с магнитной индукцией:

$$B = H + 4\pi Y, \quad (1)$$

где B – магнитная индукция; Y – интенсивность намагничивания или магнитный момент единицы объема.

Отношение магнитной индукции к напряженности магнитного поля есть относительная магнитная проницаемость, а отношение величин интенсивности намагниченности и напряженности магнитного поля называется магнитной восприимчивостью [7].

$$\epsilon' = \frac{B}{H}; X_V = \frac{J}{H}, \quad (2)$$

где: ϵ' – магнитная проницаемость; X_V – объемная магнитная восприимчивость.

Объемная магнитная восприимчивость является величиной безразмерной. Как правило, вместо неё используется удельная магнитная восприимчивость X_g – размерность которой обратно пропорциональна размерности плотности ($\text{см}^3/\text{г}$). Объемная и удельная магнитная восприимчивость связаны между собой:

$$X_g = \frac{X_v}{\rho} \quad (3)$$

где ρ – плотность вещества.

Молярную магнитную восприимчивость X_m , которая имеет размерность $\text{см}^3/\text{моль}$, находят по формуле:

$$X_m = \frac{X_v \cdot M}{\rho} = X_g \cdot M \quad (4)$$

где M – молярная масса вещества.

Магнитная восприимчивость является аналогом метода дипольных моментов и включает две составляющие:

$$X_m = X_d + X_p \quad (5)$$

где X_d – молярная динамическая восприимчивость; X_p – молярная парамагнитная восприимчивость.

Обе эти составляющие взаимосвязаны:

$$X_d = N_A \cdot a; \quad X_p = \frac{N_g \cdot M_o^2}{3KT} \quad (6)$$

где X_d – наведенная магнитная восприимчивость; N_A – число Авогадро; K – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура.

Молярная магнитная восприимчивость связана с молекулярными параметрами (a_d) и (μ_o):

$$X_m = N_A \left(a_o + \frac{\mu^2}{3KT} \right) \quad (7)$$

В том случае когда в магнитном поле находятся вещества, молекулы которых не имеют неспаренных электронов ($\mu_o=0$), то в соответствии с уравнением (7) единственным членом, который дает вклад в магнитную восприимчивость является X_d . В этом случае вещество диамагнитно, то есть менее проницаемо для магнитных силовых линий, чем вакуум. В неоднородном магнитном поле на него оказыва-

ет влияние сила, которая по направлению противоположна градиенту напряженности магнитного поля, то есть образец выталкивается из него.

Если молекулы, помещенные в магнитном поле вещества содержат неспаренные электроны, то есть обладают отличным от нуля магнитным моментом, то магнитная восприимчивость становится положительной, и вещество становится парамагнитным. Оно более проницаемо для магнитных силовых линий, в нем индуцированное магнитное поле и внешнее поле совпадает по направлению, а вещество втягивается в магнитное поле [8].

Экспериментальная часть

Экспериментальная часть работы проводилась с использованием тонкослойных пластин с силикагелем. Силикагель представляет собой высушенный гель, образующийся из перенасыщенных растворов кремниевых кислот при $\text{pH} > 5-6$. Это твердый гидрофильный сорбент. Тонкослойную пластину разрезали на полоски шириной от 7 до 8 мм. В цилиндрическую пробирку с помощью шприца для дозирования наливали 1 мл растворителя, в качестве которого использовали Н-гексан (C_6H_{14}). Пинцетом зажимали пластину и отпускали в виалу с растворителем. Пробирку закрывали пробкой во избежание улетучивания растворителя. В момент прохождения фронта подвижной фазы через линию старта начинали отсчет времени и измеряли время движения фронта подвижной фазы при прохождении каждой сантиметровой отметки. По достижении фронтом подвижной фазы 10 см отсчет времени прекращали, пластинку вынимали из пробирки и высушивали. Опыт повторяли несколько раз. Обработку результатов измерений проводили в программе «Microsoft Excel». Полюса постоянного магнита определяли с помощью компаса.

На рис.1 приведена зависимость времени удерживания Н-гексана от длины сорбционного слоя силикагеля.

Из рис. видно, что магнитные поля не оказывают существенного влияния на сорбент Н-гексан силикагелем, что очевидно связано с его малой полярностью, так как дипольный момент близок к нулю. В этом случае сорбент Н-гексан очевидно протекает по дисперсионному механизму.

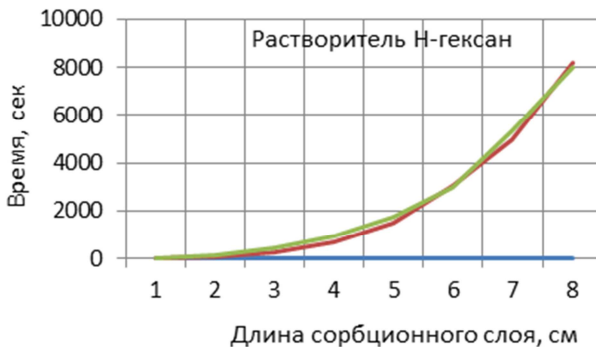


Рис.1. Зависимость времени удерживания Н-гексана от длины сорбционного слоя силикагеля без магнита и с магнитом

Вывод. При сорбенте Н-гексан тонкослойной пластиной с силикагелем магнитные поля не оказывают влияния на время удерживания растворителя, что определяется его неполярными свойствами, так как дипольный момент близок к нулю.

Библиографический список

1. **Дорфмин Я.Г.** Магнитные свойства и строение вещества. М.: Гостехиздат, 1955. 376 с.
2. **Вульфсон С.Г.** Молекулярная магнетохимия. М.: Наука, 1991. 260 с.
3. Correlation between magnetic properties and molecular structures of some metallo-mesogens / J. Bikchantaev, Yu. Jalyametolinov, A. Prosvirina and other // *Liquid Crystals*. 1995. V.18. No 2. P.231–237.
4. **Каганов М.И., Цукерних В.М.** Природа магнетизма. М.: Наука, 1982. 192 с.
5. **Ракитин Ю.В., Калинин В.Т.** Современная магнетохимия. СПб.: Наука, 1994. С.18-30.
6. **Сальников Ю.И., Глебов А.Н., Девятов В.Ф.** Магнетохимия и радиоспектроскопия координационных соединений. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1989. С. 4-33.
7. **Селвуд П.** Магнетохимия. М.: ИЛ, 1958. 458 с.
8. Thermodynamic properties of bulkknitted structures: band-solitons models / I.P. Susak, O.A.Ponomarev, A.S.Shigaev, E.E.Fesenko // *Journal of Molecular Liquids*. 2003. Vol 105, Issues 2-3. P.181-186.

ФОРМИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ВОЛЬТОДОБАВКИ ТРАНСФОРМАТОРОМ ПРОДОЛЬНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ В СХЕМЕ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Магистрант **Соловьёва С.Г.**

Научные руководители

д-р техн. наук, проф. **Бадалян Н.П.**

канд. техн. наук, доц. **Колесник Г.П.**

*Владимирский государственный университет
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир*

***Аннотация.** Решаются вопросы оценки приращения напряжения вольтодобавки, формируемого трансформатором продольного включения с компенсирующим конденсатором в обмотке высшего напряжения, и влияние этого приращения на значение электрических параметров электродуговой печи при использовании установки продольной компенсации реактивной мощности короткой сети.*

Энергосбережение – одна из основных проблем стоящих перед современным человечеством. Это связано с дефицитом основных энергоресурсов, возрастающей стоимостью их добычи, а также с глобальными экологическими проблемами [1].

С помощью корректирования электрических параметров рабочего режима электродуговой печи можно увеличить электрический коэффициент полезного действия, что является важным моментом в успешном решении вопросов энергоэффективности и энергосбережения [2].

Цель работы: Определить влияние приращения напряжения вольтодобавки на значение электрических параметров электродуговой печи при использовании установки продольной компенсации реактивной мощности короткой сети.

Содержательная часть.

Особенность схем продольной компенсации реактивной мощности короткой сети электродуговой печи на стороне среднего напряжения трехобмоточного печного трансформатора заключается в том, что приведенные к обмотке низшего напряжения трансформатора продольного включения, компенсирующие электрические емкости оказываются включенными последовательно с нагрузкой в главном токовом контуре на стороне низшего напряжения. При этом реактивная мощность приведенного конденсатора обусловлена, как это будет показано

ниже, значением протекающего тока электрода и, следовательно, меняется с потреблением реактивной мощности в реальном времени под нагрузкой, поэтому может выполнять компенсацию реактивной мощности короткой сети без изменения напряжения на шинах печного трансформатора.

Для определения изменения напряжения на зажимах обмотки низшего напряжения (W2) трансформатора продольного включения (вольтодобавки) устройства продольной компенсации и его влияния на значение напряжения на электродах электродуговой печи в номинальном рабочем режиме рассмотрим схему замещения устройства продольной компенсации с трансформатором продольного включения, представленную на «рис. 1», элементы которой приведены к обмотке низшего напряжения трансформатора продольного включения.

Полное комплексное сопротивление нагрузки Z_H (рис. 1) включает в себя реактивные и активные сопротивления короткой сети (X_{kc} и R_{kc}) электродуговой печи и электрической дуги (X_d и R_d) соответственно:

$$\underline{Z}_H = R_{kc} + R_d + j(X_{kc} + X_d) \quad (1)$$

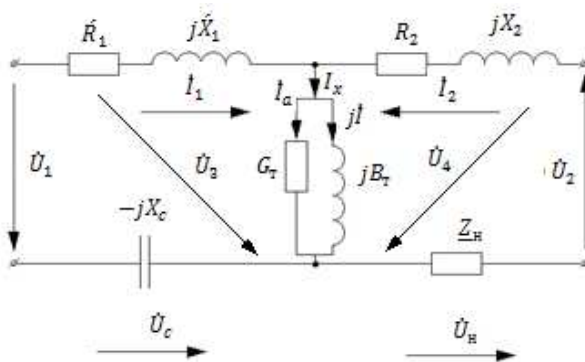


Рис. 1. Схема замещения устройства продольной компенсации с трансформатором продольного включения

Известно [3], что в полнофазном режиме двухобмоточного трансформатора потери мощности в трех фазах равны утроенному значению

фазных потерь. Тогда суммарное активное сопротивление $R_{\tau 2}$ обмоток двухобмоточного трансформатора продольного включения можно определить по паспортным данным. Индуктивное сопротивление трансформатора продольного включения $X_{\tau 2}$ определяется напряжением короткого замыкания u_k [4].

Напряжение на нагрузке \underline{Z}_H , согласно принятой положительной ориентации напряжений на «рис 1», равно алгебраической сумме комплексов действующих значений напряжений обмотки низшего напряжения печного трансформатора \dot{U}_2 и выходного напряжения трансформатора продольного включения \dot{U}_4 , которое в свою очередь зависит от тока нагрузки. Напряжение на обмотке высшего напряжения трансформатора продольного включения \dot{U}_4 формируется средним напряжением печного трансформатора \dot{U}_1 и напряжением на компенсационном конденсаторе \dot{U}_c .

$$-\dot{U}_H = \left[\frac{\dot{U}_1 + \dot{U}_c}{k_{\tau 2}} + \dot{U}_2 \right] = [\dot{U}'_1 + \dot{U}'_c + \dot{U}_2], \quad (2)$$

где $\frac{\dot{U}_1 + \dot{U}_c}{k_{\tau 2}} = \dot{U}_{вд}$ – напряжение вольтодобавки; $k_{\tau 2}$ – коэффициент трансформации идеального понижающего трансформатора продольного включения; \dot{U}'_1 и \dot{U}'_c – комплексы действующих значений напряжений \dot{U}_1 («среднего напряжения») и \dot{U}_c «рис. 1», приведенных к обмотке низшего напряжения трансформатора продольного включения.

Выражение для приведенного к обмотке низшего напряжения трансформатора продольного включения действующего значения напряжения на компенсирующем конденсаторе с учетом обозначений на схеме замещения «рис. 1», принимает вид:

$$U'_c = \frac{U_c}{k_{\tau 2}} = \frac{Q_k \cdot 10^3}{I_{2ном} \cdot k_{\tau 2}}. \quad (3)$$

Q_k – расчетное значение реактивной мощности конденсатора, кВАр.

Из рассмотрения выражения (3) для приведенного напряжения на компенсирующем конденсаторе можно сделать вывод о возможных перенапряжениях при резком уменьшении тока нагрузки (погасание электрической дуги), поэтому компенсирующий конденсатор в обязательном порядке необходимо шунтировать ограничителем перенапряжений.

Приращение значения реального коэффициента трансформации трансформатора продольного включения определяется приращением напряжения на компенсирующем конденсаторе по формуле:

$$\frac{\Delta k_{T2}}{k_{T2}} = \frac{\Delta U'_c}{U'_c} = \left(1 - \frac{\Delta I_{2\text{НОМ}}}{I_{2\text{НОМ}}}\right) = \frac{\Delta U_{\text{ВД}}}{U_{\text{ВД}}} \quad (4)$$

График относительного изменения напряжения на компенсирующем конденсаторе и напряжения вольтодобавки в функции относительного изменения рабочего тока показаны на рис. 2.

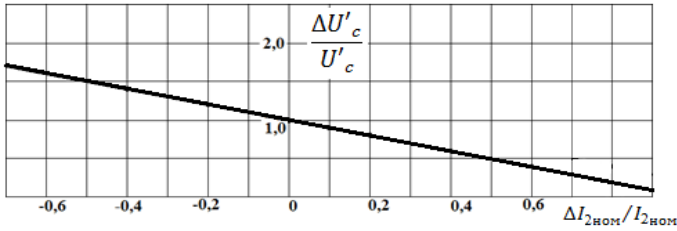


Рис. 2. График относительного изменения напряжения на компенсирующем конденсаторе и напряжения вольтодобавки.

Ток в цепи электрода (ток нагрузки) в первом приближении можно определить без учета напряжения вольтодобавки при исключении ветви намагничивания трансформатора продольного включения через сумму напряжений \dot{U}_1 и \dot{U}_2 и входное сопротивление схемы замещения относительно зажимов с напряжением \dot{U}_2 «рис. 1»:

$$\dot{I}_2 = \frac{(\dot{U}_1 + \dot{U}_2)}{Z_{\text{вх}}} \quad (5)$$

где с учетом соотношения (1)

$$Z_{\text{вх}} = Z_{T2} + Z_{\text{н}} + (-jX'_c) = Z_{T2} + R_{\text{кс}} + R_{\text{д}} + j(X_{\text{кс}} + X_{\text{д}}) - jX'_c \quad (6)$$

При полной компенсации реактивности короткой сети, электрической дуги и трансформатора продольного включения получим:

$$Z_{\text{вх}} = R_{T2} + R_{\text{д}} + R_{\text{кс}} = R_{T2} + R_{\Sigma} = R_{\text{вх}}, \quad (7)$$

тогда выражение для тока нагрузки (5) принимает вид:

$$\dot{I}_2 = \frac{(\dot{U}_1 + \dot{U}_2)}{R_{\text{вх}}} \quad (8)$$

С учетом напряжения вольтодобавки соотношение (8) принимает вид

$$i_2 = \frac{(\dot{U}_1 + \dot{U}_2 \mp \dot{U}_{вд})}{R_{вх}}. \quad (9)$$

Изменением напряжения вольтодобавки можно оптимизировать рабочие параметры ферросплавной печи на заданной ступени переключения.

Суммарное активное сопротивление короткой сети электродуговой печи и электрической дуги можно определить по номинальным значениям тока $I_{2ном}$, суммарного действующего значения напряжения U_{Σ} рабочего режима с учетом напряжения вольтодобавки и реализуемого коэффициента мощности ($\cos \varphi$).

Выводы по работе

В результате проведенных исследований убеждаемся, что относительное приращение значений параметров трансформатора продольного включения, напряжения на компенсирующем конденсаторе и напряжения вольтодобавки полностью определяется относительным изменением номинального тока рабочего режима электродуговой печи, что свидетельствует о компенсации реактивной мощности короткой сети электродуговой печи в реальном времени при изменении тока электрода (тока нагрузки).

Информация о соотношении активных сопротивлений короткой сети и электрической дуги позволит скорректировать параметры рабочего режима электродуговой печи с целью повышения электрического коэффициента полезного действия.

Библиографический список

1. **Петкевич А.П., Тихомирова Т.И.** О потенциале энергосбережения 2015-2020 г. // Энергетические, управляющие и информационные системы: Сб. докл. I межд. научно-техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. С. 128-132.
2. **Суворин А. В.** Электротехнологические установки: учеб. пособие. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. 376 с.
3. **Серебряков А.С.** Трансформаторы: учеб. пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2013. 360 с.
4. **Герасименко А.А.** Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие. М.: Изд-во Феникс, 2012. 648 с.

ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НИЗКООСНОВНОГО ЛЕГИРОВАННОГО КЛИНКЕРА

Магистрант Суслов Е.Ю.

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. Головизнина Т.Е.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

Аннотация. В работе произведен расчет теоретической теплоты клинкерообразования для клинкера с различным коэффициентом насыщения. Сделан вывод, что изменение коэффициента насыщения клинкера с 0,9 до 0,7 приведет к снижению теплоты клинкерообразования с 1750,89 кДж/кг до 1488,1 кДж/кг. Основными статьями снижения ТЭК являются теплота на диссоциацию карбонатного компонента за счет изменения фазового состава клинкера в сторону снижения основности и возврат теплоты от экзотермических реакций.

Увеличивающаяся стоимость энергоресурсов и растущие требования к охране окружающей среды требуют реализации потенциала энергосбережения в производстве цементного клинкера [1]. При производстве портландцемента большая часть затрат топлива приходится на синтез клинкера. Изменением химического состава клинкера, а именно понижением его коэффициента насыщения, можно добиться значительного снижения расхода топлива [2]. При уменьшении коэффициента насыщения сокращается содержание СаО в составе готового продукта. Изделия, приготовленные из цемента с низкоосновным клинкером, характеризуются сравнительно низкими прочностными характеристики, поэтому использование низкоосновного клинкера не возможно без повышения его гидравлической активности, особенно в начальный период твердения [3].

На данном этапе решения проблемы обнаружен эффективный способ повышения активности низкоосновного клинкера – кратковременное высокотемпературное легирование (КВЛ). Он заключается во введении специальной присадки на завершающей стадии спекания клинкера. Способ КВЛ является оптимальным по причине того, что не требует привлечения значительных капитальных вложений и осуществим на практике на функционирующих цементных заводах [4].

Переход на производство клинкера с низким КН сопровождается следующими положительными эффектами:

1. В сырьевой смеси уменьшается содержание количества карбонатного компонента на 5-10%, что значительно снижает выброс CO_2 .

2. Изменение минералогического состава клинкера приводит к снижению необходимой температуры материала во вращающейся печи на 50-100°C, что влечет за собой сокращение количества топлива на обжиг клинкера.

3. Снижение необходимой температуры материала во вращающейся печи, и как следствие, количества сжигаемого топлива, является причиной уменьшения взаимодействия N_2 и O_2 из воздуха. Результатом является сокращение до 1,5 раз удельных выбросов NO_x .

Синтез клинкерных минералов происходит с затратами теплоты. Теоретическая теплота клинкерообразования – это количество теплоты, необходимое для получения 1 кг клинкера с температурой 293 К из определенного количества сухого сырья с такой же температурой:

$$Q_{\text{т.к}} = Q_{\text{дис}} + Q_{\text{w}}^r + Q_{\text{ж.ф}} - Q_{\text{экз}} - Q_{\text{ж.ф}}^{\text{кр}}$$

Другими словами это теплота является энтальпией реакции превращения, протекающих в сухой сырьевой смеси при 293К. Расчеты теплового эффекта клинкерообразования проводились различными исследователями, и их результаты согласуются между собой: теплота Q составляет порядка 1600-1800 кДж/кг (400-440ккал/кг).

Рассчитаем изменение величины ТЭК от коэффициента насыщения. Тепловые эффекты отдельных реакций приняты при 25°C.

Расчет ТЭК для КН=0,7:

а) расход теплоты на диссоциацию карбонатов:

$$Q_{\text{дис}} = 1780\text{CaCO}_3 + 1400\text{MgCO}_3 \text{ кДж / кг кл. ;}$$

$$G_{\text{MgCO}_3} = G_c^o \cdot \frac{\% \text{MgCO}_3}{100}; \quad G_{\text{CaCO}_3} = G_c^o \cdot \frac{\% \text{CaCO}_3}{100};$$

$$\% \text{MgCO}_3 = \frac{84,32}{40,32} \text{MgO}^c = \frac{84,32}{40,32} 0,77 = 1,61\%;$$

$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{100}{44} \left(\text{CO}_2^c - \frac{44}{40,32} \text{MgO}^c \right);$$

$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{100}{44} \left(31,09 - \frac{44}{40,32} 0,77 \right) = 68,75\%;$$

$$\text{H}_2\text{O}^r = 0,35 \text{Al}_2\text{O}_3 = 0,35 \cdot 4,20 = 1,47\%;$$

$$\text{CO}_2^c = \text{ППП}^c - \text{H}_2\text{O}^r = 32,56 - 1,47 = 31,09\%;$$

$$G_c^o = \frac{100}{100 - \text{ППП}} = \frac{100}{100 - 32,56} = 1,48 \text{ кг / кг кл.};$$

$$G_{\text{MgCO}_3} = 1,48 \cdot \frac{1,61}{100} = 0,02 \text{ кг / кг кл.};$$

$$G_{\text{CaCO}_3} = 1,48 \cdot \frac{68,75}{100} = 1,02 \text{ кг / кг кл.};$$

$$Q_{\text{дис}} = 1780 \cdot 0,02 + 1400 \cdot 0,02 = 1843,6 \text{ кДж/кг кл.};$$

б) расход теплоты на дегидратацию глин

$$Q_w^r = 7780 G_w^r; G_w^r = G_{\text{H}_2\text{O}}^r;$$

$$G_{\text{H}_2\text{O}}^r = \frac{\text{H}_2\text{O}^r}{100 - \text{ППП}^c} = \frac{1,47}{100 - 32,56} = 0,02;$$

$$Q_w^r = 7780 \cdot 0,02 = 157,6 \text{ кДж / кг кл.};$$

в) расход теплоты на образование жидкой фазы

$$Q_{\text{ж.ф.}} = 100 \text{ кДж/кг кл.};$$

г) возврат теплоты при экзотермических реакциях

$$Q_{\text{экз}} = 0,01(528 \text{ C}_3\text{S} + 715 \text{ C}_2\text{S} + 61 \text{ C}_3\text{A} + 84 \text{ C}_4\text{AF})$$

$$Q_{\text{экз}} = 0,01(528 \cdot 9,16 + 715 \cdot 62,57 + 61 \cdot 8,41 + 84 \cdot 14,56) = \\ = 513,10 \text{ кДж / кг кл.};$$

д) возврат теплоты в результате кристаллизации жидкой фазы

$$Q_{\text{ж.ф.}}^{\text{кр}} = 100 \text{ кДж/кг кл.};$$

е) теплота клинкерообразования

$$Q_{\text{т.к}} = Q_{\text{дис}} + Q_w^r + Q_{\text{ж.ф.}} - Q_{\text{экз}} - Q_{\text{ж.ф.}}^{\text{кр}};$$

$$Q_{\text{т.к}} = 1843,6 + 157,6 + 100 - 513,10 - 100 = 1488,1 \text{ кДж/кг кл.}$$

Расчет ТЭЖ для КН=0,9:

а) расход теплоты на диссоциацию карбонатов

$$Q_{\text{дис}} = 1780 \text{CaCO}_3 + 1400 \text{MgCO}_3, \text{ кДж/кг кл.};$$

$$G_{\text{MgCO}_3} = G_c^0 \cdot \frac{\% \text{MgCO}_3}{100}; \quad G_{\text{CaCO}_3} = G_c^0 \cdot \frac{\% \text{CaCO}_3}{100};$$

$$\% \text{MgCO}_3 = \frac{84,32}{40,32} \text{MgO}^c; \quad \% \text{MgCO}_3 = \frac{84,32}{40,32} 0,68 = 1,42\%;$$

$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{100}{44} \left(\text{CO}_2^c - \frac{44}{40,32} \text{MgO}^c \right);$$

$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{100}{44} \left(32,96 - \frac{44}{40,32} 0,68 \right) = 74,23\%;$$

$$\text{H}_2\text{O}^r = 0,35 \text{Al}_2\text{O}_3 = 0,35 \cdot 3,70 = 1,3\%;$$

$$\text{CO}_2^c = \text{ППП}^c - \text{H}_2\text{O}^r = 34,56 - 1,3 = 32,96\%;$$

$$G_c^0 = \frac{100}{100 - \text{ППП}} = \frac{100}{100 - 34,26} = 1,52 \text{ кг/кг кл.};$$

$$G_{\text{MgCO}_3} = 1,52 \cdot \frac{74,23}{100} = 1,13 \text{ кг / кг кл.};$$

$$G_{\text{CaCO}_3} = 1,52 \cdot \frac{1,42}{100} = 0,02 \text{ кг / кг кл.};$$

$$Q_{\text{дис}} = 1780 \cdot 1,13 + 1400 \cdot 0,02 = 2039,4 \text{ кДж/кг кл.};$$

б) расход теплоты на дегидратацию глин

$$Q_w^r = 7780 G_w^r; \quad G_w^r = G_{\text{H}_2\text{O}}^r;$$

$$G_{\text{H}_2\text{O}}^r = \frac{\text{H}_2\text{O}^r}{100 - \text{ППП}^c} = \frac{1,30}{100 - 34,26} = 0,02;$$

$$Q_w^r = 7780 \cdot 0,02 = 157,6 \text{ кДж/кг кл.};$$

в) расход теплоты на образование жидкой фазы

$$Q_{\text{ж.ф.}} = 100 \text{ кДж/кг кл.};$$

г) возврат теплоты при экзотермических реакциях

$$Q_{\text{экз}} = 0,01(528 \text{C}_3\text{S} + 715 \text{C}_2\text{S} + 61 \text{C}_3\text{A} + 84 \text{C}_4\text{AF});$$

$$Q_{\text{экз}} = 0,01(528 \cdot 56,69 + 715 \cdot 19,39 + 61 \cdot 8,04 + 84 \cdot 12,37) = 446,11 \text{ кДж/кг кл.};$$

д) возврат теплоты в результате кристаллизации жидкой фазы

$$Q_{ж.ф.}^{кр} = 100 \text{ кДж/кг кл.};$$

е) теплота клинкерообразования

$$Q_{т.к} = Q_{дис} + Q_w^r + Q_{ж.ф} - Q_{экз} - Q_{ж.ф.}^{кр};$$

$$Q_{т.к} = 2039,4 + 157,6 + 100 - 446,11 - 100 = 1750,89 \text{ кДж/кг кл.}$$

Анализируя результаты можно сделать вывод, что изменение коэффициента насыщения клинкера с 0,9 до 0,7 приведет к снижению теплоты клинкерообразования с 1750,89 кДж/кг до 1488,1 кДж/кг кл. Основными статьями снижения ТЭК являются:

– снижение затрат тепла на диссоциацию карбонатного компонента (КН= 0,9 – 2039,4 кДж/кг; КН=0,7 – 1843,6 кДж/кг кл.), за счет изменения фазового состава клинкера в сторону снижения основности;

– увеличение возврата тепла от экзотермических реакций (КН= 0,9 – 446,11 кДж/кг; КН=0,7 – 513,10 кДж/кг кл.), за счет увеличения доли белита в составе клинкера.

Только снижение ТЭК при изменении коэффициента насыщения клинкера дает экономию топлива на обжиг клинкера около 15%. Кроме снижения расхода топлива, уменьшится вредное воздействие обжига клинкера на окружающую среду за счет уменьшения выбросов CO₂ и оксидов азота.

Библиографический список

1. **Борисов И. Н.** Особенности процессов минералообразования при обжиге цементного клинкера с использованием медеплавильного шлака // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2008. – № 2. – С.11-13.

2. **Нусс М.В., Трубаев П.А., Классен В.К.** Управление работой цементной вращающейся печи // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 1. С. 61-65.

3. **Барбанягрэ В.Д., Мануйлов В.Е., Головизнина Т.Е.** Патент RU 2168473 С2 Способ обжига быстротвердеющего низкоосновного цементного клинкера. 04.02.1999.

4. **Головизнина Т.Е.** Синтез быстротвердеющего низкоосновного клинкера кратковременным высокотемпературным легированием. Автореф. дисс. канд. тех. наук по спец. 05.17.11. Белгород, 2000. 17 с.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА ОТ СКОРОСТИ ВЕТРА*

Ученик 7-го класса **Трубаев К.П.**

Научные руководители:

д-р техн. наук, доц. **Трубаев П.А.**

учитель физики **Королёва С.А.**

Средняя образовательная школа № 45, г. Белгород

Аннотация (краткое содержание статьи, от пяти до 20 строчек).

Потребности человечества в электроэнергии с каждым годом увеличиваются. В настоящее время большая часть электроэнергии в мире вырабатывается на электростанциях, сжигающих невозполнимое топливо – природный газ, нефть и уголь. Запасы топлива не безграничны, они могут закончиться через несколько десятилетий.

При сжигании топлива выделяются вредные вещества, что негативно влияет на окружающую среду. С целью устранения этих проблем в мире стали использовать альтернативные источники энергии.

Одним из перспективных направлений альтернативной энергетики является использование ветрогенераторов [1]. Ветрогенератор работает благодаря ветру, который вращает его лопасти. Энергия вращения вала передается электрогенератору, в результате вырабатывается электроэнергия.

В ходе изучения и теоретического анализа литературы нас заинтересовал следующий вопрос: зависит ли мощность, вырабатываемая ветрогенератором, от скорости ветра?

Таким образом, **цель работы** заключается в изучении зависимости мощности ветрогенератора от скорости ветра.

Объект работы: мощность ветрогенератора.

Предмет исследования является зависимость мощности ветрогенератора от скорости ветра.

Для достижения цели были решены следующие **задачи**:

1) изучены научные источники информации и раскрыты основные понятия по вопросу исследования [2–4];

* Научная работа – победитель регионального конкурса для обучающихся образовательных учреждений Белгородской области по электробезопасности и энергоэффективности «Энергия и человек» (2017 г.)

- 2) подготовлено необходимое оборудование для проведения физического эксперимента;
- 3) проведены лабораторные исследования, направленные на изучение зависимости мощности ветрогенератора от скорости ветра;
- 4) обработаны и систематизированы результаты исследований;
- 5) исследовано, какая скорость ветра в Белгороде;
- 6) проведен сравнительный анализ полученных результатов

В работе были использованы эмпирические, практические и теоретические методы исследования. Основные методы (изучение и анализ литературы и ресурсов Интернета, измерение, физический эксперимент, сравнение значений, построение таблиц и графиков) позволили выявить зависимость мощности ветрогенератора от скорости ветра и определить, что в Белгороде ветрогенератор будет работать не на полную мощность.

Практический этап включал в себя проведение лабораторных исследований, направленных на изучение зависимость мощности ветрогенератора от скорости ветра.

Для проведения исследования использовалась специальная установка, состоящая из: вентилятора, ветрогенератора, анеометра, тахометра, ваттметра (рис. 1).



Рис. 1. Лабораторная установка

Вентилятор, расположенный напротив ветрогенератора, создавал поток воздуха. Анеометр, установленный перед ветрогенератором, измерял скорость потока воздуха. Тахометр, на специальной подставке, измерял частоту вращения ротора ветрогенератора. Ваттметр, подключенный к ветрогенератору, измерял мощность электрического тока.

После того, как лопасти ветрогенератора раскручивались, снимались показания приборов. Опыт проводился при разных скоростях воздушного потока. По результатам эксперимента были построены графики (рис. 2, 3).

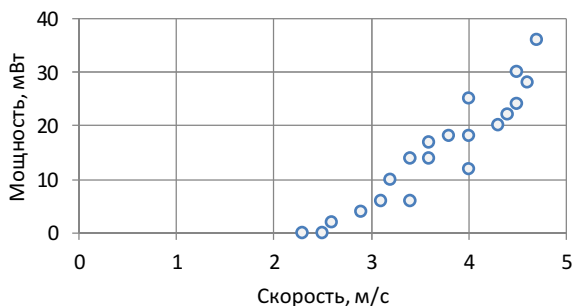


Рис. 2. Зависимость вырабатываемой мощности от скорости воздуха

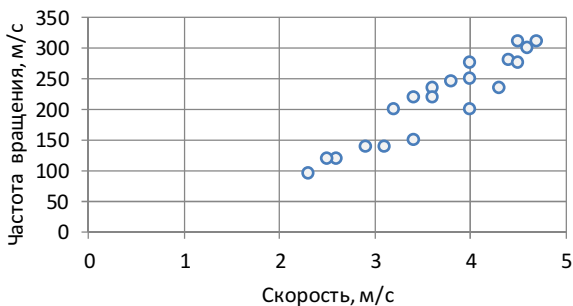


Рис. 3. Зависимость вырабатываемой мощности от скорости воздуха

Из анализа графиков можно сделать вывод, что при скорости потока меньше 2 м/с несмотря на вращение ветрогенератора, электроэнергия не вырабатывается.

В дальнейшем проведен анализ работы ветрогенераторов в Белгороде. Для этого использовались данные сайта «Расписание Погоды» [5], на котором содержится архив данных метеорологической станции города Белгорода. Данные о скорости ветра за 10 дней января и 10 дней июля 2017 г. показаны на рис. 4.

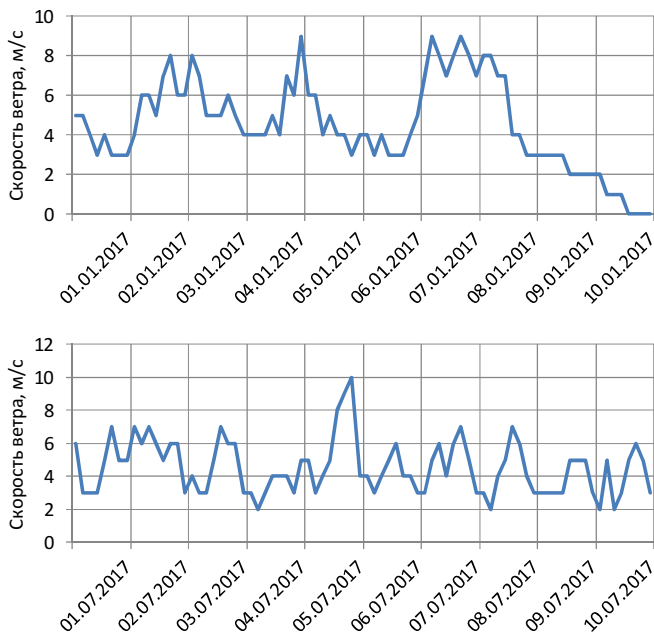


Рис. 4. Изменение скорости ветра в течении 10 дней

Задавая начальный и конечную дату на сайте можно получить средние показания за период. Были исследованы средняя скорость ветра за семь лет и средняя скорость для каждого месяца за последний год (табл. 1, 2).

Таблица 1
Средняя и максимальная скорость ветра за год, м/с

Год	Средняя	Максимальное значение
2011	4,2	15
2012	4,4	12
2013	4,4	10
2014	4,1	15
2015	4,3	14
2016	4,0	10
2017	4,2	14

Таблица 2

Средняя и максимальная скорость ветра за месяц, м/с

Месяц, год	Сред- няя	Макси- мальная	Месяц, год	Сред- няя	Макси- мальная
Январь 2017 г.	4,3	10	Июль 2017 г.	3,9	16
Февраль 2017 г.	4,7	10	Август 2017 г.	3,8	10
Март 2017 г.	4,4	14	Сентябрь 2017 г.	4,1	13
Апрель 2017 г.	4,0	13	Октябрь 2016 г.	3,8	10
Май 2017 г.	4,1	9	Ноябрь 2016 г.	4,8	10
Июнь 2017 г.	4,6	10	Декабрь 2016 г.	4,3	9

Из архива погоды видно, что скорость ветра в Белгороде постоянно около 4 м/с. Поэтому ветрогенераторы будут работать, но не на полную мощность.

Исследуя данную тему, можно сделать **выводы**:

Во-первых, изучив различные источники информации, были раскрыты основные понятия по вопросу исследования и определено, что чем больше скорость ветра, тем больше мощность ветрогенератора.

Во-вторых, можно сделать вывод, что в ходе лабораторных исследований можно изучить зависимость мощности ветрогенератора от скорости ветра.

В ходе работы была достигнута основная цель - изучена зависимость мощности ветрогенератора от скорости ветра.

Доказана гипотеза – чем больше скорость ветра, тем больше мощность ветрогенератора. Но при небольших скоростях ветра ветрогенератор вращается, но электроэнергию не вырабатывает. В Белгороде средняя скорость ветра около 4 м/с, поэтому ветрогенераторы будут работать, но не полную мощность.

Библиографический список

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Пособие для проведения практ. занятий / Сост. Хахалева Л.В. Ульяновск: УГТУ, 2008. 32 с.
2. Nature Time – Сайт экологической грамотности [Сайт]. URL: <http://nature-time.ru/>.
3. Портал «Альтернативная энергия» [Сайт]. URL: <http://altenergiya.ru/>
4. Ветрогенераторы: вопросы и ответы [Электронный ресурс]. URL: <https://ecoteco.ru/id306#p2>.
5. Расписание погоды [Сайт]. URL: https://rp5.ru/Погода_в_Белгороде.

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

аспирант **Тулепова Г.Н.**¹

Научный руководитель д-р техн. наук, проф. **Артюхов И.И.**²

¹Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, РК, г. Уральск

²Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

***Аннотация.** Электроснабжение объектов, не подключенных к централизованным сетям, традиционно осуществляется на базе дизель-генераторов. Основным недостатком этих источников энергии является высокий расход топлива, Он может быть скомпенсирован применением возобновляемых источников энергии и созданием гибридных систем электроснабжения. Для повышения надежности электроснабжения предлагается осуществлять оперативный контроль нагрузочной способности источников энергии и разделять во времени пусковые режимы мощных электроприемников.*

Большая часть территории Российской Федерации, имеющая малую плотность населения, не присоединена к централизованным электроэнергетическим системам. Подобная картина является характерной и для Республики Казахстан, занимающей 9-е место в мире по площади территории (2,7 млн. кв. км). При этом плотность населения составляет всего 5,5 чел./кв.км, что в 19 раз меньше, чем в странах Европейского Союза [1].

В Казахстане в результате перехода к рыночной экономической системе подавляющее большинство крупных производств различных отраслей были подвергнуты либерализации и разукрупнению. Для существующих централизованных поставщиков электроэнергии стало экономически не выгодно снабжать электроэнергией отдаленные хозяйства, полустанки и разьезды железных дорог, населенные пункты, расположенные в труднодоступных местах, небольшие фермы, стоянки чабанов, кэмпинги и т.д.

Исторически на протяжении многих лет основными источниками электроэнергии для потребителей децентрализованных зон являются дизель-генераторы (ДГ) и дизельные электростанции на их основе, причем полноценной замены им на сегодняшний день нет. Основной недостаток этих источников электроэнергии – высокий расход дизель-

ного топлива, которое необходимо доставлять в удаленные районы. При этом доставка топлива в удаленные районы зачастую зависит от погодных условий, от времени года, поэтому не всегда возможна, что является одной из главных причин снижения надежности электроснабжения.

Наличие в регионе таких энергоносителей, как ветер и солнце, делают целесообразным создание гибридных систем электроснабжения (СЭС), в которых ДГ дополняются возобновляемыми источниками энергии [2]. При этом возможны различные варианты построения гибридных СЭС, которые отличаются не только составом оборудования, но и организацией режимов работы в зависимости от климатических условий и характеристик электроприемников.

Если в регионе имеется большой потенциал ветровой энергии, то гибридные СЭС строятся на базе ветро-дизельных установок [3]. В географических зонах с высоким уровнем солнечной радиации целесообразно применять солнечно-дизельные установки [4]. В общем случае, могут быть созданы гибридные СЭС, позволяющие эффективно использовать различные виды возобновляемой энергии.

В настоящее время благодаря достижениям силовой электроники определенные преимущества имеет схема гибридной СЭС, в которой суммирование потоков энергии отдельных источников осуществляется на шине постоянного тока [5]. Пример построения такой системы показан на рис. 1. Первичными источниками энергии в ней являются дизельный генератор ДГ, ветрогенератор ВГ и солнечные панели СП.

ДГ и ВГ вырабатывают электрическую энергию переменного тока. При этом частота и величина напряжения на выходе ДГ могут изменяться, в отличие от классической схемы. Скорость вращения ветроколеса является величиной случайной, она зависит от скорости ветра, а также от нагрузки ВГ. Поэтому частота и величина напряжения на выходе ВГ также являются переменными величинами. Для суммирования потоков энергии ДГ и ВГ они снабжены выпрямителями V_1 и V_2 , которые подключены к шине постоянного тока через регуляторы постоянного напряжения РПН₁ и РПН₂.

СП вырабатывают электрическую энергию постоянного тока, при этом СП имеют нелинейные вольт-амперные характеристики, ход которых зависит от уровня энергетической освещенности и температуры панелей. Для согласования СП с шиной постоянного тока служит регулятор постоянного напряжения РПН₃. Необходимое распределение

потоков энергии между источниками энергии обеспечивается за счет изменения сигналов γ_k на управляющих входах РПН.

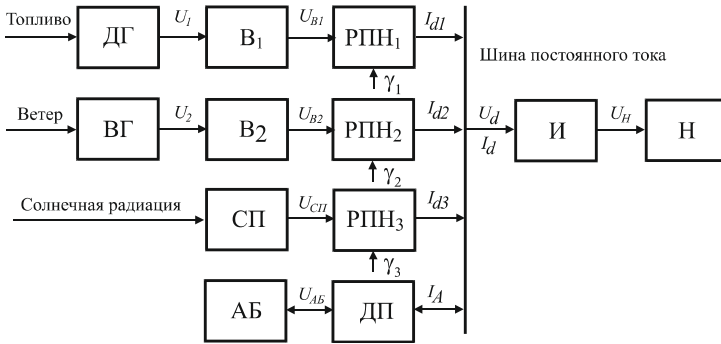


Рис. 1. Блок-схема гибридной системы электроснабжения с накопителем энергии и суммированием мощности на шине постоянного тока

От шины постоянного тока получает питание инвертор И, который формирует на нагрузке переменное напряжение. При этом в нагрузку Н должна поступать электрическая энергия, показатели качества которой должны соответствовать ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» в заданном диапазоне изменения параметров нагрузки.

К шине постоянного тока через двунаправленный преобразователь ДП подключена также аккумуляторная батарея АБ, которая в зависимости от режима работы СЭС заряжается от напряжения на шине постоянного тока при совместной или раздельной работе ДГ, ВГ и СП или отдает энергию в нагрузку через ДП и инвертор И.

Надежное электроснабжение потребителей в условиях, когда режим работы возобновляемых источников энергии и параметры нагрузки имеют стохастический характер, возможно при выполнении условия

$$P_{ДГ} + P_{ВГ} + P_{СП} \pm P_{АБ} > P_H + \Delta P, \quad (1)$$

где $P_{ДГ}$, $P_{ВГ}$, $P_{СП}$ – мощности, генерируемые ДГ, ВГ и СП соответственно; $P_{АБ}$ – мощность, отдаваемая (забираемая) АБ; P_H – мощность,

отдаваемая в нагрузку; ΔP – запас мощности, от величины которого зависит устойчивость работы гибридной СЭС в динамических режимах.

Величина ΔP определяется установленной мощностью источников энергии. Поэтому повышение надежности работы гибридной СЭС требует применения ДГ, ВГ, СП и АБ с увеличенными значениями номинальных параметров, что соответствующим образом приводит к удорожанию системы.

Одним из направлений снижения величины ΔP является выравнивание графика нагрузки гибридной СЭС с одновременным контролем нагрузочной способности источников энергии [6]. Для этого ДГ, ВГ, СП и АБ оснащаются датчиками мощности, сигналы с которых поступают в систему управления. В эту же систему подается сигнал от датчика мощности нагрузки. В результате происходит оценка запаса мощности в СЭС по формуле

$$\Delta P = P_{ДГ} + P_{ВГ} + P_{СП} \pm P_{АБ} - P_{Н} . \quad (2)$$

Электроприемники подключаются к выходу инвертора через распределительное устройство, которое содержит необходимую коммутационную аппаратуру.

В запоминающем устройстве системы управления прошивается информация о параметрах мощных электроприемниках, подключение которых к СЭС может нарушить условие (1) и привести к перегрузкам с соответствующим срабатыванием защиты.

Перед подключением очередного электроприемника в системе управления на основании информации (2) производится проверка выполнения условия

$$\Delta P - P_{НОМ.К} > P_0 , \quad (3)$$

где $P_{НОМ.К}$ – номинальная мощность k -го электроприемника; P_0 – некоторая наперед заданная величина мощности.

Если условие (3) выполняется, то система управления подает на распределительное устройство сигнал, разрешающий подключение k -го электроприемника. В противном случае коммутационная аппаратура этого электроприемника переводится в режим ожидания. Когда в СЭС сложится ситуация, при которой выполняется условие (3), будет принято решение о возможности подключения к выходу инвертора очередного электроприемника.

Таким образом, исключаются ситуации, когда одновременно включаются мощные электроприемники, при которых происходит перегрузка гибридной СЭС. При этом разделение во времени пусковых режимов мощных электроприемников позволяет уменьшить установленную мощность электрогенерирующего оборудования, что способствует затрат на приобретение и эксплуатацию электрооборудования.

Выводы.

1. Для электроснабжения объектов, не подключенных к централизованным сетям, целесообразно использовать гибридные системы на основе дизель-генераторов и возобновляемых источников энергии

2. Улучшение эксплуатационных характеристик гибридной СЭС может быть достигнуто за счет оперативного контроля нагрузочной способности источников энергии и разделения во времени пусковых режимов мощных электроприемников.

Библиографический список

1. **Алинов М.Ш.** Перспективы модели комбинированной энергетической системы возобновляемых источников энергии в условиях Казахстана // Вестник Казахской национальной академии естественных наук. 2015. № 2. С. 47–51.

2. **Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б.** Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. М.: Энергоатомиздат, 2008. 231 с.

3. **Бобров А.В., Тремясов В.А.** Ветродизельные комплексы в децентрализованном электроснабжении. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. 216 с.

4. **Дмитриенко В.Н., Лукутин Б.В.** Солнечно-дизельные системы электроснабжения северных поселков [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. URL: <http://www.science-education.ru/117-13070>.

5. Гибридная система электроснабжения с объединенным звеном постоянного тока / И.И. Артюхов, С.Ф. Степанов, Е.Т. Ербаев и др. // Вопросы электротехнологии. 2015. № 3(8). С. 96–100.

6. Патент на полезную модель № 1577 Республика Казахстан, МПК F03D 9/00. Гибридная система автономного электроснабжения / Е.Т. Ербаев, Г.Н. Тулепова, И.И. Артюхов и др. № 2015/0188.2; заявл. 29.06.2015; опубл.: 29.07.2016, Бюл. № 8.

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНОЙ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОДЗАРЯДКИ КВАДРОКОПТЕРОВ

Магистрант **Чурляева К.Д.**

Научный руководитель д-р техн. наук, проф. **Степанов С.Ф.**

*Саратовский государственный технический
университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов*

***Аннотация.** Рассматривается вариант построения системы наземных зарядных станций для подзарядки квадрокоптеров на основе гибридного использования альтернативных источников энергии: ветра и солнца.*

Обоснована рациональность применения для подзарядки беспилотных летательных аппаратов гибридных ветро-солнечных источников энергии.

В настоящее время стремительно развивается дистанционный метод мониторинга различных объектов, например: фото и видеосъемка с космоса, с пилотируемых летательных аппаратов и с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [1]. Наиболее перспективным направлением является аэросъемка с БПЛА, а именно квадрокоптера. Приборный комплекс на базе квадрокоптеров сможет обеспечить повышение эффективности производства путем своевременного и оптимального получения актуальных данных о состоянии исследуемого объекта.

Современные малые беспилотные летательные аппараты работают, в основном, от литий-ионных аккумуляторов. Недостаток таких БПЛА - небольшое время полета (20-60 минут). Что не позволяет выполнять задачи, требующие длительного времени. Так как по истечении данного срока квадрокоптер должен вернуться в точку старта для зарядки аккумулятора. Для выполнения БПЛА задач более длительных по времени и по охватываемой территории необходима подзарядка его аккумуляторов от автономных источников электроснабжения зарядных станций. При этом зарядная станция должна находиться в зоне работы БПЛА, быть полностью автономной и иметь возможность обслуживания любых БПЛА находящихся в зоне ее досягаемости.

Целью научной работы является обоснование и выбор параметров автономных зарядных станций для подзарядки квадрокоптеров с ветро-солнечными источниками энергии.

Для осуществления своих функций наземная зарядная станция должна:

- иметь независимый автономный источник энергии, постоянно готовый к работе;
- иметь возможность обслуживать разные типы квадрокоптеров;
- иметь систему автоматической связи с диспетчером, для контроля основных параметров своей работы;
- быть хорошо видна на местности;
- иметь систему световой сигнализации в ночное время;
- быть выполнена в антивандальном исполнении;
- работать при низких температурах и повышенной влажности.

В определенном массиве должно располагаться несколько наземных зарядных станций, расположение которых зависит от функций использования квадрокоптеров. Так, они могут располагаться по маршруту следования аппарата, или же группа станций будет распределена по области. Расположение станций может потребоваться как рядом с линиями электропередач, так и в отдаленных от них местах. В этой ситуации целесообразен способ питания зарядных станций, основанный на применении нетрадиционных источников энергии, таких как ветрогенераторы и солнечные панели (рис. 1).



Рис. 1. Наземная зарядная станция с ветро-солнечной системой электропитания

Предлагается реализовать такой вариант построения зарядной станции, согласно которому на первой платформе зарядной станции применяется технология, которая подразумевает наличие индукционных катушек как в зарядной станции, так и в фюзеляже квадрокоптера (рис. 2). У каждой из этих катушек есть своя роль: одна из них является приемником, другая передатчиком беспроводного электричества. При подключении к источнику питания, возникает напряжение, и в радиусе действия катушки появляется магнитное поле. Квадрокоптер, попадая в это магнитное поле, получает из него необходимую энергию посредством преобразования электромагнитных волн в его катушке приемника в электричество.

На второй платформе осуществляется подзарядка квадрокоптера с помощью матрицы плоских дежурных электродов (рис.2). На борту квадрокоптера находятся аккумулятор, положительный и отрицательный выводы которого электрически соединены с бортовыми электродами [2]. С помощью бортового навигационного устройства с конечной точностью наводится на зарядную платформу с матрицей дежурных электродов. Его бортовые электроды, связанные с выводами бортового аккумулятора, касаются отдельных дежурных электродов посадочной платформы. Только на эти электроды анализаторы-коммутаторы подают напряжение соответствующей полярности, все остальные электроды остаются без напряжения. После окончания зарядки аккумулятора по сигналу зарядного контроллера запускается программа взлета БПЛА и он продолжает выполнять заданную программу.

Рассчитаем мощность, которую может выдавать ветрогенератор (1) с диаметром колеса $D = 2$ м [3].

$$P_B = \frac{\rho}{2} \cdot F \cdot \vartheta^3 \cdot c_p \cdot \eta_r \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

где $\rho = 1,226$ кг/м³ – плотность воздуха; $F = \pi D^2/4$ - ометаемая площадь ветроколеса, м²; $\vartheta = 4$ м/с – средняя скорость ветра в Саратовской области; $c_p = 0,3 \div 0,4$ – коэффициент использования энергии ветра; $\eta_r = 0,9 \div 0,95$ - КПД генератора.

$$P_B = \frac{1,226}{2} \cdot \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 4^3 \cdot 0,3 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} = 30 \text{ Вт.}$$

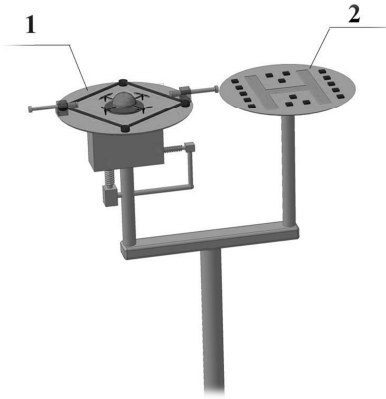


Рис. 2. Зарядные платформы станции

Мощность, вырабатываемая солнечной батареей, определяется ее площадью, временем года и количеством падающих солнечных лучей.

Для того, чтобы оценить возможную мощность от солнечной панели (2), желательно рассмотреть самый холодный месяц для региона [1].

$$P_c = E_{\text{инс}} \cdot \frac{P_{\text{сб}}}{P_{\text{инс}}} = 5109,8 \cdot \frac{20}{1000} = 102 \text{ Вт}, \quad (2)$$

где $E_{\text{инс}}$ – дневная инсоляция квадратного метра, $\text{Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$; $P_{\text{сб}}$ – номинальная мощность солнечной батареи, Вт; $P_{\text{инс}}$ – максимальная мощность инсоляции земной поверхности, равная 1000 Вт.

Для Саратовской области рассмотрим значение $E_{\text{инс}}$ для зимнего месяца – января, $5109,8 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$; $P_{\text{инс}} = 1000 \text{ Вт}$. Предположим, что панель с номинальной мощностью 20 Вт, а ёмкость аккумулятора квадрокоптера 5000 мА·ч.

Рассчитаем, какое значение мощности необходимо для полного заряда аккумулятора квадрокоптера по формуле (3):

$$P_3 = \frac{C_{\text{ак}} \cdot U_{\text{ак}} \cdot k}{t} = \frac{5 \cdot 12 \cdot 0,7}{1} = 42 \text{ Вт}, \quad (3)$$

где $C_{\text{ак}}$ – емкость аккумулятора, А·ч; $U_{\text{ак}}$ – напряжение аккумулятора, В; k – коэффициент использования ёмкости аккумулятора, t – время резервирования, ч.

Следовательно, для полной зарядки аккумулятора необходима мощность равная 42 Вт. В случае объединенной работы установка может выдавать мощность (4):

$$P_{\text{сум}} = P_{\text{в}} + P_{\text{с}} = 30 + 102 = 132 \text{ Вт.} \quad (4)$$

Исходя из расчетов, можно сделать вывод, что работоспособность источников энергии зависит от погодных условий и географического расположения, поэтому для автономного и надежного обеспечения энергией стоит использовать гибридную ветро-солнечную систему.

Солнечно-ветровые электростанции - энергетически более стабильная система. В пасмурную погоду или ночью, когда нет солнца, ветровые установки являются основными поставщиками электричества. В солнечную же погоду ветер стихает, при этом увеличивается выработка электроэнергии солнечной составляющей электростанции. Когда энергия солнца и ветра используется совместно для выработки электричества, система становится более надежной.

Библиографический список

1. **Чурляева К.Д., Степанов С.Ф., Чурляева О.Н.** Обоснование эффективности использования гибридной ветро-солнечной системы источников энергии для подзарядки квадрокоптеров // Актуальные проблемы энергетики АПК: матер. VIII Междунар. науч.-практ. конф. Саратов: ООО «ЦеСАин», 2017. С.283-285.

2. **Фетисов В.С., Тагиров М.И., Мухаметзянова А.И.** Подзарядка электрических беспилотных летательных аппаратов обзор существующих разработок и перспективных решений // Авиакосмическое приборостроение. 2013. №11 (15). С. 7-26.

3. **Олешкевич М.М.** Нетрадиционные источники энергии: Учеб. пособие. Минск: Белорус. нац. техн. ун-т, 2007. 206 с.

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОТИВОТОЧНЫХ СТРУЙНЫХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ

Магистрант **Шевченко А.В.**

Магистрант **Суханов А.В.**

Магистрант **Секретарев Е.А.**

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. **Карпачев Д.В.**,
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

Одним из важнейших показателей работы любого помольного оборудования, в том числе и струйных измельчителей, является производительность Π (кг/ч). Большое внимание уделяется двум другим величинам – удельной поверхности получаемого продукта S (см²/г) и массовому расходу воздуха Q (кг/ч), определяющему затраты на измельчение [1].

Указанные признаки эффективности работы струйных мельницы формируются под влиянием множества различных факторов. Главные факторы являются внутренними. К ним относятся: диаметр сопла d_c (мм), диаметр разгонной трубки $d_{тр}$ (мм), давление инжектируемого потока P (МПа), массовый расход твердой фазы m (кг). Следствием взаимодействия главных и второстепенных, не связанных с сущностью изучаемого явления, факторов является варьирование производительности, удельной поверхности и массового расхода воздуха.

Применение многофакторного корреляционного и регрессионного анализа позволило обнаружить закономерности изучаемых признаков [2].

На основе результатов поставленного эксперимента на струйной мельнице, проведен математический анализ трех показателей ее работы: производительности, удельной поверхности, массового расхода воздуха. Были получены уравнения регрессии для каждого из признаков. Для анализа уравнений регрессии использовались не только коэффициенты регрессии, но и целая система статических характеристик: частные коэффициенты эластичности, различные показатели колеблемости и β -коэффициенты [3].

На первом этапе было получено следующее уравнение множественной регрессии производительности:

$$\hat{y}_1 = 2,30309 + 0,07083 \cdot x_1 - 0,03194 \cdot x_2 - 5,95833 \cdot x_3 + 0,81167 \cdot x_4. \quad (1)$$

Статистический анализ уравнения показал, что оно значимо: фактическое значение F -критерия равно 12,98909 при табличном значении 2,74 (для 5% уровня значимости). Коэффициент множественной корреляции равен 0,81638. Проверка по t -критерию показала, что коэффициент множественной корреляции значим ($t_R=12,481$ при табличном значении 2,0555).

Коэффициент множественной детерминации R^2 , равный 0,66648, показывает, что вариация производительности, объясненная вариацией рассматриваемых факторов, составляет 66,648%.

Дальнейший статистический анализ коснулся проверки значимости коэффициентов регрессии. Соответствующие значения t -критерия для коэффициентов регрессии следующие: $ta_1=0,241$; $ta_2=0,326$; $ta_3=2,028$; $ta_4=6,905$.

Из сравнения полученных значений с табличным значением ($t_{\text{табл}}=2,0555$) видно, что фактор x_1 (диаметр сопла) целесообразно исключить из дальнейшего анализа.

Далее, была построена новая модель без фактора x_1 :

$$\hat{y}_1 = 2,58642 - 0,03194 \cdot x_2 - 5,95833 \cdot x_3 + 0,81167 \cdot x_4 . \quad (2)$$

Уравнение (2) – значимо (фактическое значение F -критерия 17,92472 при табличном значении 2,74). Величина коэффициента множественной корреляции и соответственно коэффициента множественной детерминации несколько снизилась: 0,81593 и 0,66573. Фактическое значение t -критерия для коэффициента множественной корреляции равно 12,480 при табличном значении 2,0518.

По результатам сравнения полученных значений t -критерия для коэффициентов с табличным значением ($t_{\text{табл}}=2,0518$) из дальнейшего анализа отсеян фактор x_2 (диаметр разгонной трубки).

На третьем шаге было получено уравнение

$$\hat{y}_1 = 2,10726 - 5,95833 \cdot x_3 + 0,81167 \cdot x_4 . \quad (3)$$

в котором все коэффициенты регрессии оказались значимыми. Уравнение (3) также значимо (расчетное значение F -критерия 27,71266 при табличном 2,74). Коэффициент множественной корреляции и коэффициент множественной детерминации соответственно 0,81509 и 0,66437. Величина коэффициента множественной корреляции по-прежнему значима (расчетное $t_R=12,383$ при $t_{\text{табл}}=2,0484$).

Анализ частных коэффициентов эластичности показал, что по аб-

солютному приросту наибольшее влияние на производительность оказывает массовый расход твердой фазы (x_4): прирост массового расхода на 1% дает прирост производительности на 0,899%.

Проанализировав с помощью β -коэффициентов влияние на производительность факторов с учетом различий в уровне их колеблемости, видно что влияние на производительность фактора x_4 ($\beta_4=0,782$) наибольшее в сравнении с влиянием фактора x_3 ($\beta_3=0,23$).

Средняя ошибка аппроксимации составила 13,2156; критерий Дарбина-Уотсона (DW) равен 0,8856.

На первом этапе для показателя удельной поверхности было получено следующее уравнение множественной регрессии:

$$\hat{y}_2 = 36110,24597 - 1317,79167 \cdot x_1 + 106,40278 \cdot x_2 - 6815,41667 \cdot x_3 + 305,68333 \cdot x_4 \quad (4)$$

Статистический анализ уравнения показал, что оно незначимо. По результатам сравнения значений t -критерия для коэффициентов регрессии с табличным значением ($t_{\text{табл}} = 2,0555$), факторы x_2 , x_3 , x_4 отсеяны из дальнейшего анализа.

Новая модель без факторов x_2 , x_3 , x_4 :

$$\hat{y}_2 = 39400,03763 - 1317,79167 \cdot x_1 \quad (5)$$

Уравнение (5) значимо (расчетное значение F -критерия 2,92535 при табличном 2,74). Величина коэффициента множественной корреляции по прежнему не значима (расчетное $t_R = 1,699$ при табличном значении 2,04520).

Средняя ошибка аппроксимации составила 8,9764; критерий Дарбина-Уотсона (DW) равен 1,5231.

На первом этапе для показателя массового расхода воздуха было получено следующее уравнение множественной регрессии:

$$\hat{y}_3 = -7,66645 + 8,06667 \cdot x_1 + 0,42778 \cdot x_2 + 58,5 \cdot x_3 + 0,19167 \cdot x_4 \quad (6)$$

Статистический анализ уравнения показал, что оно значимо: фактическое значение F -критерия равно 52,74697 при табличном значении 2,74 (для 5% уровня значимости).

Коэффициент множественной корреляции равен 0,94355. Проверка по t -критерию показала, что он значим ($t_R = 43,854$ при табличном значении 2,0555).

Коэффициент множественной детерминации, показывает, что вариация массового расхода воздуха, объясненная вариацией рассматриваемых факторов, составляет 89,029%.

Соответствующие значения t -критерия для коэффициентов регрессии следующие: $t_{a_1} = 11,649$; $t_{a_2} = 1,853$; $t_{a_3} = 8,448$; $t_{a_4} = 0,692$.

Из сравнения полученных значений t -критерия с табличным значением ($t_{\text{табл}}=2,0555$) видно, что фактор x_4 незначимо влияет на массовый расхода воздуха. Поэтому фактор массового расхода твердой среды целесообразно исключить из дальнейшего анализа.

Была построена новая модель без фактора x_4 :

$$\hat{y}_3 = -5,74978 + 8,06667 \cdot x_1 + 0,42778 \cdot x_2 + 58,5 \cdot x_3. \quad (7)$$

Уравнение (7) – значимо (фактическое значение F -критерия равно 71,55081 при табличном значении 2,74).

Величина коэффициента множественной корреляции и соответственно коэффициента множественной детерминации 0,94248 и 0,88827. Фактическое значение t -критерия для коэффициента множественной корреляции равно 42,995 при табличном значении 2,0518.

Из сравнения полученных значений t -критерия для коэффициентов с табличным значением ($t_{\text{табл}}=2,0518$) видно, что фактор диаметра разгонной трубки из дальнейшего анализа целесообразно отсеять.

На третьем шаге было получено уравнение, в котором все коэффициенты регрессии оказались значимыми, само уравнение также значимо (расчетное значение F -критерия 96,91418 при табличном значении 2,74):

$$\hat{y}_3 = 0,66688 + 8,06667 \cdot x_1 + 58,5 \cdot x_3. \quad (8)$$

Коэффициент множественной корреляции и коэффициента множественной детерминации соответственно 0,93476 и 0,87378. Вариацией двух оставшихся факторов на 87,378% объясняется вариация массового расхода воздуха. Величина коэффициента множественной корреляции по прежнему значима (расчетная $t_R=37,762$ при $t_{\text{табл}}=2,0484$).

При сопоставлении частных коэффициентов эластичности ($\mathcal{E}_1=0,723$; $\mathcal{E}_3=0,262$) видно, что наибольшее влияние на массовый расход воздуха оказывает диаметр сопла, а уже на втором месте стоит фактор x_3 (давление инжектируемого потока).

Учитывая различия в уровне колеблемости факторов, наибольшее влияние оказывает также фактор x_1 .

Средняя ошибка аппроксимации составила 6,0573; критерий Дарбина-Уотсона (DW) равен 1,2130.

Уравнения регрессии для производительности и массового расхода воздуха оказались значимыми, а уравнения регрессии удельной поверхности за исключением последнего уравнения – незначимы. Для того, чтобы уравнение стало значимым необходимо в дальнейших исследованиях произвести повышение степени полинома.

Анализ показателей колеблемости факторов показал, что колеблемость по фактору давления инжектируемого потока (44%) более чем в два раза выше, чем у остальных факторов, поэтому по нему был намечен наибольший прирост. И именно этот фактор вошел как в уравнение регрессии производительности, так и в уравнение регрессии массового расхода воздуха. По влиянию на производительность фактор давления инжектируемого потока уступает фактору массового расхода твердой фазы ($\Theta_4 = 0,723$), а по воздействию на массовый расход воздуха отстает от фактора диаметра сопла ($\Theta_1 = 0,723$), но именно фактор x_3 следует считать определяющим удовлетворительную работу мельницы.

Результаты анализа подтвердили практические наблюдения того, что первостепенное влияние на массовый расход воздуха оказывает диаметр сопла, а на производительность – расход твердой фазы. Однако, следует иметь в виду, что с увеличением массового расхода твердой фазы и соответственно роста объема производства и выработки одновременно, ухудшается качество готового продукта. Поэтому, очевидно, добиваться роста фактора x_4 нецелесообразно.

Библиографический список

1. **Романович А.А.** Энергосбережение при производстве строительных изделий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 69-71.
2. **Френкель А.А.** Математический анализ производительности труда. М.: Экономика, 1968. 168 с.
3. **Уваров В.А., Карпачев Д.В.** Многофакторный статистический анализ показателей эффективности работы противоточной струйной мельницы // Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности на пороге XXI века: сб. докл. Междунар. научно-практ. конф., посвященной 30-летию БелГАТСМ. Белгород: Изд-во БГТУ, 2000. Ч. 4. С. 291–296.

Научное издание

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Секция молодых ученых

**Сборник докладов
II Международной
научно-технической
конференции**

Подписано в печать 15.12.17. Формат 60×84¹/₁₆. Усл.-печ. л. 9,9. Уч.-изд. л. 10,6.
Тираж 500 экз. Заказ Цена 500 руб.

Макет подготовлен в Белгородском государственном
технологическом университете им. В.Г. Шухова
308015, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Тиражировано ИП Остащенко А.А.
308036, г. Белгород, ул. Буденного, д. 10, оф. 14