

ЭНЕРГЕТИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ



IV Всероссийская молодежная научная конференция

Материалы конференции

19–20 декабря 2018 года

Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2019

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

ЭНЕРГЕТИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

IV Всероссийская молодежная научная конференция

Материалы конференции

19–20 декабря 2018 года

*Рекомендовано к изданию
научно-техническим советом ФГБОУ ВО «ТГТУ»*

Научное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2019

УДК 658.26
ББК 31.3
Э65

Председатель конференции – *Д. Ю. Муромцев*

Редакционная коллегия:

ответственный редактор – *Т. И. Чернышова*,
зам. ответственного редактора – *С. П. Москвитин*,
В. Ф. Калинин, А. Н. Грибков, А. В. Кобелев, С. Н. Баршутин

Э65 Энергетика. Проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс] : материалы IV Всероссийской молодежной научной конференции / отв. ред. Т. И. Чернышова. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 65,9 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2004-8.

Представлены материалы секционных докладов участников IV Всероссийской молодежной научной конференции «Энергетика. Проблемы и перспективы развития», в которых раскрываются вопросы генерации, транспортировки использования тепло- и электроэнергии в различных системах.

Материалы конференции могут быть полезны студентам-исследователям, а также инженерно-техническим работникам различных отраслей промышленности.

УДК 658.26

ББК 31.3

Организаторы конференции и издательство не несут ответственности за материалы, опубликованные в сборнике. Все материалы поданы в авторской редакции и отображают персональную позицию участника конференции.

ISBN 978-5-8265-2004-8

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Теплоэнергетика. Проблемы и перспективы развития	8
<i>Абрашкин П. А., Галаюра М. С., Овсянникова В. А.</i> Тепловая изоляция трубопроводов	8
<i>Балашов А. А., Богатырева Е. Н., Абрашкин П. А., Истомина Т. А.</i> Алгоритмическое обеспечение измерительной системы для теплового метода поиска структурного перехода в полимере.....	9
<i>Балашов А. А., Чупрынина С. А.</i> Формулировка задачи коммивояжера для инспекционной поездки по котельным, расположенным в городе Тамбове	11
<i>Баршутин С. Н., Илясов А. П.</i> Исследование влияния длительности импульсов напряжения электрического поля на ионизацию пламени	13
<i>Богомолова А. А.</i> Проблемы учета и регистрации потребляемых энергетических ресурсов абонентов многоквартирных домов	15
<i>Волков В. А., Суркова Н. Э., Овсянников О. А.</i> Полимерные покрытия с теплоизоляционными и огнестойкими свойствами	16
<i>Гнеушева М. А.</i> Учет горячей воды на промышленных объектах	18
<i>Грибков А. Н., Полякова Е. С.</i> Когнитивно-графическая модель области существования решения задачи энергосберегающего управления при наличии случайных возмущений	19
<i>Дементьев Р. О., Калашиников Д. В., Токарев Р. А.</i> Задачи энергосберегающего управления тепловыми объектами	21
<i>Дементьев Р. О., Калашиников Д. В., Токарев Р. А.</i> Эффективность энергосберегающего управления в тепловых объектах	23
<i>Еремин В. В., Истомина Т. А., Овсянникова В. А.</i> Теплозащитные покрытия на основе хлорсульфированного полиэтилена	24
<i>Еремин В. В., Истомина Т. А., Овсянникова В. А.</i> Теплоизоляционные полимерные покрытия комплексного применения	26
<i>Залукаева Н. Ю.</i> Применение логистических принципов при транспортировке биотоплива	27
<i>Илясов А. П.</i> Исследование энергии электрона пламени в импульсных электрических полях высокой напряженности	29
<i>Кирилин А. Ю., Анников М. В., Губарев В. Я.</i> Сравнительные характеристики различных систем резервирования энергии	31
<i>Колесников Г. Д., Попов О. Н.</i> Перспективы использования конденсационных котлов в системах автономного теплоснабжения	33

<i>Колесников Г. Д., Попов О. Н.</i> Перспективы развития систем индивидуального теплоснабжения	35
<i>Краснянский М. Н., Карпушкин С. В., Колодин А. Н., Архипов А. Е.</i> Структурная модель адаптивных тренажерных комплексов для обучения персонала теплоэнергетической отрасли	37
<i>Курепина Д. С., Мешкова Э. А., Луцков Д. С.</i> Исследование скорости электронов в пламени под воздействием энергетических полей	38
<i>Луцков Д. С., Мешкова Э. А., Курепина Д. С.</i> Моделирование дифференциального сечения рассеивания электронов в пламени	40
<i>Мешкова Э. А., Курепина Д. С., Луцков Д. С.</i> Исследование подвижности ионов в пламени	42
<i>Моценко С. В., Уваров М. Е.</i> Снижение затрат энергии в процессах кристаллизации	44
<i>Небыаев А. В.</i> Мероприятия по переоборудованию животноводческих помещений для сбора метана из вентиляционного воздуха	46
<i>Нитченко К. А., Шаранов А. И.</i> Исследование поглощающей способности адсорбентов, применяемых в процессе воздухоразделения	49
<i>Осокин Е. В.</i> Проблемы теплоэнергетики и пути их решения	50
<i>Пантилеев С. П.</i> Водогрейная мазутная котельная без паровых котлов	52
<i>Полякова Е. С., Стручалин К. Ю., Ходяков В. Н., Овсянников О. А.</i> Теплоизоляционные материалы из полиуретана	54
<i>Синюков А. В., Синюкова Т. В.</i> Улучшение энергетических параметров электроприводов моталок для повышения энергоэффективности производства	56
<i>Спасибин А. Ю.</i> Применение газопоршневого агрегата для уменьшения объема газгольдера при утилизации конвертерного газа	56
<i>Стручалин К. Ю., Грачев А. С., Овсянников О. А.</i> Антикоррозийные, огнестойкие, теплоизоляционные композиции на основе эпоксидных смол	58
<i>Суринов Д. Ю.</i> Улавливание двуокиси углерода на ТЭС	60
<i>Суркова Н. Э., Волков В. А., Овсянников О. А.</i> Антикоррозионные и теплоизоляционные покрытия на основе полых микросфер	61
<i>Черных А. А., Ярцев А. Г., Пешкова А. В.</i> Процесс стационарного теплообмена в моделях с дисперсными включениями	63
<i>Шатохин И. С.</i> Оптимизация систем отопления	65
<i>Щербаков А. К.</i> Увеличение эффективности производства путем внедрения инфраструктурных проектов	67
<i>Юшков Н. В.</i> Влияние Стефанова потока на эффективность очистки доменного газа в прескруббере	68

Секция 2. Электроэнергетика. проблемы и перспективы развития	71
<i>Авдеева М. Ю., Высокая О. Ю., Кагдин В. Н.</i> Мероприятия по энергосбережению	71
<i>Алмагамбетова С. Т., Имамурзина А. М., Лицин К. В.</i> Анализ датчиков угла поворота в электроприводе	72
<i>Амелина В. И., Худякова А. Д.</i> Снижение энергозатрат на управление с помощью прогноза поведения динамических объектов	74
<i>Андреев Д. В., Зацепин Е. П.</i> Анализ методов улучшения режима тяговой сети	76
<i>Астанин С. С., Мамонтов А. Н., Пушница К. А.</i> Перспективные концепции гибридных автомобилей в России и мире	79
<i>Батова А. А., Сидоров И. В.</i> Исследование и выбор линий электропередач	81
<i>Белых Д. В., Лицин К. В.</i> Внедрение частотного привода в механизм перемещения крана-перегрузателя	82
<i>Бородин М. В.</i> Организационные мероприятия повышения качества электроэнергии	84
<i>Глотов Н. А., Демидов М. С.</i> Применение модуля связи ZIGBEE в системах с множеством операторов для мониторинга энергосетей	86
<i>Голиков М. А., Юрьев О. В., Печегин Е. А.</i> Современные системы электроснабжения и защиты пассажирских вагонов	88
<i>Демидов М. С., Глотов Н. А., Москвитин С. П.</i> Применение системы помехоустойчивой обработки информации в системах с множеством операторов для мониторинга потребления электроэнергии	90
<i>Дергунов Д. Ю., Левин П. Н.</i> Разработка электропривода, обеспечивающего автоматическое регулирование состава угольной пыли в мельнице	92
<i>Ермольева А. Г., Гончаренко Е. А.</i> Изучение параметров ЛЭП и их влияние на характеристики передачи мощности	94
<i>Захарова А. В., Золотых Р. В.</i> Исследование линий электропередач в программе RASTRWIN	96
<i>Зацепин Е. П., Зацепина В. И.</i> Цифровизация и надежность в энергетике: будущее, проблемы и реалии	98
<i>Зяблов Н. М., Лукашина Е. Р., Авдеева М. Ю.</i> Многослойный персептрон в задаче прогнозирования потребления электрической энергии	99
<i>Зяблов Н. М., Юрьев О. В., Кочергин С. В.</i> Метод обратного распространения ошибки в нейронных сетях для прогнозирования потребления электрической энергии	101
<i>Иванов В. М., Кагдин А. Н., Ступников А. С., Хашиш Я. А. М.</i> Повышение надежности шинопроводов искусственным уменьшением в них степени токовой интенсивности	103
<i>Иванов В. М., Кобелев А. В., Кагдин А. Н., Решетов М. Н.</i> Связь критериев прочности проводников с механизмами электромагнитного разрушения	104

<i>Калашиников Д. В., Дементьев Р. О.</i> Компьютерное моделирование в системах энергосбережения	105
<i>Кагдин А. Н., Иванов Е. А., Тавлаханов Р. В., Рахи Р. М. Р.</i> Формирование наноструктуры проводника и волновой характер ее изменения в дефектных зонах	107
<i>Кагдин А. Н., Иванов Е. А., Тавлаханов Р. В., Хашиш Я. А. М.</i> Упрочняющее действие тока в зонах технологических отверстий	109
<i>Кагдин В. Н., Высокая М. Ю., Садун А. Х. С., Хельвани Мажд.</i> Потери электроэнергии в бытовом секторе	110
<i>Кобелев А. В., Кагдин А. Н., Решетов М. Н., Ступников А. С.</i> Моделирование токовой интенсивности в шинопроводах низкого напряжения	112
<i>Кобелев А. В., Кагдин А. Н., Ступников А. С., Решетов М. Н.</i> Влияние степени токовой интенсивности на разрушение проводников	113
<i>Ковергин Р. Е., Курносоев Р. Ю., Шамкин В. Н.</i> О Линейной задаче энергосберегающей дестабилизационной оптимизации технологического объекта при избыточности управляющих воздействий	114
<i>Лансберг А. А.</i> Мультиконтактная система МКС-4 и преимущества ее применения	117
<i>Леонова А. Е., Гурова Д. Н., Филиппов А. С., Политова А. Р.</i> Проблемы на производственных объектах при некачественных параметрах электроэнергии	119
<i>Мантухов Е. С., Шишлин Д. И.</i> Энергосбережение в электроприводах центробежных насосов путем оптимизации энергопотребления	121
<i>Медведев С. А., Осипов А. А., Юрьев О. В., Авдеева М. Ю.</i> Анализ потребления электроэнергии в г. Тамбове	122
<i>Наумова А. Ю., Пронин А. В., Сидорова Д. А.</i> Надежность аппаратного и программного обеспечения систем оптимального управления промышленными объектами	124
<i>Пикалова Т. К., Зацепина В. И.</i> Проблема потерь электроэнергии в электрических сетях	125
<i>Писарчук А. С.</i> Перспективы использования беспроводного заряда для портативных устройств	127
<i>Поплевин А. В., Хребтов А. Р.</i> Система автоматического определения энергозатратного движения автотранспортных средств	129
<i>Пронин А. В., Сидорова Д. А., Наумова А. Ю.</i> Энергомониторинг удаленных объектов на базе сети, построенной по технологии LoRaWAN	131
<i>Рожков В. А., Черешнев С. Н., Ахмед Рауф Абдельфаттах Абдельхафиз, Кочергин С. В.</i> Влияние возобновляемых источников энергии на экологию	132
<i>Рязанов И. Г., Наумова А. Ю.</i> Формирование моделей изменения определяющих параметров информационно-измерительных и управляющих систем с применением нейросетевых технологий	134
<i>Ряшенцев Н. И., Савилов Н. А., Дубровин П. С., Калинин В. Ф.</i> Проблемы качества электроэнергии России	136

<i>Савилов Н. А., Ряшенцев Н. И., Филиппов А. С., Зарандия Ж. А.</i> Энергосберегающие технологии в жилых помещениях для климатических условий Тамбовской области	138
<i>Сенцов Е.В.</i> Модернизация устройств коммутации и противоаварийной автоматики РП-2В ПАО «НЛМК»	140
<i>Сидорова Д. А., Пронин А. В., Наумова А. Ю., Чернышов Н. Г.</i> Задача энергосберегающего управления устройствами индукционного обогрева	141
<i>Синюков А. В., Синюкова Т. В.</i> Влияние провалов напряжения в питающей сети на работу асинхронного электропривода	143
<i>Соловьев Р. О., Шишлин Д. И.</i> Каскадно-частотный электропривод: особенности энергетики и определение энергетических показателей	144
<i>Стоцкий К. А., Лихицкий А. А.</i> Предпосылки реконструкции электроснабжения территории опережающего развития	146
<i>Скоморохов П. И., Зацепина В. И.</i> Анализ функционирования систем электроснабжения с резкопеременным характером нагрузок	148
<i>Шпиганович А. Н., Астанин С. С.</i> Релейная защита как средство управления отказоустойчивости систем электроснабжения	149
<i>Токарев Р. А., Дементьев Р. О.</i> Система энергосберегающего управления сложными технологическими аппаратами	150
<i>Токарев Р. А., Калашников Д. В.</i> Задачи энергосберегающего управления динамическими объектами на множестве состояний функционирования	152
<i>Уваров Г. Г., Зацепин Е. П.</i> Статком как средство решения вопросов энергосбережения	153
<i>Уваров С. А., Ручьев А. Г., Лукашина Е. Р., Печагин Е. А.</i> Возможности применения гибридных ветросолнечных электростанций в Тамбовской области	155
<i>Хархардин А. Н.</i> Сравнительная характеристика коммутационных аппаратов при разработке секционирующего пункта с функцией АВР	157
<i>Чихняев А. В., Зацепина В. И.</i> Беспроводная передача электроэнергии	160
<i>Черешнев С. Н., Рожков В. А., Дубровин П. С., Калинин В. Ф.</i> Трудности внедрения возобновляемых источников энергии	162
<i>Чернышов В. А., Поляков П. С.</i> Применение дежурного освещения и световой стробоскопической сигнализации на воздушных линиях 10 кВ	164
<i>Шпиганович А. Н., Чивиков В. А.</i> Структурный анализ в оценке надежности систем электроснабжения	166
<i>Шустиков А. В., Печагин Е. А.</i> Измерительно-вычислительная система контроля качества плоских проводников	168
<i>Тарасов Р. Н.</i> Актуальность определения подачи напряжения с низкой стороны трансформаторной подстанции	170
<i>Яковлев Ю. В., Захаров А.О., Зарандия Ж. А.</i> Развитие электромобилей и их автономность	171

Секция 1
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА.
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

П. А. Абрашкин, М. С. Галаюра, В. А. Овсянникова

ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Тамбовский государственный технический университет

Конструкции тепловой изоляции трубопроводов и оборудования должны отвечать следующим требованиям: энергоэффективности, эксплуатационной надежности и долговечности, безопасности для окружающей среды и обслуживающего персонала при эксплуатации и утилизации [1].

Скорлупы из пенополиуретана конструктивно представляют собой полуцилиндры длиной в один метр, внутренний диаметр которых соответствует аналогичному параметру изолируемых трубопроводов. Для производства теплоизоляционных пенополиуретановых (ППУ) скорлуп для труб используются пресс-формы. В зависимости от эксплуатационных условий такие изделия могут изготавливаться со вспомогательным покрытием из оцинкованной стали, алюминиевой фольги, мастики, армированной фольги или стеклопластика. Подобные защитные слои повышают характеристики деформационной и механической прочности, а также увеличивают срок службы скорлупы-утеплителя [2].

Пенополиуретановые скорлупы обладают рядом существенных преимуществ, во многом благодаря которым они превосходят другие утепляющие материалы для труб.

Среди них выделяют:

- эффективность;
- устойчивость к гниению, вредителям, а также химическим веществам;
- возможность использования в широком температурном диапазоне;
- пожаробезопасность;
- многократное применение;
- экологичность;
- минимизация расходов на ремонт трубопроводов;
- легкость и быстрота монтажа.

Скорлупы из ППУ для труб диаметром 108 и 133 мм используются для теплоизоляции канализационных труб. Изделия диаметром 1,5; 2,0; 3,2; 4,5 и 5,7 см обычно служат элементами утепления внутренних каналов отопления и водоснабжения. ППУ скорлуп для труб элеваторных узлов и тепловых пунктов обычно имеют диаметр 8,9; 10,8; 13,3; 15,9 и 21,9 см. Для магистральных и технологических трубопроводов применяются изделия с диаметрами 27,3; 32,6 и 102,0 см. Фольгированная скорлупа для теплоизоляции труб устанавливается в закрытых помещениях. Такая система не подходит для использования в теплотрассах с канальной либо бесканальной прокладкой. Скорлупа ППУ, покрытая армированной фольгой, может монтироваться как внутри, так и снаружи зданий. Такая фольга надежно защищает изолирующий слой от действия атмосферных осадков.

Таким образом, скорлупа ППУ является одним из наиболее эффективных средств для теплоизоляции трубопроводов.

Более подробно следует указать на негорючие фольгированные цилиндры, которые производятся под торговой маркой CUTWOOL® CL по уникальной технологии и только на единственном в России заводе ООО «КАТВУЛ». Это новейший продукт для отечественного рынка технической теплоизоляции. Цилиндры представляют собой полые изделия, длиной один метр, изготовленные из минеральной базальтовой ваты на синтетическом связующем с покрытием внешней поверхности негорючим алюминизированным покрытием. Низкая теплопроводность цилиндров достигается хаотичностью расположения волокон, и тем, что они уложены в многочисленные слои, благодаря чему коэффициент теплопроводности составляет 0,032 Вт/м·К. Для изготовления защитного покрытия цилиндров алюминиевая фольга дополнительно армируется стеклотканью повышенной плотности, что придает покрытию высокую стойкость к механическому износу и долговечность. При изготовлении цилиндров используется более толстое (до 7 – 9 мкм) и более длинное (до 50 мм) базальтовое волокно, поэтому данные цилиндры более прочные и упругие [3].

Библиографический список

1. СП 61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003.
2. **Профессионально** о трубах [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.trubamaster.ru> (дата обращения: 05.12.2018).
3. **CUTWOOL** – Негорючая теплоизоляция из базальтовой ваты [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.cutwool.ru> (дата обращения: 05.12.2018).

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, проф. Н. Ф. Майниковой*

А. А. Балашов, Е. Н. Богатырева, П. А. Абрашкин, Т. А. Истомина

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТЕПЛОВОГО МЕТОДА ПОИСКА СТРУКТУРНОГО ПЕРЕХОДА В ПОЛИМЕРЕ

Тамбовский государственный технический университет

В последнее время при работе измерительной системы, реализующей контактные тепловые методы неразрушающего контроля структурных превращений в полимерные материалы по изменениям из теплофизических свойств [1], возникает шум с достаточно большой амплитудой из-за теплового движения заряженных частиц в элементах электрических цепей. Поэтому для определения возможных структурных переходов в полимере необходимо увеличить соотношение сигнал/шум путем использования фильтров двумерной апертуры для поиска структурного перехода.

Целью работы является создание алгоритмического и программного обеспечения измерительной системы для метода поиска структурного перехода в полимере на термограмме с использованием двумерных фильтров [2].

Блок-схема алгоритма поиска структурного перехода фильтром двумерной апертуры представлена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма метода

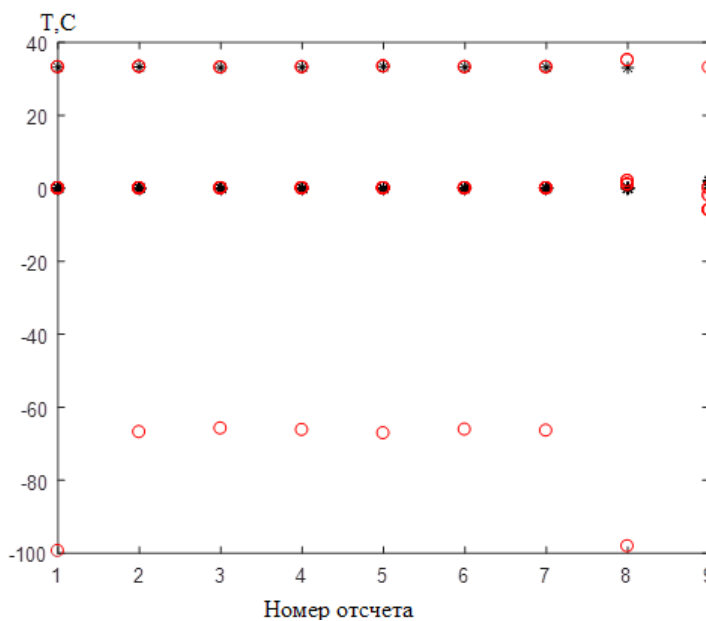


Рис. 2. Результат обработки изображения фильтром повышенной четкости двумерной апертуры (до «черные точки» и после «белые точки» фильтрации)

Результат обработки изображения фильтром повышенной четкости представлен на рис. 2.

Эффективность обработки термограммы при помощи фильтра повышенной четкости составила 0,125 усл. ед.

Таким образом, разработанный алгоритм, который реализован в пакете прикладных программ для решения задач технических вычислений MatLab, показывает достаточную эффективность применения фильтра повышенной четкости для метода поиска структурного перехода в полимере на термограмме.

Библиографический список

1. **Балашов, А. А.** Информационно-измерительная система неразрушающего контроля температурных характеристик структурных переходов в полимерных материалах / А. А. Балашов, Н. Ф. Майникова, Н. П. Жуков // Приборы. – 2010. – № 12. – С. 53 – 57.
2. **Корреляционный анализ** изображений изотропными фильтрами / А. В. Богословский, И. В. Жигулина, И. А. Басенков, В.В. Скоморохов // Радиотехника. – 2012. – № 4. – С. 43 – 46.

А. А. Балашов, С. А. Чупрынина

ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЕРА ДЛЯ ИНСПЕКЦИОННОЙ ПОЕЗДКИ ПО КОТЕЛЬНЫМ, РАСПОЛОЖЕННЫМ В ГОРОДЕ ТАМБОВЕ

Тамбовский государственный технический университет

Теория сложности вычислений является основным направлением исследований в области теоретических вычислений науки и математики, которая в целом связана с классификацией вычислительных проблем с присущими им трудностями. В теории сложности вычислений существует множество нерешенных проблем, в основном они касаются вопросов разделения или вложенности тех или иных классов сложности. Одним из таких вопросов является проблема равенства классов P и NP . Задача коммивояжера является одной из этих нерешенных проблем, которая обычно рассматривается как наиболее изучаемая в вычислительной математике.

Предполагаем, что коммивояжер должен посетить несколько заданных объектов, начиная и заканчивая в том же исходном месте. Этот маршрут, который представляет длину пройденного пути, является формулировкой задачи коммивояжера. По мере увеличения количества объектов, определение оптимального маршрута становится довольно сложным. Решение задачи коммивояжера обычно классифицируется как NP -полный класс.

Одним из современных и наиболее известных подходов к решению задачи коммивояжера является применение эволюционных алгоритмов. Эти алгоритмы, как правило, основаны на происходящих в природе явлениях, которые используются для моделирования компьютерных алгоритмов.

Существует ряд таких алгоритмов, а именно, искусственная иммунная система, генетический алгоритм, оптимизация колоний муравьев, оптимизация роя частиц и самоорганизация мигрирующего алгоритма.

Задача коммивояжера является важной и вместе с тем трудноразрешимой. Данная задача возникает в обширном классе таких приложений, как, например, распознавание траекторий, построение оптимальных схем движения и т.д.

Задача коммивояжера представляет собой задачу отыскания кратчайшего пути в полном конечном графике с N вершинами. Все известные методы нахождения точного решения включают в себя поиск пространства решений, которое увеличивается экспоненциально в зависимости от N .

Для исследования было выбрано МУП «Тамбовтеплосервис». Основным видом деятельности компании является обеспечение работоспособности котельных, также МУП «Тамбовтеплосервис» работает еще по 21 направлению. Целью исследования является, подготовка маршрута инспекционной поездки руководителя на 65 подведомственных районных котельных, расположенных в разных частях города Тамбова. Минимальное расстояние между посещаемыми объектами легко определить по карте города Тамбова, и отразить с помощью графа. Например, узел A – это здание с офисом МУП, отсюда и начнется объезд, а соответствующие котельные можно отметить узлами B , C и т.д. Рядом с дугами можно проставить расстояния между узлами в километрах [1].

Необходимо выбрать самый экономный маршрут, соответствующий минимальному общему пробегу автомобиля.

Чтобы решить поставленную задачу, нужно пометить дуги логическими переменными $X_1, X_2, \dots, X_{65}$, которые должны принимать значение 1, если помеченная дуга входит в оптимальный маршрут, и значение 0, если дуга исключается из этого маршрута. Целевую функцию, минимум которой нужно определить, найдем, суммируя соответствующие произведения

$$Z = a \cdot X_1 + b \cdot X_2 + c \cdot X_3 + \dots + z \cdot X_{65}.$$

Теперь запишем ограничения. Первая группа ограничений общепринята в задачах линейного программирования: все $X_1, \dots, X_{65}$ неотрицательные и целые. Все эти переменные должны быть меньше или равны единице ($X_1 \leq 1, X_2 \leq 1$ и т. д.), поскольку каждая из них может принимать только значение 1 или 0. Теперь группа более сложных ограничений, которые вытекают из понимания того, что требуется посетить каждый из обозначенных узлов. В простейшем случае, учитывая, что в каждый из узлов нужно въехать и выехать, получается, что сумма параметров X_i по подходящим к узлу дугам должна быть равна двум.

Таким образом, задача коммивояжера для инспекционной поездки по котельным, расположенным в городе Тамбове, сформулирована полностью.

Библиографический список

1. **Ляшков, В. И.** Методы оптимизации в теплоэнергетике и теплотехнологиях / В. И. Ляшков. – Тамбов : Тамб. гос. тех. ун-т. – 2012. – 82 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ИОНИЗАЦИЮ ПЛАМЕНИ

Тамбовский государственный технический университет

Вопрос увеличения степени ионизации пламени на сегодняшний день остается актуальной задачей. Рассматривались различные варианты решения данного вопроса. От повышения температуры пламени до введения в зону реакции легкоионизирующей присадки. Однако все эти варианты имели существенные недостатки, которые ограничивали их применение в промышленности.

Исследование ионизационных процессов в пламени и влияние на них электрических полей позволило нам еще на шаг приблизиться к решению задачи управления степенью ионизации пламени.

Рассмотрим движение электрона в пламени с позиции классического движения тела под действием силы, образуемой электрическим полем.

Для нахождения длительности импульсов нам необходимо определить время воздействия на электрон, находим его через ускорение и расстояние, которое должен проделать электрон:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot S}{a}}, \quad (1)$$

где S – расстояние, пройденной электроном, a – ускорение;

Так как ускорение неизвестно, выражаем ее через силу:

$$F = m \cdot a = E \cdot q, \quad (2)$$

где m – масса электрона, E – напряженность электрического поля, q – заряд электрона.

Получается, что ускорение можно найти как:

$$a = \frac{E \cdot q}{m}. \quad (3)$$

Заменяем ускорение в формуле 1 и получаем:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot S \cdot m}{E \cdot |q|}}. \quad (4)$$

Для проведения экспериментов по повышению степени ионизации проведем предварительные расчеты исходных параметров.

Напряжение выбираем в пределах возможности экспериментальной установки от 1 кВ/см до 10 кВ/см. Расстояние между электродами 40 мм.

При этом энергия электрона, в случае прохождения без столкновений, будет повышаться до 40 000 эВ. Что вполне достаточно для ионизации нейтральной компоненты пламени.

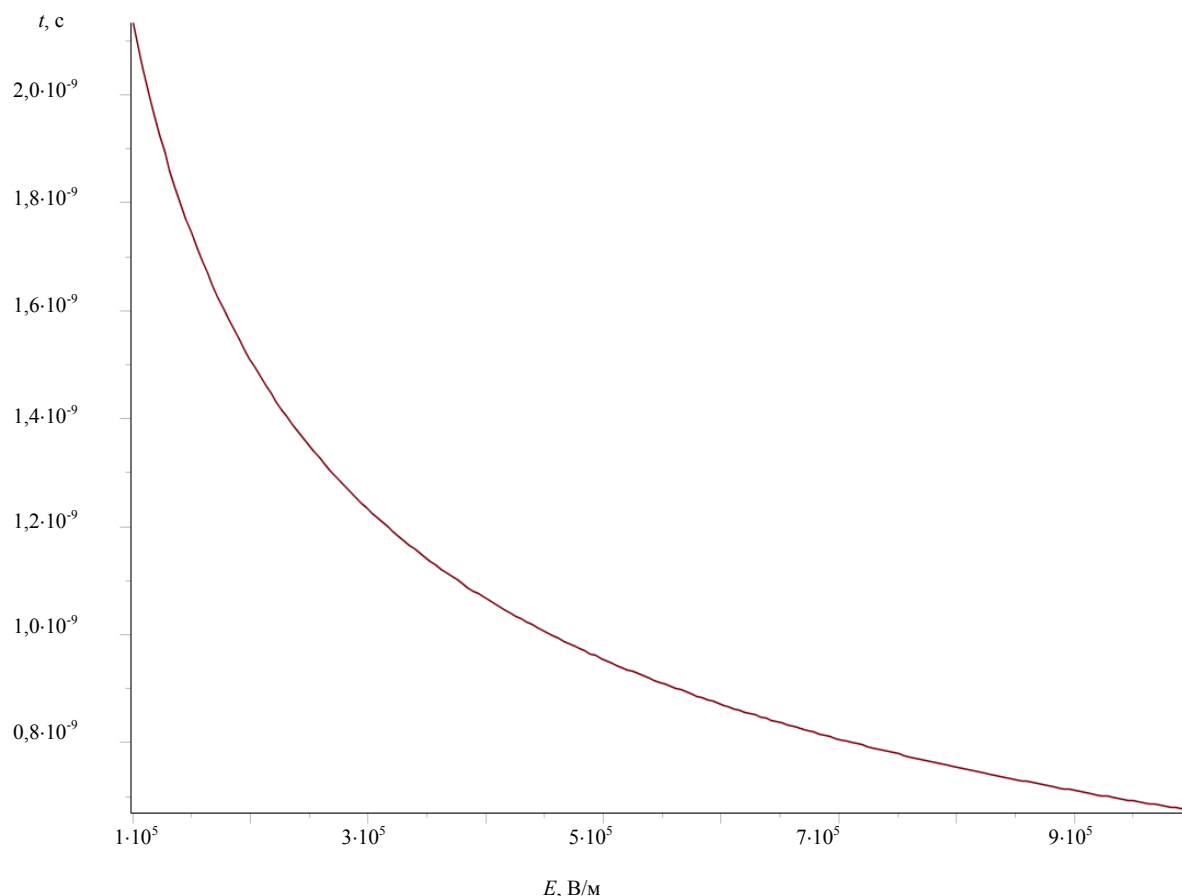


Рис. 1. Зависимость времени прохождения межэлектродного пространства от напряженности электрического поля

Рассмотренный случай не учитывает столкновение электронов с атомами и ионами пламени. При этом расчет показывает, какой длительностью может обладать импульс электрического поля, чтобы вызвать ионизационные процессы в пламени без образования дугового разряда.

Библиографический список

1. **Степанов, К. М.** Ионизация в пламени и электрическое поле / Е. М. Степанов, Б. Г. Дьячков. – М. : Изд-во «Металлургия», 1968. – 311 с.
2. **Белоедова, И. П.** Расчет электрических полей устройств высокого напряжения: учебное пособие для вузов / И. П. Белоедова, Ю. В. Елисеев, Е. С. Колечицкий и др. ; под ред. Е. С. Колечицкого. – М. : Издательский дом МЭИ, 2016. – 172 с.

ПРОБЛЕМЫ УЧЕТА И РЕГИСТРАЦИИ ПОТРЕБЛЯЕМЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ АБОНЕНТОВ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ

Липецкий государственный технический университет

Для широкого круга потребителей (абонентов) и управляющих компаний все более актуальным становится учет, контроль и регулирование параметров ресурсоснабжения многоквартирных домов (МКД).

В Российской Федерации в настоящее время действуют две методики учета потребления ресурсов: нормативная и приборная. Как показывает практика, ни одна из указанных методик не обеспечивает объективное определение объемов потребления материальных и энергетических ресурсов.

Нормативный метод учета субъективен по определению. Его показатели учитывают «предполагаемые объемы потребления», и он приемлем только для оценки перспектив или при проектировании объектов. Один из самых главных параметров, влияющих на количество потребления энергоресурсов, – уклад жизни потребителя, который сугубо индивидуален. Кто-то потребляет меньше среднего, кто-то намного больше, вследствие чего достоверный баланс потребления ресурсов в МКД свести сложно, а, порой, невозможно. Это не выгодно ни потребителям, ни поставщикам.

Очевидно, что объективный учет возможен только при установке и использовании счетчиков количества ресурсов у всех потребителей энергоресурса. Однако часто случается, что у абонентов квартирные счетчики отсутствуют, и потребители коммунальных ресурсов платят по нормативу потребления. Это происходит потому, что во-первых, согласно Федеральному закону № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и Федеральному закону № 190 «О теплоснабжении» обязанность по установке приборов учета лежит на плечах потребителей. Во-вторых, существует ряд технических проблем, не позволяющих установить прибор учета, вследствие непродуманных архитектурных решений жилых зданий и инженерных систем жизнеобеспечения, например, учет теплоты в системах отопления МКД с вертикальной разводкой.

Следует отметить, что даже при установленных счетчиках существует риск возникновения значительного небаланса между потребителем и поставщиком. Энергоснабжающая компания, зачастую, не имеет доступ к данным индивидуального прибора учета, а потребитель заинтересован в занижении показателей. Как показывает практика, выявить, в какой квартире происходит несанкционированный отбор воды, теплоты, электроэнергии порой очень сложно. При этом расхождения в балансе потребления абонентов энергоснабжающие организации или управляющие компании покрывают за счет жильцов, распределяя небаланс исходя из метража квартиры.

Из изложенного следует, что система регистрации и учета потребления энергетических и материальных ресурсов в МКД Российской Федерации несовершенна и требует создания для всех заинтересованных сторон единой методики учета. Эта методика

должна быть понятной и для потребителя, и для ресурсоснабжающей организации, и для управляющей компании. Она должна позволять просто и достаточно быстро оценить потребление воды, теплоты, электроэнергии, газа и т.д. Эта же задача была поставлена Президиумом Совета законодателей Российской Федерации 24 апреля 2017 года.

Для решения этой задачи необходимо:

1. В процессе нового проектирования и реконструкции МКД предусматривать новые архитектурные решения, новые технические решения инженерных систем.
2. В эксплуатируемых зданиях определение и баланс потребления осуществлять на основе общедомовых водомеров, теплосчетчиков, электросчетчиков и т.д.
3. Необходимо разработать и внедрить принципиально новую методику учета потребления ресурсов для МКД.

Библиографический список

1. **Об энергосбережении** и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ.
2. **О теплоснабжении** : федер. закон от 27.07.2010 № 190-ФЗ.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента В. А. Стерлигова*

В. А. Волков, Н. Э. Суркова, О. А. Овсянников

ПОЛИМЕРНЫЕ ПОКРЫТИЯ С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫМИ И ОГНЕСТОЙКИМИ СВОЙСТВАМИ

Тамбовский государственный технический университет

Эксплуатирующиеся в условиях воздействия высоких значений температуры, перегретого пара полимерные покрытия различных поверхностей изделий должны обладать теплоизоляционными и огнезащитными свойствами.

Наиболее эффективным средством тепловой защиты в условиях теплового воздействия в экстремальных условиях является использование вспучивающихся огнезащитных материалов.

Для обеспечения работ полимерных покрытий как теплоизоляционных в состав включают термостойкие стеклянные или базальтовые волокна, полые микросферы (стеклянные, керамические, полимерные). Полые микросферы являются одним из важнейших наполнителей, применяемых в производстве пластмасс. Сферическая форма, контролируемые размеры и низкая плотность делают их часто незаменимыми. Традиционно они имеют размер от 25 мкм до 50 мм и плотность от 100 до 700 кг/м³. В ряде случаев использование смесей полых микросфер (стеклянных, керамических, полимерных, зольных), одинаковых или разных, но с различными размерами в интервале от 10 до 500 мкм и различной насыпной плотностью в интервале от 650 до 50 кг/м³ по-

зволяет значительно повысить эффективность защиты поверхности обрабатываемых материалов от коррозии, теплоизоляции.

Полые микросферы из стекла, керамики, полимеров главным образом получают путем введения порообразователя в основной материал, последующего их измельчения и нагревания для вспенивания порообразователя.

Интумесцентная технология защиты изделий от воздействия пламени появилась сравнительно недавно и заключается в комбинации коксообразования и вспучивания защитного покрытия под воздействием высоких температур. Образующийся вспененный ячеистый коксовый слой предохраняет окрашенную поверхность от воздействия теплового потока или пламени.

Известна композиция, которая в качестве полимерного связующего содержит как известные латексы на основе (со)полимеров акрилата, стирола, винилацетата, бутадиен-стирольного сополимера, полиуретана, поливинилхлорида (полихлорвиниловый полимер), содержащие воду и поверхностно-активные вещества, а также различные другие целевые добавки, такие как пигменты белые и красящие, ингибиторы коррозии, преобразователи ржавчины, антипирены и др. [1].

Способ получения теплоизоляционного и огнестойкого многослойного комбинированного полимерного покрытия включает последовательное нанесение на предварительно нагретую поверхность покрывных слоев. Сначала наносят жидкокерамическое покрытие из полимерной композиции, содержащей связующее, смесь полых микросфер, различающихся между собой размерами в диапазоне от 10 до 500 мкм и насыпной плотностью от 650 до 50 кг/м³ и вспомогательные целевые добавки. Затем на полученное покрытие при необходимости наносят один или несколько слоев из стеклохолста и далее наносят один или несколько слоев полимерной вспучивающейся огнестойкой композиции с добавками, обеспечивающими получение вспучивающегося покрытия. Далее осуществляют окончательную сушку покрытия [1].

Низкая теплопроводность покрытия, нанесенного на металлические основания, позволяет использовать метод и измерительную систему, разработанные в Тамбовском государственном техническом университете, для неразрушающего контроля качества слоев объекта [2, 3].

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, проф. Н. Ф. Майниковой*

Библиографический список

1. Патент RU № 2352601 от 22.05.2007.
2. Жуков, Н. П. Измерительно-вычислительная система неразрушающего контроля теплофизических свойств / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова // Приборы и техника эксперимента. – 2005. – № 4. – С. 164 – 166.
3. Майникова, Н. Ф. Моделирование теплопереноса применительно к неразрушающему контролю двухслойных объектов / Н. Ф. Майникова, В. Д. Попов, Д. В. Трифонов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы второй международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 150 – 154.

УЧЕТ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Липецкий государственный технический университет

На предприятиях нефтехимии, металлургии, строительной индустрии и других в большом количестве потребляется горячая вода, как на коммунальные, так и на технологические нужды. При составлении баланса энергоресурсов на предприятиях сталкиваются с тем, что не все потребляемые ресурсы учитываются достаточно точно и появляются небалансы. Это происходит не только из-за того, что приборы учета устанавливаются в условиях, в которых повышается погрешность измерения, но и из-за того, что применяются различные типы приборов с различным классом точности. Поэтому для более точного учета и контроля за расходами горячей воды на производстве важен грамотный подбор счетчика, который будет иметь наибольшую точность измерений в условиях его эксплуатации на данном производстве.

Для выбора более подходящего прибора в табл. 1 приведены технические параметры счетчиков. На основании данных проведен сравнительный анализ и сделаны выводы о целесообразности использования того или иного прибора, в зависимости от погрешности.

Данные, приведенные в таблице, показывают, что погрешность измерений ультразвукового счетчика достигает порядка 0,15%, что значительно меньше, чем у других представленных счетчиков. Разница погрешностей более чем в 3 и более раза довольно значительна. Также ультразвуковой счетчик может использоваться для измерения расхода воды любого качества и температуры, так как сам счетчик не контактирует жидкостью. Турбинный счетчик ставят для измерения только чистой воды, так как кислотная или загрязненная среда может повредить детали прибора. Погрешность индукционного и электромагнитного счетчика не зависит от качества воды, хотя на точность измерений последнего счетчика будут влиять пузырьки и различие скоростей в потоке жидкости.

Для установки турбинного счетчика необходимы протяженные прямолинейные участки, так как составной его частью являются выпрямители потока жидкости, что не

1. Технические характеристики счетчиков

Счетчики	Погрешность измерений, %	Качество воды
Ультразвуковой счетчик	0,15	Не зависит от качества воды
Турбинный счетчик	0,5	Только чистая вода
Электромагнитный счетчик	0,7	На точность влияют пузырьки, различная скорость
Индукционный счетчик	1,5	Не зависит от качества воды

всегда представляется возможным. Также у таких счетчиков нет автономной системы, диагностирующей качество измерений.

Ультразвуковой счетчик удобно использовать в сложных системах, где невозможно устанавливать прямолинейные участки большой протяженности.

В итоге можно заключить, что для точного учета потребления горячей воды и сведения балансов расхода воды на промышленных предприятиях желательно иметь однотипные приборы учета. Ультразвуковые счетчики не только по точности измерений превосходят все приведенные в таблице расходомеры, но и являются более точными в измерениях, универсальными в эксплуатации. Ультразвуковые счетчики дают наиболее точную информацию о расходах горячей воды, потребляемой промышленными объектами.

Библиографический список

1. Рудне, С. С. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередач / С. С. Руднев, Л. Г. Подвиза. – М. : Машиностроение, 1974.
2. Биргер Г. И. Ультразвуковые расходомеры / Г. И. Биргер, Н. И. Бражников. – М. : Металлургия, 1964. – 382 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доц. В. А. Стерлигова*

А. Н. Грибков, Е. С. Полякова

КОГНИТИВНО-ГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЛАСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Тамбовский государственный технический университет

Одной из основных тенденций, характеризующих современный уровень развития промышленности, является внедрение «умных» систем, основанных на последних достижениях в области информационно-коммуникационных технологий и методов искусственного интеллекта. На практике широкое применение находят интеллектуальные информационно-управляющие системы (ИУС), обеспечивающие решение задач оптимального управления (ЗОУ) сложными объектами.

Одним из наиболее важных этапов разработки ИУС является создание алгоритмов синтеза управляющих воздействий, которые, как правило, основываются на результатах полного анализа ЗОУ. Анализ ЗОУ позволяет не только получить аналитические условия существования решения задачи, но и определить возможные виды и значения параметров функций оптимального энергосберегающего управления.

Очень эффективным подходом, обеспечивающим оперативное получение результатов полного анализа ЗОУ, является методика, основанная на совместном применении

принципа максимума Понтрягина, метода синтезирующих переменных и когнитивной графики [1].

При помощи принципа максимума Понтрягина определяются возможные виды функций энергосберегающего управления. Метод синтезирующих переменных используется для получения условий существования решения ЗОУ и соотношений для расчета параметров функций оптимального управления. Методы когнитивной графики позволяют получить визуальное изображение области существования решения ЗОУ в виде когнитивно-графической модели.

Особенно актуальна данная методика для анализа ЗОУ при наличии случайных возмущений, т.к. влияние возмущающих воздействий может привести не только к неопределенности в результатах полного анализа, но и к неточной реализации управляющих воздействий, что может негативно сказаться на возможности достижения установленной цели управления.

Когнитивно-графическая модель области существования решения ЗОУ при наличии случайных возмущений позволяет определить области гарантированного и возможного существования решения, что обеспечивает принятие решения о виде алгоритма синтеза управляющих воздействий с учетом возможных рисков недостижения цели управления.

В качестве примера можно привести модель области существования решения ЗОУ для объекта, описываемого моделью двойного апериодического звена (рис. 1) [2].

Рассмотренный подход нашел успешное применение при разработке информационно-управляющих систем энергоемкими теплотехнологическими аппаратами.

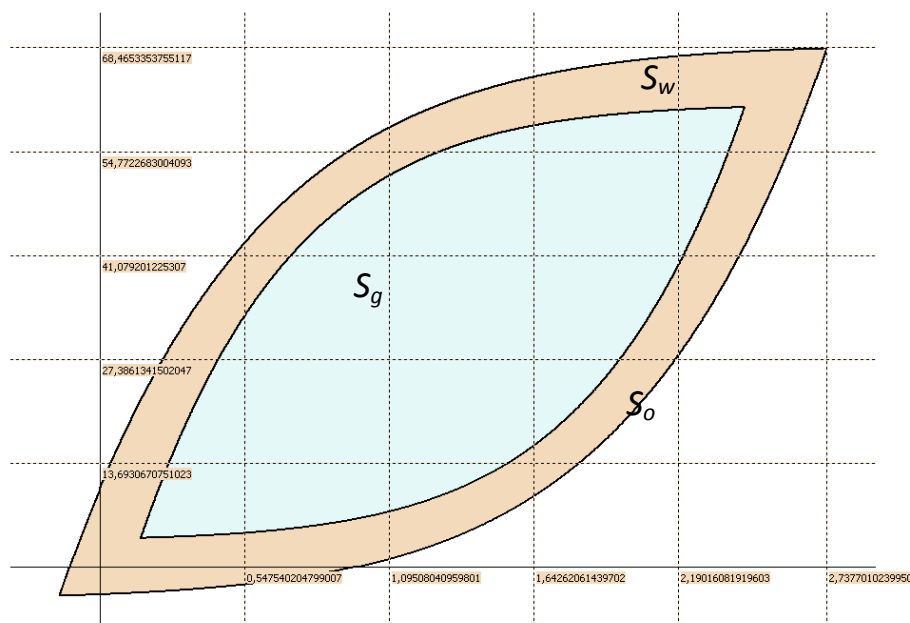


Рис. 1. Область существования решения ЗОУ:

S_g , S_w – области гарантированного и возможного существования решения ЗОУ; S_o – область, в которой решения ЗОУ не существует

Библиографический список

1. **Муромцев, Ю. Л.** Метод синтезирующих переменных при оптимальном управлении линейными объектами / Ю. Л. Муромцев, Л. Н. Ляпин, Е. В. Сатина // Приборостроение: Изв. вузов. – 1993. – № 11-12. – С. 19 – 25.

2. **Грибков, А. Н.** Программный модуль построения области существования решения задачи оптимального управления при наличии случайных возмущений / А. Н. Грибков, И. В. Белолипецкий // Актуальные проблемы вузовской науки: теоретические и практические аспекты : мат-лы III Всерос. науч. практ. конф. – Тамбов : Издательский дом ТГУ им. Г. Р. Державина, 2010. – С. 119 – 122.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 18-08-00555-а.

Р. О. Дементьев, Д. В. Калашников, Р. А. Токарев

ЗАДАЧИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Тамбовский государственный технический университет

Как показывает практика, в настоящее время, применение систем энергосберегающего управления (СЭУ) технологическими объектами позволяет существенно снизить затраты на потребление энергоресурсов и тем самым значительно повысить качество выпускаемой продукции. Разработка таких систем представляет собой сложную научно-техническую задачу, поскольку в процессе разработки алгоритмического обеспечения СЭУ требуется достаточно сложный математический аппарат.

В настоящее время сформулировано большое число постановок задач оптимального управления (ЗОУ), учитывающих затраты энергии, расход топлива.

Простейшую задачу энергосберегающего управления в общем виде можно сформулировать следующим образом [2].

Задаются: модель динамики объекта, например, система линейных дифференциальных уравнений (ЛДУ), условия и ограничения на изменение фазовых координат, а так же минимизируемый функционал.

При рассмотрении энергосберегающего управления динамическими многомерными тепловыми объектами можно выделить следующие задачи управления [3]:

1. Задачи, в которых интервал времени управления не фиксируется, а время задается в виде интервального значения .

2. Задачи на управление с интегральным ограничением. В данном случае необходимо, как условие, ввести допустимый лимит использования ресурсов : электроэнергия или топливо.

3. Задачи энергосберегающего управления многомерными тепловыми объектами с комбинированными функционалами.

4. Задачи с дополнительными ограничениями на траектории изменения фазовых координат.

Выделяют два класса ЗОУ по способу реализации рассчитываемого оптимального управления: задачи определения оптимальной программы изменения оптимального

управления и задачи по определению синтезирующей функции для систем управления с обратной связью.

Одним из основных и весомым сдерживающим фактором в реализации оптимального энергосберегающего управления динамическими процессами в многомерных тепловых объектах является отсутствие алгоритмов синтеза управляющих воздействий в реальном времени.

В существующих SCADA-системах и других программных средствах, используемых для проектирования систем автоматического управления и регулирования, предполагается стандартный набор алгоритмов: ПИ- и ПИД-регулирование, линейный квадратичный оптимальный регулятор, оптимальное быстроедействие, нечеткий регулятор и многие другие, в которых не учитываются характерные для энергосберегающего управления ограничения.

Необходимо отметить, что разработка нового алгоритмического обеспечения для систем управления является наиболее интеллектуальным и необходимым этапом проектирования.

Библиографический список

1. **Муромцев, Д. Ю.** Принципы построения алгоритмического обеспечения систем энергосберегающего управления многомерными технологическими объектами / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, А. О. Гаврилов // ММТТ. – 2017. – С. 19 – 21.
2. **Муромцев, Д. Ю.** Методика выбора алгоритма синтеза управляющих воздействий многомерным технологическим объектом на множестве состояний функционирования / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, В. Н. Шамкин // Информатика и системы управления. – 2017. – С. 109 – 118.
3. **Тюрин И. В.** Алгоритмическое обеспечение решения задач энергосберегающего управления / И. В. Тюрин, Р. А. Токарев, И. Ю. Кошелев // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. материалов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – С. 118 – 120.
4. **Чернышов, Н. Г.** Системы энергосберегающего управления динамическими объектами с удаленным доступом / Н. Г. Чернышов, П. А. Коломкин, М. С. Баранов, А. С. Рязанов // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах : сб. материалов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – С. 32 – 34.
5. **Чернышов, Н. Г.** Система энергосберегающего управления на базе современного микропроцессорного контроллера / Н. Г. Чернышов, А. С. Рязанов, П. А. Коломкин, Н. С. Баранов // Устойчивое развитие региона. – 2016. – С. 202 – 205.
6. **Тюрин, И. В.** Принципы энергосберегающего управления сложными динамическими объектами / И. В. Тюрин, М. С. Кузнецова // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах : сб. материалов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – С. 149 – 151.
7. **Тюрин, И. В.** Проектирование микропроцессорных систем энергосберегающего управления сложными технологическими аппаратами / И. В. Тюрин, М. С. Кузнецова // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах : сб. материалов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – С. 147–148.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доц. И. В. Тюрина*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ В ТЕПЛОВЫХ ОБЪЕКТАХ

Тамбовский государственный технический университет

Энергосберегающие мероприятия на предприятиях промышленного производства обеспечивают реализацию мер, направленных на уменьшение объема затраченных энергетических ресурсов при условии сохранения объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг [1].

В современном мире осуществление активной энергосберегающей политики рассматривается как одно из основных направлений повышения эффективности экономики. Топливо-энергетические ресурсы обладают реальной стоимостью и поэтому нуждаются в управлении.

Оптимальное управление энергосберегающими проектами на промышленных предприятиях осуществляется с помощью правильного выбора на этапах проектирования и реализации энергосберегающих мероприятий и энергоэффективных технологий, представляющих собой совокупность мер, методов, этапов и только последовательное осуществление которых обеспечивает решение поставленной задачи энергосбережения [5].

Эффективность управления энергосберегающими проектами в промышленности оценивается по технико-экономическим и социально-экономическим показателям. В свою очередь социально-экономические показатели разделены на экономические и социально-экологические показатели.

Анализ показателей энергосбережения характеризует деятельность предприятия по реализации мероприятий, направленных на эффективное использование и экономное расходование топливо-энергетических ресурсов на всех стадиях жизненного цикла проекта.

Решение задач энергосбережения российскими предприятиями возможно лишь при реализации комплексного подхода к повышению энергоэффективности при производстве на сложных технологически многомерных объектах.

Таким образом, управление энергосбережением в промышленных проектах направлено на выбор энергосберегающих мероприятий и технологий с максимальными показателями эффективности для достижения заданных целевых показателей при ограничениях в ресурсах. При этом показатель эффективности процессов управления необходимо рассчитывать с учетом его технико-экономической и социально-экологической составляющей в условиях неопределенности процессов проекта и внешней среды. Существует алгоритм анализа и оценки показателей эффективности, который имеет практическое значение, так как может быть использован для осуществления анализа и повышения эффективности процессов управления энергосберегающими проектами в промышленности.

Библиографический список

1. **Тюрин, И. В.** Алгоритмическое обеспечение решения задач энергосберегающего управления / И. В. Тюрин, Р. А. Токарев, И. Ю. Кошелев // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. материалов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – С. 118 – 120.
2. **Муромцев, Д. Ю.** Методика выбора алгоритма синтеза управляющих воздействий многомерным технологическим объектом на множестве состояний функционирования / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, В. Н. Шамкин // Информатика и системы управления. – 2017. – С. 109 – 118.
3. **Муромцев, Д. Ю.** Принципы построения алгоритмического обеспечения систем энергосберегающего управления многомерными технологическими объектами / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, А. О. Гаврилов // ММТТ. – 2017. – С. 19 – 21.
4. **Чернышов, Н. Г.** Системы энергосберегающего управления динамическими объектами с удаленным доступом / Н. Г. Чернышов, П. А. Коломкин, М. С. Баранов, А. С. Рязанов // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах : сб. материалов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – С. 32 – 34.
5. **Чернышов, Н. Г.** Система энергосберегающего управления на базе современного микропроцессорного контроллера / Н. Г. Чернышов, А. С. Рязанов, П. А. Коломкин, Н. С. Баранов // Устойчивое развитие региона. – 2016. – С. 202 – 205.
6. **Тюрин, И. В.** Принципы энергосберегающего управления сложными динамическими объектами / И. В. Тюрин, М. С. Кузнецова // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах : сб. материалов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – С. 149 – 151.
7. **Тюрин, И. В.** Проектирование микропроцессорных систем энергосберегающего управления сложными технологическими аппаратами / И. В. Тюрин, М. С. Кузнецова // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах : сб. материалов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – С. 147–148.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента И. В. Тюрина*

В. В. Еремин, Т. А. Истомина, В. А. Овсянникова

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ХЛОРСУЛЬФИРОВАННОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

Наиболее эффективным и экономически целесообразным способом защиты различных поверхностей и конструкций от разрушения под влиянием факторов окружающей среды является создание специальных защитных покрытий, в качестве основы для которых широко применяют хлорсульфированный полиэтилен. Хлорсульфированные полиолефины получили широкое распространение в качестве основы для покрытий благодаря комплексу свойств: сочетанию высокой химической стойкости, озоностойко-

сти, низкой газо- и паропроницаемости, низкой горючести с высокой эластичностью, которую они сохраняют и при отрицательных значениях температуры [1].

Сущность ряда огнезащитных вспенивающихся теплозащитных покрытий заключается в многократном увеличении толщины покрытия при нагреве, что значительно снижает температуру защищаемой поверхности за счет удаления от нее фронта теплового воздействия и снижения плотности и теплопроводности самого покрытия. Покрытие должно обеспечивать надежную защиту людей и оборудования в машинах от пожаров и стойкость строительных конструкций в течение 45 мин, которые согласно СНиП 2.01.02-85 «Противопожарные нормы» необходимы для ведения спасательных работ или эвакуации. Этим требованиям должны удовлетворять покрытия относительно небольшой толщины (до 3 мм), которые могут наноситься краскораспылителем или кистью на ранее окрашенную конструкцию, в том числе сложной формы, в полевых условиях.

Среди антикоррозионных и огнезащитных вспенивающихся теплоизоляционных покрытий, в качестве основы для которых широко применяют хлорсульфированный полиэтилен, стоит отметить составы, защищенные патентами Российской Федерации: RU 1682369 от 07.10.1991; RU 1799886 от 07.03.1993.; RU 2186813 от 20.01.2000.

Для защиты подвижных объектов, находящихся в зоне повышенной пожароопасности, следует использовать огнестойкие теплозащитные покрытия сложного состава. Улучшения теплозащитных свойств состава покрытия достигаются за счет использования терморасширяющего графита, хлористого метилена, бутилфенолформальдегидной смолы и полиметилсилазана в композиции с хлорсульфированным полиэтиленом и толуолом.

Отличительными признаками состава, представленного в работе [2], является совместное действие следующих компонентов: дициан-диамида, терморасширяющегося графита, окиси магния, окиси цинка, стеариновой кислоты и дифенилгуанидина, которые обеспечивают оптимальную прочность вспененного слоя.

Указанные отличительные признаки обеспечивают достижение поставленной цели, а именно – повышение надежности покрытия за счет улучшения теплозащитных и физико-механических свойств, обеспечивающих снижение нагрева поверхности защищаемого объекта при воздействии повышенных значений температуры в условиях сильного перемещения воздушных масс и вибрации, что часто характеризует условия эксплуатации теплоэнергетического оборудования.

Покрытие из предлагаемого состава обладает хорошей адгезией к металлической поверхности и высокими механическими характеристиками. Покрытие обладает эффектом многократного увеличения толщины при нагреве, что значительно снижает температуру защищаемой поверхности за счет удаления от нее фронта теплового воздействия.

Отличительными признаками состава является совместное действие компонентов, которые обеспечивают наилучшие теплозащитные свойства, особенно в случае, когда большая часть суммарной плотности теплового потока приходится на лучистую составляющую.

Библиографический список

1. **Модификация структуры** и свойств хлорсульфированного полиэтилена / А. И. Сакина, В. А. Костенко, Н. К. Калинина, В. С. Осипчик, Т. П. Кравченко // *Успехи в химии и химической технологии*. – 2014. – Т. 28, № 3. – С. 71 – 73.
2. **Патент** RU № 2186813 от 20.01.2000.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, проф. Н. Ф. Майниковой*

В. В. Еремин, Т. А. Истомина, В. А. Овсянникова

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ПОКРЫТИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Тамбовский государственный технический университет

Высококачественное антикоррозионное покрытие для ряда применений имеет первостепенное значение. Например, при решении задачи теплоизоляции трубопроводов теплового и водяного снабжения крайне важно обеспечить стойкую защиту труб от внешней коррозии, поскольку именно она является главным фактором, ограничивающим время их эксплуатации. Столь же большое значение имеют такие покрытия и для защиты любых строительных конструкций, сделанных из металла, дерева, пластика, от вредных воздействий солнечного света, атмосферных осадков и т.п. В то же время задача сохранения тепла в жилищном и промышленном строительстве, безусловно, является одной из первостепенных, и на ее решение выделяются огромные ресурсы. Для решения как первой, так и второй задач современные технологии предлагают большой спектр решений. К изоляционным материалам, активно предлагаемым в настоящее время помимо хорошо известных минеральных и базальтовых ват, активно используются различные вспененные полимерные материалы, такие как вспененный полистирол, полиэтилен, полиуретан, полипропилен и т.п. В качестве материалов для антикоррозионной защиты предлагаются различные покрасочные материалы (водные дисперсии, лакокрасочные материалы на органических растворителях), а также покрытие металлических поверхностей металлами, стойкими к коррозии, например, электролитическое оцинковывание. Материалов, которые бы обладали совместным эффектом защиты поверхностей от коррозии и при этом способствовали бы сохранению тепла и обладали высокими огнезащитными свойствами, в настоящее время практически не существует.

Наиболее эффективным средством тепловой защиты в условиях теплового воздействия в экстремальных условиях является использование вспучивающихся огнезащитных материалов. Интумесцентная технология защиты изделий от воздействия пламени появилась сравнительно недавно и заключается в комбинации коксообразования и вспучивания защитного покрытия под воздействием высокой температуры. Образующийся вспененный ячеистый коксовый слой предохраняет окрашенную поверхность от воздействия теплового потока или пламени.

Для обеспечения работы полимерных покрытий как теплоизоляционных в состав включают термостойкие стеклянные или базальтовые волокна, полые микросферы стеклянные, керамические, полимерные. Полые микросферы являются одним из важнейших наполнителей, применяемых в производстве пластмасс.

Способ получения теплоизоляционного и огнестойкого многослойного комбинированного полимерного покрытия включает последовательное нанесение на предварительно нагретую поверхность покрывных слоев. Сначала наносят жидкокерамическое покрытие из полимерной композиции, содержащей связующее, смесь полых микросфер и вспомогательные целевые добавки. Затем на полученное покрытие наносят один или несколько слоев полимерной вспучивающейся огнестойкой композиции с добавками, обеспечивающими получение вспучивания [1].

Качество комплексного покрытия, нанесенного на металлические основания, возможно исследовать с применением метода и измерительной системы, разработанных в Тамбовском государственном техническом университете [2, 3].

Библиографический список

1. Патент RU № 2352601 от 22.05.2007.
2. Жуков, Н. П. Измерительно-вычислительная система неразрушающего контроля теплофизических свойств / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова // Приборы и техника эксперимента. – 2005. – № 4. – С. 164 – 166.
3. Майникова, Н. Ф. Метод определения теплопроводности покрытий по упрощенной модели / Н. Ф. Майникова, А. Ю. Ярмизина // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : сб. материалов 3-й Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 60 – 64.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, проф. Н. Ф. Майниковой*

Н. Ю. Залукаева

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ БИОТОПЛИВА

Тамбовский государственный технический университет

Топливные гранулы (пеллеты) – это альтернативный источник тепловой энергии, который получают из отходов лесопромышленности, сельскохозяйственной и бытовой деятельности.

По сравнению с традиционными видами топлива пеллеты имеют ряд важных преимуществ:

- конечная стоимость продукта меньше, чем единица традиционного вида топлива, при хороших выходных данных по теплоте сгорания;
- экологичность, которая заключается в более низкой эмиссии углекислого газа, пониженной зольностью и практически полным отсутствием серы в выбросах;
- пеллеты производятся из отходов, поэтому не нарушают природный баланс.

1. Сравнительные характеристики различных видов топлива

Вид топлива	Теплота сгорания, МДж/кг	Содержание серы, %	Содержание золы, %
Каменный уголь	20	2	20
Гранулы из куриного помета	18	0,1	8
Природный газ	36	0,0	0
Гранулы из дерева	17,5	0,1	1
Гранулы из соломы	14,5	0,2	4

В частности, производство пеллет из подстилочного продукта птицефабрик способствует решению нескольких проблем: утилизация большого количества отходов жизнедеятельности птицы, получение экологически чистого биотоплива, как для частного использования, так и для крупных ТЭЦ, получение органического удобрения. Основные сравнительные характеристики различных видов топлива представлены в табл. 1 [1].

Несмотря на все преимущества данного вида топлива (высокая и постоянная насыпная плотность, однородная консистенция продукта, возможность автоматизации процесса загрузки и горения), существует проблема высокой стоимости доставки пеллет от производителя до покупателя. Транспортная составляющая в конечной цене продукта может достигать до 50%.

Решить данную проблему возможно за счет решения задачи оптимизации транспортной логистики при организации и осуществлении доставки топливных гранул по территории РФ. Задача транспортной логистики заключается в оптимальном планировании и осуществлении доставки в необходимом количестве, с сохранением качества, точно в срок и в конкретное указанное место, с соблюдением принципа минимизации издержек.

Решая задачу оптимизации необходимо учесть особенности груза (в данном случае его гигроскопичность, истираемость) для выбора наиболее соответствующего подвижного состава и средств упаковки.

Вопрос доставки точно в срок, в определенное место может быть решен путем составления графика поставки продукции, в котором необходимо учесть следующие параметры: скорость потребления партии топливных гранул; время на доставку; объемы производства; необходимость и объемы резервных запасов топлива. Доставка точно в срок и «от двери к двери», возможна только при использовании автомобильного транспорта, так как он является наиболее гибким и маневренным, особенно если дальность перевозки лежит в рамках его эффективного расстояния использования – до 700 км.

Построив четкую «логистическую цепочку» от процесса производства до процесса потребления и определив проблемные элементы, можно оптимизировать процесс доставки, снизив тем самым стоимость транспортировки.

Библиографический список

1. **Кубис, В. А.** Перспективы использования топливных пеллет / В. А. Кубис, О. А. Ушкина, П. В. Путьмаков // Проблемы энергосбережения в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах : тр. XVII Междунар. научно-практической конференции. – Пенза, 27–28 апреля 2016. – Пенза, 2016. – С. 163 – 167.
2. **Лебедев, Е. А.** Транспортная логистика при массовых перевозках технологических грузов / Е. А. Лебедев, К. В. Петруня // Прогрессивные технологии в транспортных системах : сб. док. IX Российской научно-практической конференции. Редколлегия: М. И. Филатов (отв. редактор). – 2009. – С. 223 – 226.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, проф. А. Н. Грибкова*

А. П. Илясов

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНА ПЛАМЕНИ В ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ ВЫСОКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ

Тамбовский государственный технический университет

Одним из путей повышения эффективности сжигания топлива является воздействие на пламя электрического поля высокой напряженности. В связи с этим рассматривались процессы воздействия импульсных электрических полей на энергию электронов.

В первом приближении не будем учитывать взаимодействия электронов с атомами и ионами, а также межэлектронное взаимодействие.

Определим зависимость кинетической энергии электронов (1) от напряженности электрического (2) и времени воздействия поля:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (1)$$

где E_k – кинетическая энергия; m – масса частицы; v – скорость частицы.

Известно, что сила, с которой действует энергия электрического поля, равна:

$$F = E_H \cdot q, \quad (2)$$

где E_H – напряженность электрического поля, q – заряд электрона.

Из выражения (1) выделяем скорость:

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}. \quad (3)$$

Для выделения скорости электрона из выражения (2) найдем силу по формуле:

$$F = \frac{m \cdot v}{t}. \quad (4)$$

1. Энергия электрического поля, рассчитанная при заданном напряжении и времени

$t = 5 \cdot 10^{-5}$				
$E_H, \text{В/м}$	100000	300000	700000	1 000000
$E_k, \text{Дж}$	$3,513 \cdot 10^{-7}$	$3,162 \cdot 10^{-6}$	$1,721 \cdot 10^{-5}$	$3,513 \cdot 10^{-5}$
$t = 1 \cdot 10^{-3}$				
$E_H, \text{В/м}$	100000	300000	700000	1 000000
$E_k, \text{Дж}$	0,00014	0,001	0,007	0,014

Объединяя выражения (2), (3) (4) получим следующее соотношение:

$$E_k = \frac{(E_H \cdot q)^2 \cdot t^2}{2 \cdot m} \quad (5)$$

Находим энергию электрического поля, действующую на электрон.

Напряжение выбрано в пределах от 100 000 до 1000 000 В/м.

Анализ данных показал, что для получения значений энергии электронов, способных ионизировать нейтральные компоненты пламени, достаточно времени воздействия поля меньше 10^{-6} с.

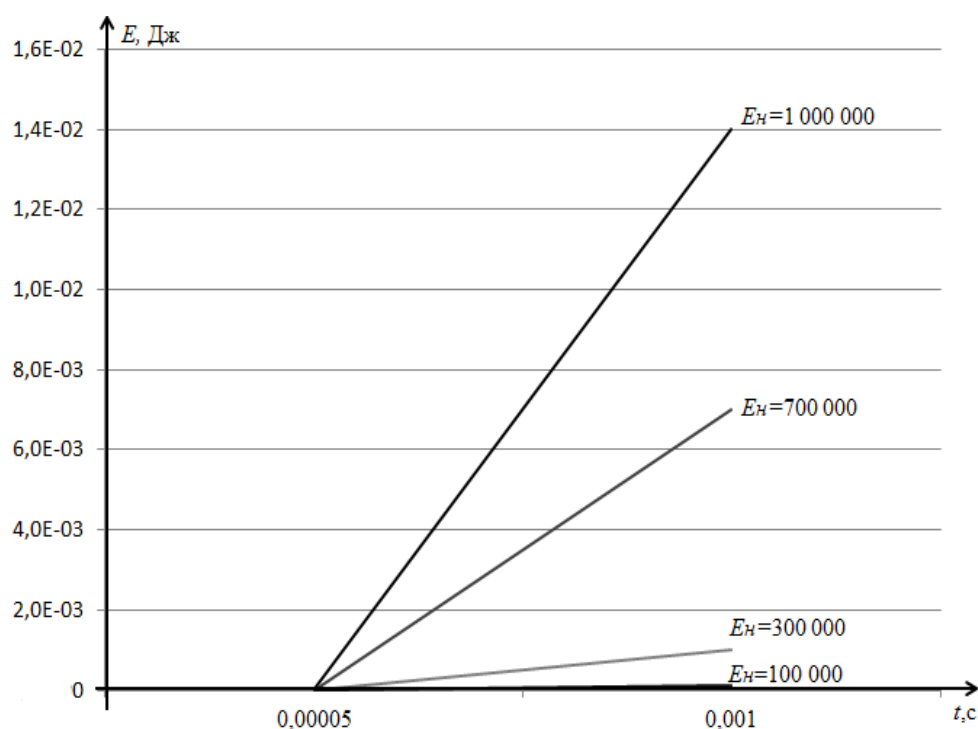


Рис 1. Зависимость времени от кинетической энергии для электрона под действием различного напряжения электрического поля

Библиографический список

1. **Степанов К. М.** Ионизация в пламени и электрическое поле / Е. М. Степанов, Б. Г. Дьячков. – М. : Изд-во «Металлургия», 1968. – 311 с.
2. **Мешкова, Э. А.** Исследование скорости электронов в пламени / Э. А. Мешкова, Д. С. Луцков, С. Н. Баршутин // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы V Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов ; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – С. 257 – 259.
3. **Курепина, Д. С.** Метод исследования электрических характеристик пламени / Д. С. Курепина, Д. С. Луцков, С. Н. Баршутин // Энергетическая безопасность : сборник научных статей II Международного молодежного конгресса. – Курск : Изд-во ЗАО «Университетская книга». – 2017. – С. 146–147.
4. **Мешкова, Э. А.** Исследование степени ионизации турбулентного потока пламени / Э. А. Мешкова, Д. С. Курепина, С. Н. Баршутин // Энергетическая безопасность : сборник научных статей II Международного молодежного конгресса. – Курск : Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2017. – С. 150–151.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доц. С. Н. Баршутина*

А. Ю. Кири́н, М. В. Анников, В. Я. Губарев

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Липецкий государственный технический университет

Стоимость электроэнергии сильно варьируется в зависимости от времени суток. Это связано с тем, что существует большая разность между ее потреблением в дневное и ночное время. Эффективность выработки может быть значительно улучшена за счет разработки недорогих и высокоэффективных систем резервирования энергии.

Основной задачей исследования является сравнение свойств различных систем резервирования энергии. Основными характеристиками являются время зарядки и разрядки, производительность накопителя, стоимость, габариты и КПД.

В качестве систем резервирования были рассмотрены электрохимические батареи, суперконденсаторы, супермаховики, гидроаккумулирующие системы и системы со сжатым воздухом.

1. Системы со сжатым воздухом, накапливаемым с помощью компрессоров. Когда наступает момент, что потребление возрастает, запасенная энергия выделяется за счет расширения воздуха через турбину, соединенную с генератором.

2. В гидроаккумулирующих системах электроэнергия хранится в виде потенциальной энергии жидкости. Во время низкого потребления электроэнергии используется гидронасос для перекачки воды из резервуаров с низкой на более высокую геометриче-

скую отметку. Когда потребление электроэнергии возрастает, накопленная вода спускается через гидротурбину.

Обе системы, рассмотренные выше, быстро набирают высокую мощность и высокие ресурсные характеристики. Стоимость и сама возможность строительства определяется местностью. Также они плохо масштабируются на малые уровни мощности.

3. Супермаховик запасает энергию в виде кинетической энергии вращения. Во время разрядки запасенная энергия отпускается, позволяя генератору вырабатывать электроэнергию. Маховик рассчитан на максимально возможный момент инерции, чтобы быстро вращаться и максимизировать накопленную энергию. Супермаховики обычно используют для кратковременного хранения.

4. Электрические двухслойные конденсаторы или «суперконденсаторы». Они хранят заряды на границе между активированным углем и жидкостью электролита, а не между двумя пластинами, как это делают обычные конденсаторы. Из-за большого отношения площади поверхности к объему активированного угля, суперконденсаторы имеют большую удельную энергию.

5. Электрохимические аккумуляторы на сегодняшний момент являются самым распространенным способом хранения электроэнергии и широко используются в различных сферах. Аккумуляторы являются модульным, бесшумным и относительно дешевым устройством. Батарея состоит из двух ячеек, каждая из которых содержит металл и солевой раствор этого металла.

Результаты сравнительного анализа систем резервирования энергии представлены в табл. 1.

По итогам научной работы можно сделать следующие выводы:

1. Максимальный КПД (до 97 %) имеют системы кинетических накопителей энергии (супермаховики).
2. Наименьшую удельную стоимость приобретения (до 50 \$/кВт·ч) имеют системы со сжатым воздухом.
3. Наивысшую удельную энергоемкость (до 190 Вт·ч/кг) имеют электрохимические аккумуляторы.

1. Характеристики систем резервирования энергии

№	Системы резервирования энергии	КПД, %	Удел. стоимость приобретения, \$/кВт·ч	Удельная энергоемкость, Вт·ч/кг
1	Системы со сжатым воздухом	55 – 65	50 – 150	23,5
2	Гидроаккумулирующие системы	70 – 80	100 – 250	0,3
3	Супермаховики	85 – 97	500 – 2000	11
4	Суперконденсаторы	80 – 90	1000 – 4000	6 – 83
5	Электрохимические аккумуляторы	55 – 75	100 – 2500	45 – 260

Библиографический список

1. Шурыгин, Ю. А. К вопросу выравнивания графика нагрузки в пиковые часы электроэнергетической системы / Ю. А. Шурыгин. – Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2017. – С. 146 – 148.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, проф. В. Я. Губарева*

Г. Д. Колесников, О. Н. Попов

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНДЕНСАЦИОННЫХ КОТЛОВ В СИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Тамбовский государственный технический университет

Темпы роста строительства увеличиваются из года в год. Строится огромное количество жилых и общественных зданий. При этом большое количество зданий невозможно подключить к тепловым сетям по ряду причин: невозможность подключения дополнительной тепловой мощности, изношенность, а иногда и полным отсутствием сетей в районе застройки. В результате для теплоснабжения вновь строящихся зданий в большинстве случаев используются автономные источники теплоснабжения, к которым следует отнести как поквартирные системы отопления и горячего водоснабжения, так и домовые, включая многоквартирные здания с крышной или пристроенной автономной котельной.

В системах автономного теплоснабжения наиболее перспективной технологией считается конденсация водяных паров. По такому принципу работают конденсационные котлы. Конденсационный котел можно назвать одним из самых экономичных и высокоэффективных теплогенераторов. Его КПД на 10...15% выше, чем КПД традиционного газового котла, так как в нем используется не только явная теплота, но и часть скрытой теплоты конденсации водяных паров из продуктов сгорания, обеспечивая эксплуатационный КПД котла до 95...96% по высшей теплоте сгорания [1].

Принципиальная схема конденсационного котла показана на рис. 1. В состав конденсационных котлов входят следующие основные элементы: горелка, камера сгорания, вентилятор подачи воздуха, система подачи топлива, первичный теплообменник, конденсационный теплообменник. Для работы котла в режиме конденсации влаги из дымовых газов требуется поддерживать температуру дымовых газов на выходе ниже температуры точки росы. Если в процессе эксплуатации это условие не выполняется, то КПД конденсационного котла уменьшается, однако, будет несколько выше, чем для традиционного котла. Максимальный КПД конденсационного котла достигается при наиболее низкой температуре теплоносителя в обратном контуре отопительной системы. Однако, основным условием эффективной работы с системой отопления здания является достаточно большая инерционность системы.

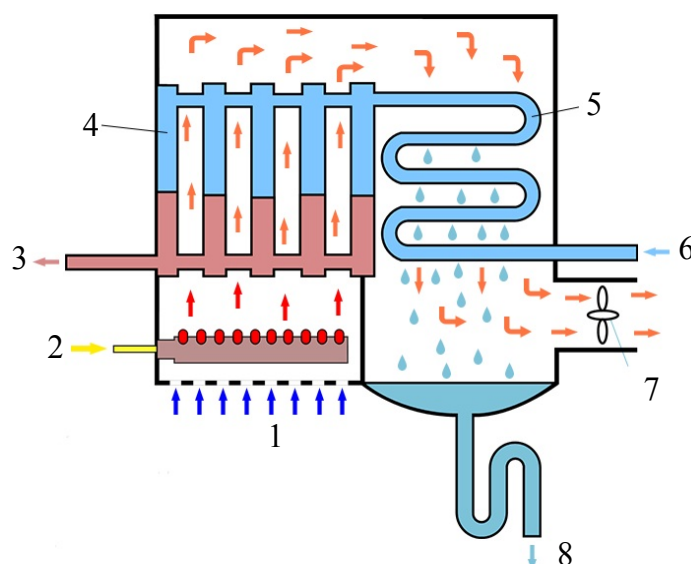


Рис. 1. Схема работы конденсационного котла [2]:

1 – горелочный воздух; 2 – подача газа; 3 – выход теплоносителя;
4 – первичный теплообменник; 5 – конденсационный теплообменник;
6 – подвод теплоносителя; 7 – дымосос; 8 – слив конденсата

К преимуществам конденсационных котлов можно отнести:

- высокая мощность при компактных размерах;
- экономичность;
- невысокий уровень вибраций и низкий уровень шума;
- выбросы тепловой энергии и вредных веществ в атмосферу сведены к минимуму;
- срок службы конденсационных котлов вдвое дольше по сравнению с обычными котлами.

Несмотря на столь внушительный список преимуществ у таких котлов есть ряд недостатков:

- потребность в герметичном дымоходе с принудительной вытяжкой;
- зависимость от электроэнергии;
- наибольшая эффективность конденсационного котла достигается в низкотемпературных отопительных системах;
- высокая стоимость.

В заключение следует отметить, что благодаря своим достоинствам и возможностям, вскоре конденсационные котлы будут так же популярны в России, как и в Европе, в которой это самый популярный тип теплогенераторов.

Библиографический список

1. **Econet.** – URL : [https://econet.ru/articles/124572-kondensatsionnye-kotly-v-avtonom-teplosnabzhenii](https://econet.ru/articles/124572-kondensatsionnye-kotly-v-avtonomnom-teplosnabzhenii)
2. **Котлы** для дома. – URL : <http://kotlydlyadoma.ru/navesnoj-odnokonturnyj-gazovyj-kotel.html>

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Тамбовский государственный технический университет

В последние годы резко возросло строительство зданий с индивидуальными системами теплоснабжения. Такие системы позволяют лучше адаптироваться к условиям потребления теплоты конкретного потребителя, а отсутствие внешних распределительных сетей практически исключает потери теплоты при транспорте теплоносителя.

Несмотря на все преимущества индивидуального теплоснабжения постоянный рост энергопотребления и повышение цен на энергоносители требуют поиска более совершенных и энергоэффективных решений. Наиболее перспективным направлением повышения эффективности систем индивидуального теплоснабжения является использование конденсационных котлов, а также комбинированных систем теплоснабжения, сочетающих традиционные и возобновляемые источники энергии.

Конденсационные котлы используют тепло конденсации водяных паров продуктов сгорания, что повышает эффективность использования топлива, снижает как абсолютное количество выбросов вредных веществ, так и удельное, что уменьшает вредное воздействие на окружающую среду. Однако использование скрытой теплоты водяного пара из продуктов сгорания является не самой простой технической задачей.

Подключения конденсационного котла к системе отопления можно осуществить по одной из трех схем подключения (рис. 1): прямое подключение к котлу; развязка через гидравлический разделитель; разделение системы через теплообменник [1].

Прямое подключение к котлу (рис. 1, а) осуществляется при непосредственном подключении одного контура системы отопления к котлу. Для компенсации теплового расширения теплоносителя в таких системах устанавливается расширительный бак.

Для стабильной и корректной работы установки и системы отопления необходимо отделить друг от друга контур котла и каждый из контуров системы отопления. Таким образом сделать независимыми производство и потребление тепла. Такую функцию выполняет гидравлический разделитель (рис. 1, б). При использовании гидравлического разделителя в многоконтурной системе устанавливают дополнительный циркуляционный насос в каждый контур отопления. Эти контуры могут быть как низкотемпературными, так и высокотемпературными. В некоторых случаях требуется применение трехходовых смесителей с сервоприводами, которыми должна управлять автоматика котла.

Подключение через теплообменник (рис. 1, в) используется для полного разделения контура котла и контура отопления. В некоторых случаях его рекомендуется применять для систем с контуром радиаторного и напольного отопления.

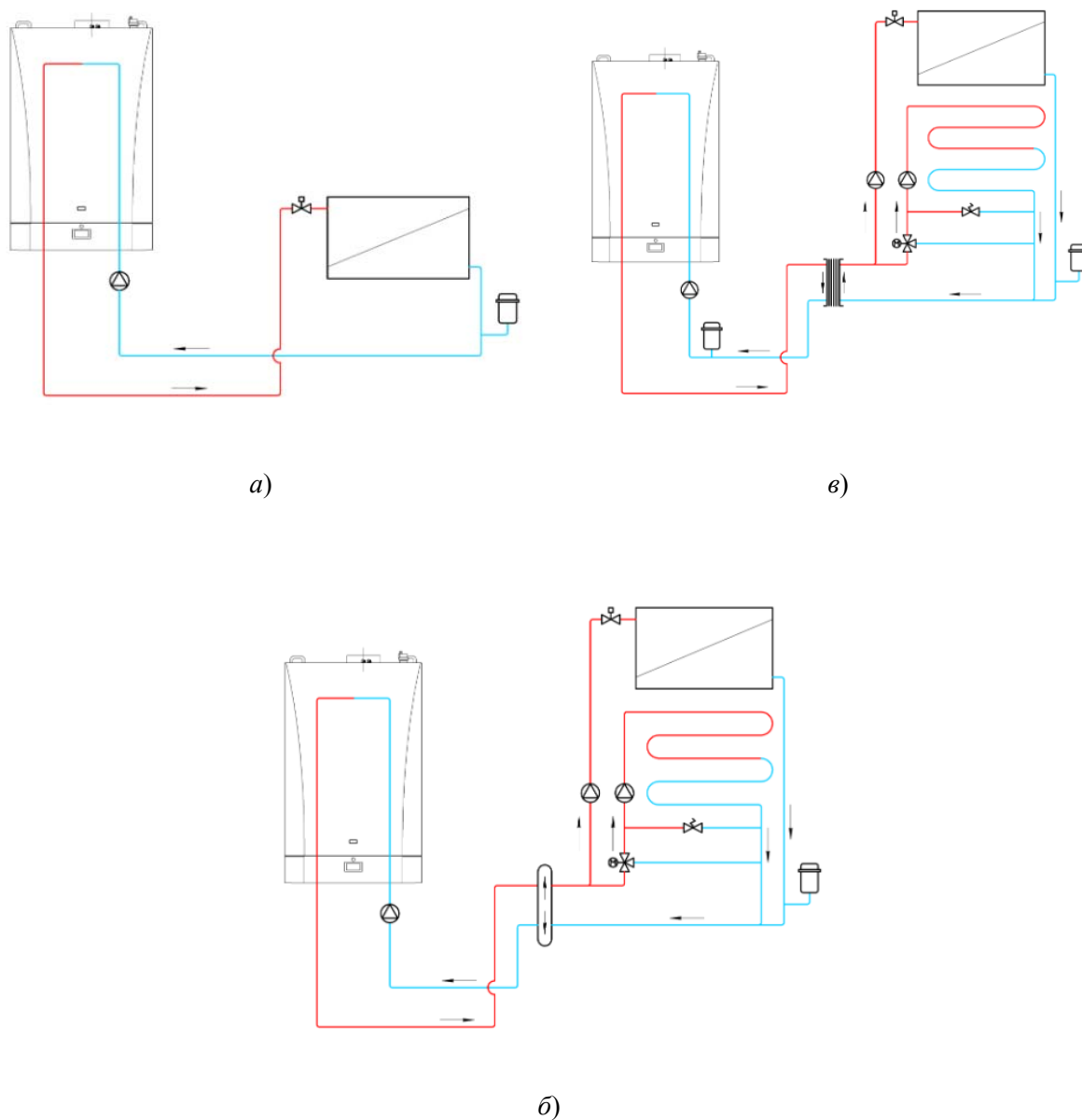


Рис. 1. Схемы подключения:

- а – прямое подключение;
 б – подключение через гидравлический разделитель;
 в – подключение через теплообменник

Сочетание в системах индивидуального теплоснабжения традиционных и возобновляемых источников энергии в нашей стране реализуется в основном в экспериментальных проектах. Так, достаточно часто используемое сочетание недорогих котлов с тепловыми насосами позволяет снизить срок окупаемости и повысить энергоэффективность применения тепловых насосов.

Библиографический список

1. **Технические решения** с конденсационными котлами BAXI. – URL : <https://docplayer.ru/37065016-Tehnicheskie-resheniya-s-kondensacionnymi-kotlami-baxi.html>

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНЫХ ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Тамбовский государственный технический университет

Использование тренажерных комплексов [1] при подготовке и аттестации персонала в здравоохранении, предприятиях теплоэнергетической, машиностроительной, транспортной, химической и других отраслей давно доказало свою эффективность. В рамках данной работы рассматривается предметная область теплоэнергетической отрасли, так как трудовая деятельность человека в ней связана с определенным риском для здоровья и жизни, неправильные действия сотрудников, особенно в аварийных и чрезвычайных ситуациях, могут нанести существенный экономический и экологический ущерб, а так же привести к человеческим жертвам. Поэтому актуальной задачей является разработка эффективных тренажерных комплексов, адаптированных под особенности данной отрасли и позволяющих повысить уровень сформированности профессиональных компетенций сотрудников теплоэнергетического предприятия.

Реализация адаптивного тренажерного комплекса (АТК) требует тщательного планирования и подготовки на этапе проектирования, так как допущенные на этом этапе ошибки приведут к существенным материальным и временным затратам на более поздних этапах. Для решения поставленной задачи предлагается структурная модель АТК, позволяющая формализовать основные элементы системы и их взаимодействие в рамках разрабатываемого комплекса [2].

На рисунке 1 представлена структурная схема, отражающая взаимосвязь между аппаратным, программным обеспечением и математической моделью АТК. Персонал теплоэнергетического предприятия проходит обучение на АТК через взаимодействие с программным и аппаратным обеспечением, функционирование которых подчиняется правилам и соотношениям математической модели технической системы.

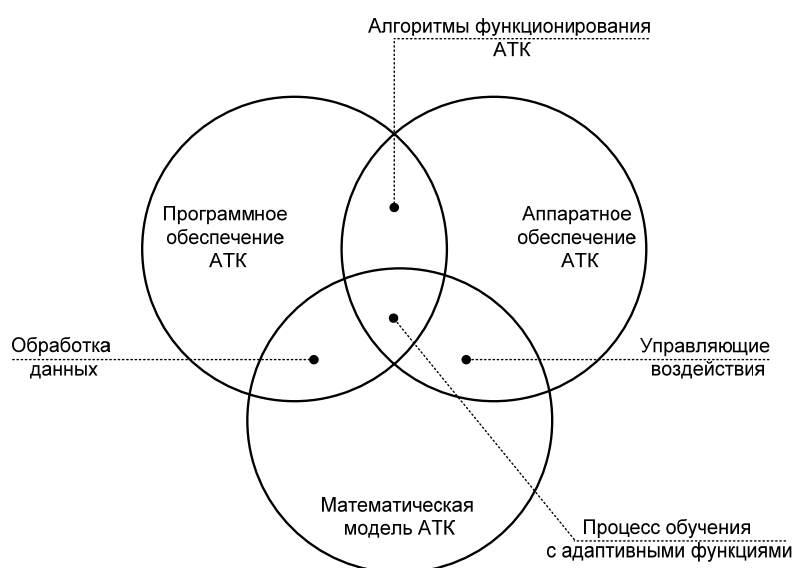


Рис. 1. Структурная схема АТК

Выделим основные компоненты АТК:

- программное обеспечение, включающее подсистемы визуализации, организации процесса обучения, передачи, хранения и обработки информации;
- аппаратное обеспечение, включающее датчики различного рода, а также средства отображения графической информации;
- математическая модель, используемая для формализации деятельности персонала и процессов, протекающих в технической системе, в штатных и аварийных режимах.

Таким образом, рассмотренная структурная модель АТК позволяет проанализировать и формализовать основные компоненты системы и связи между ними, что в дальнейшем позволит осуществить программную и аппаратную реализацию модулей АТК для эргатических систем профессионального назначения теплоэнергетической отрасли.

Библиографический список

1. **Краснянский, М. Н.** Разработка адаптивных тренажерных систем профессионального назначения для моделирования процесса распространения пожаров / М. Н. Краснянский, Д. Л. Дедов, А. Д. Обухов, А. Е. Архипов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2017. – № 3(65). – С. 149 – 155.
2. **Dedov, D. L.** Design and development of adaptive simulators using 3D modeling / D. L. Dedov, M. N. Krasnyanskiy, A. D. Obukhov, A. E. Arkhipov // International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – V. 12, № 20. – С. 10415 – 10422.

Д. С. Курепина, Э. А. Мешкова, Д. С. Луцков

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЛАМЕНИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Тамбовский государственный технический университет

В равновесном состоянии, когда распределение электронов соответствует максвелловскому распределению, кинетическая энергия электронов определяется по следующему соотношению:

$$E_k = \frac{s \cdot k \cdot T}{2}, \quad (1)$$

где s – число степеней свободы частицы (для электрона $s = 2$).

С другой стороны, кинетическая энергия может определяться по классической формуле:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}. \quad (2)$$

Тогда объединяя уравнения (1) и (2) скорость частицы может быть определена по следующему выражению:

$$v = \sqrt{\frac{s \cdot k \cdot T}{m}}. \quad (3)$$

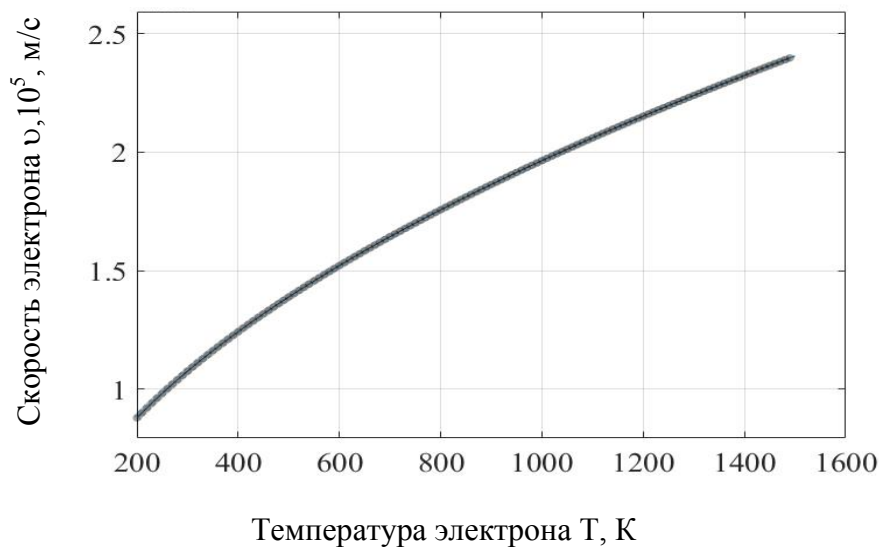


Рис. 1. График зависимости скорости электрона от температуры газовой среды

Таким образом, формула (3) позволяет определить среднюю скорость частиц в газе с температурой T и массой m .

Для определения скорости электрона в зависимости от температуры воспользуемся следующим соотношением (2). Количество значащих цифр выбираем с точностью, которую может вычислять математическая система MatLAB и maple. В нашем случае количество знаков определяется шестнадцатью значащими цифрами. Все расчеты выполнялись в среде MatLAB.

Как видно из рис. 1 в пределах температур от 200 до 1500 К скорость электрона варьируется от 87858,2 м/с до 240609,5 м/с. Как показывает практика, при таких скоростях движение электрона подчиняется классической теории движения тел и всю энергию электрона можно представить в виде кинетической энергии (2).

В случае движения электрона с релятивистской скоростью формула (2) приобретает следующий вид:

$$E_{kr} = \frac{m_e \cdot v^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right), \quad (4)$$

где c – скорость света в вакууме.

Тогда зависимость от температуры имеет следующий вид:

$$k \cdot T = \frac{m_e \cdot v^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right). \quad (5)$$

Решение уравнения (5) относительно скорости дает следующее соотношение:

$$v = \frac{1}{6} + \frac{4 \cdot \left(k \cdot T \left(2 \cdot T^2 \cdot k - 9 \cdot T \cdot c^2 \cdot k \cdot m_e + 3 \cdot c \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot T \cdot k \cdot (32 \cdot c^4 \cdot m_e^2 + 13 \cdot T \cdot c^2 \cdot k \cdot m_e + 4 \cdot T^2 \cdot k^2)}{m_e}} \cdot m_e \right) \right)^{\frac{1}{3}}}{m_e} + \frac{12\sqrt{2} \cdot k \cdot T \cdot (6 \cdot c^2 \cdot m_e + k \cdot T)}{m_e \cdot \left(k \cdot T \left(2 \cdot T^2 \cdot k - 9 \cdot T \cdot c^2 \cdot k \cdot m_e + 3 \cdot c \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot T \cdot k \cdot (32 \cdot c^4 \cdot m_e^2 + 13 \cdot T \cdot c^2 \cdot k \cdot m_e + 4 \cdot T^2 \cdot k^2)}{m_e}} \cdot m_e \right) \right)} - \frac{24 \cdot T \cdot k}{m_e}$$

Библиографический список

1. **Мешкова, Э. А.** Исследование скорости электронов в пламени / Э. А. Мешкова, Д. С. Луцков, С. Н. Баршутин // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы V Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов; ТГТУ. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – С. 257 – 259.
2. **Курепина, Д. С.** Метод исследования электрических характеристик пламени / Д. С. Курепина, Д. С. Луцков, С. Н. Баршутин // Энергетическая безопасность : сборник научных статей II Международного молодежного конгресса. – Курск : Изд-во ЗАО «Университетская книга». – 2017. – С. 146–147.
3. **Мешкова, Э. А.** Исследование степени ионизации турбулентного потока пламени / Э. А. Мешкова, Д. С. Курепина, С. Н. Баршутин // Энергетическая безопасность : сборник научных статей II Международного молодежного конгресса. – Курск : Изд-во ЗАО «Университетская книга». – 2017. – С. 150–151.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доц. С. Н. Баршутина*

Д. С. Луцков, Э. А. Мешкова, Д. С. Курепина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ РАСSEИВАНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ПЛАМЕНИ

Тамбовский государственный технический университет

При моделировании процессов ионизации немаловажную роль играет процесс взаимодействия электронов с нейтральными частицами. Само взаимодействие включает дифференциальным сечением электрона на этот компонент.

Взаимодействие этих двух компонентов описывается формулой дифференциального сечения рассеивания электронов на определенном компоненте (1), которая позволяет

оценить сечения рассеивания и определить ее зависимость от следующих параметров: угол рассеивания, скорость, масса и заряд электрона. Проанализировав воздействие входных данных было выяснено, что наибольшее воздействие оказывают скорость электрона и угол его рассеивания

$$d\sigma_{ej}(\nu, \chi) = \frac{z_e^4 \cdot \pi \cdot \sin(\chi)}{2 \cdot m_e^2 \cdot \nu^4 \cdot \left(\sin\left(\frac{\chi}{2}\right) \right)^4} d\chi. \quad (1)$$

Далее рассмотрим зависимость скорости от температуры. В заданном диапазоне температур от 300 К до 1500 К и углах рассеивания в диапазоне 0,000007 до 0,00001 радиан прослеживаем зависимость дифференциального сечения рассеивания от этих параметров. Диапазоны были выбраны исходя из реальных значений для данного типа физических процессов, в нашем случае это процессы горения пламени.

Как видно из графика рис. 1 воздействие угла рассеивания осуществляется намного интенсивнее, чем изменение температуры. Для более точного рассмотрения, изучим отдельно графики зависимости сечения рассеивания от температуры и от угла рассеивания. В данном случае, ось сечения представим в логарифмическом виде.

В системе Matlab построим графики зависимости дифференциального сечения рассеивания от угла рассеивания при установленных температурах 300 К, 900 К и 1500 К.

Анализ результатов расчета показал большую зависимость дифференциального сечения рассеивания от угла рассеивания. Так, при увеличении угла в десять раз сечение рассеивания уменьшается в тысячу раз.

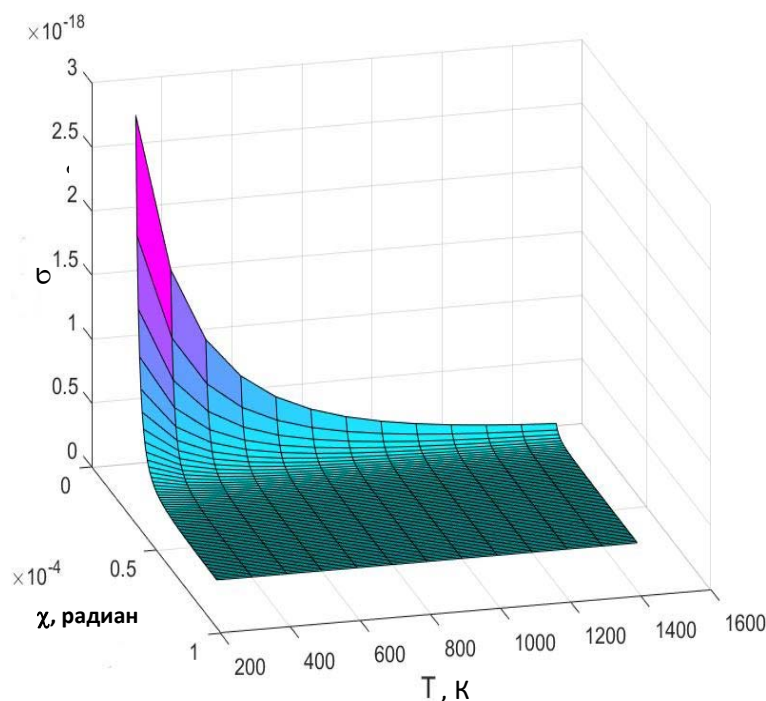


Рис. 1. График зависимости дифференциального сечения рассеивания от температуры и угла рассеивания χ

Таким образом, была рассмотрена схема взаимодействия электрона с нейтральным компонентом газа, определены параметры максимально влияющие на дифференциальное сечение. Моделирование дифференциального сечения рассеивания позволяет сократить число упругих столкновений, что играет ключевую роль в процессах ионизации пламени. А моделирование процессов ионизации позволяет управлять пламенем, менять его характеристики: температуру, геометрическую форму.

Библиографический список

1. **Курепина, Д. С.** Метод исследования электрических характеристик пламени / Д. С. Курепина, Д. С. Луцков, С. Н. Баршутин // Энергетическая безопасность : сборник научных статей II Международного молодежного конгресса. – Курск : Издательство ЗАО «Университетская книга», 2017. – С. 146–147.

2. **Мешкова, Э. А.** Исследование степени ионизации турбулентного потока пламени / Э. А. Мешкова, Д. С. Курепина, С. Н. Баршутин // Энергетическая безопасность : сборник научных статей II Международного молодежного конгресса. – Курск : Издательство ЗАО «Университетская книга», 2017. – С. 150–151.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доц. С. Н. Баршутина*

Э. А. Мешкова, Д. С. Курепина, Д. С. Луцков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДВИЖНОСТИ ИОНОВ В ПЛАМЕНИ

Тамбовский государственный технический университет

При исследовании ионизационных процессов в пламени можно воспользоваться математическим аппаратом, разработанным для ионизации газов электрическим полем. Автор [1] рассматривает основную характеристику взаимодействия электрического поля с ионами, называя ее подвижностью иона. С помощью соотношения (1) устанавливается взаимосвязь с коэффициентом диффузии D этого иона:

$$K = \frac{z_i D}{T}, \quad (1)$$

где z_i – заряд иона; T – температура газа.

Решение уравнения, осуществленное авторами [1], позволило определить по этому соотношению подвижность ионов:

$$K_1 = \frac{3 \cdot \pi^{0.5} \cdot e}{8 \cdot N \cdot (2 \cdot T \cdot \mu)^{0.5} \cdot \bar{\sigma}}, \quad (3)$$

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{2} \int_0^\infty \sigma^* \left(-\frac{\mu \cdot v^2}{2 \cdot T} \right) \cdot \exp \left(-\frac{\mu \cdot v^2}{2 \cdot T} \right) \cdot \left(-\frac{\mu \cdot v^2}{2 \cdot T} \right)^2 d \left(-\frac{\mu \cdot v^2}{2 \cdot T} \right), \quad (4)$$

где v – скорость иона; μ – приведенная масса иона и атома; N – плотность атомов; e – заряд электрона; $\sigma^* \left(-\frac{\mu \cdot v^2}{2 \cdot T} \right)$ – транспортное сечение рассеивания.

В свою очередь транспортное сечение рассеивания определяется по формуле:

$$\sigma^* = \frac{4 \cdot \pi \cdot \Lambda \cdot q_1^2}{m^2 \cdot v^4}, \quad (5)$$

где q_1 , – заряд иона, Λ – натуральный логарифм отношения максимального к минимальному расстоянию взаимодействующих ионов и имеет значение от 10 до 20 единиц. Анализ формулы показывает, что транспортное сечение рассеивания обратно пропорционально квадрату энергии взаимодействующих частиц. Тогда для решения уравнения (4) преобразуем в следующий вид

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} E^{-2} \cdot \exp(-E) \cdot (E)^2 d(E) = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \exp(-E) d(E). \quad (6)$$

Решение данного уравнения – численное значение 0,5. При этом из транспортного сечения мы вынесли за знак интегрирования независимые от энергии частицы члены: заряд и натуральный логарифм Λ . В итоге формула (3) приобретает следующий вид:

$$K_1 = \frac{3 \cdot 10^{-9} \cdot \pi^{1.5}}{4 \cdot N \cdot (2 \cdot T \cdot \mu)^{0.5} \cdot q \cdot \Lambda}, \quad (7)$$

Построим график зависимости подвижности ионов CH_3^+ в среде азота от температуры (рис. 1).

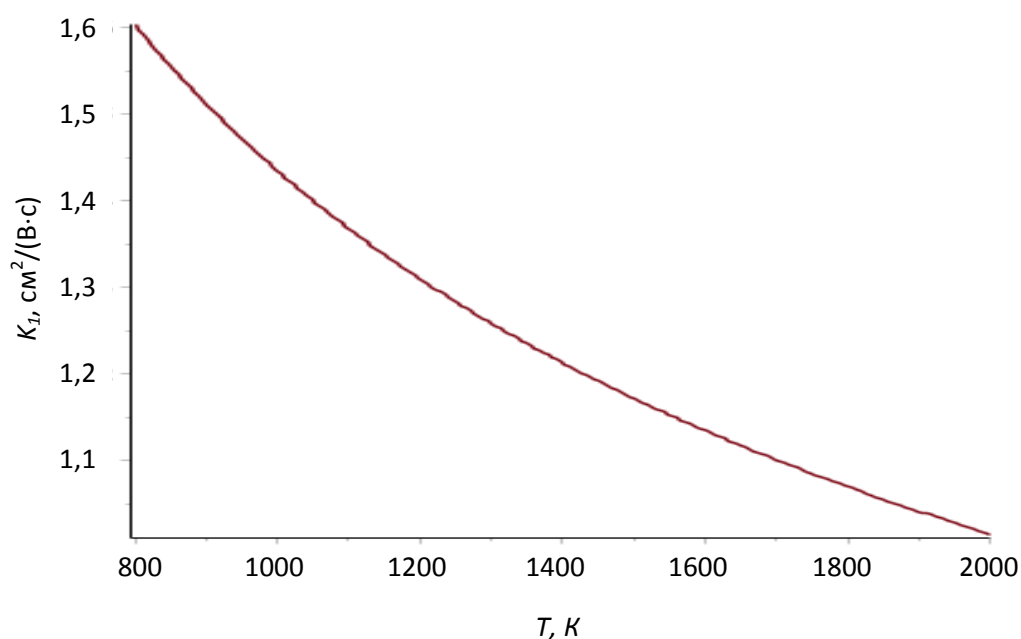


Рис. 1. Зависимость подвижности ионов CH_3^+ в среде азота от температуры

Таким образом, была найдена зависимость значения подвижности одного из ионов пламени в среде азота.

Библиографический список

1. **Смирнов, Б. М.** Диффузия и подвижность ионов в газе / Б. М. Смирнов // Успехи физических наук. – Т. 92. – Вып. 1. – 1967. – С. 75.
2. **Курепина, Д. С.** Метод исследования электрических характеристик пламени / Д. С. Курепина, Д. С. Луцков, С. Н. Баршутин // Энергетическая безопасность : сборник научных статей II Международного молодежного конгресса. – Курск : Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2017. – С. 146–147.
3. **Мешкова, Э. А.** Исследование степени ионизации турбулентного потока пламени / Э. А. Мешкова, Д. С. Курепина, С. Н. Баршутин // Энергетическая безопасность : сборник научных статей II Международного молодежного конгресса. – Курск : Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2017. – С. 150–151.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доц. С. Н. Баршутина*

С. В. Мощенко, М. Е. Уваров

СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ В ПРОЦЕССАХ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

*Московский технологический университет,
институт тонких химических технологий им. М. В. Ломоносова*

Процессы кристаллизации веществ относятся к одним из наиболее эффективных методов разделения смесей на компоненты, а также извлечения примесей из них. Это во многом послужило причиной широкого распространения таких процессов не только в химической, но и во многих других отраслях промышленности. Одним из известных способов достижения пересыщения растворов с образованием кристаллической фазы является частичное удаление растворителя. Известно [1], что подобные процессы проводят в выпарных и вакуум-выпарных кристаллизаторах. Работа данных установок связана со значительными затратами энергии.

Исходя из этого, в данной работе нами была проанализирована возможность экономии энергии при использовании теплового насоса закрытого типа в условиях пониженного давления в процессе вакуум-выпарной кристаллизации.

В рассматриваемой установке (рис. 1) исходный раствор F с концентрацией растворенного вещества x_F подается в выпарной кристаллизатор ВК при температуре t_F , где в результате его кипения происходит частичная отгонка растворителя $П$. Пересыщение раствора приводит к образованию кристаллической фазы. Извлечение кристаллов целевого продукта S из полученной суспензии производится на стадии сепарации $Ф$ путем фильтрации или центрифугирования. Отводимый из кристаллизатора вторичный пар растворителя $П$ поступает в барометрический конденсатор смешения БК, где он конденсируется с понижением рабочего давления в установке.

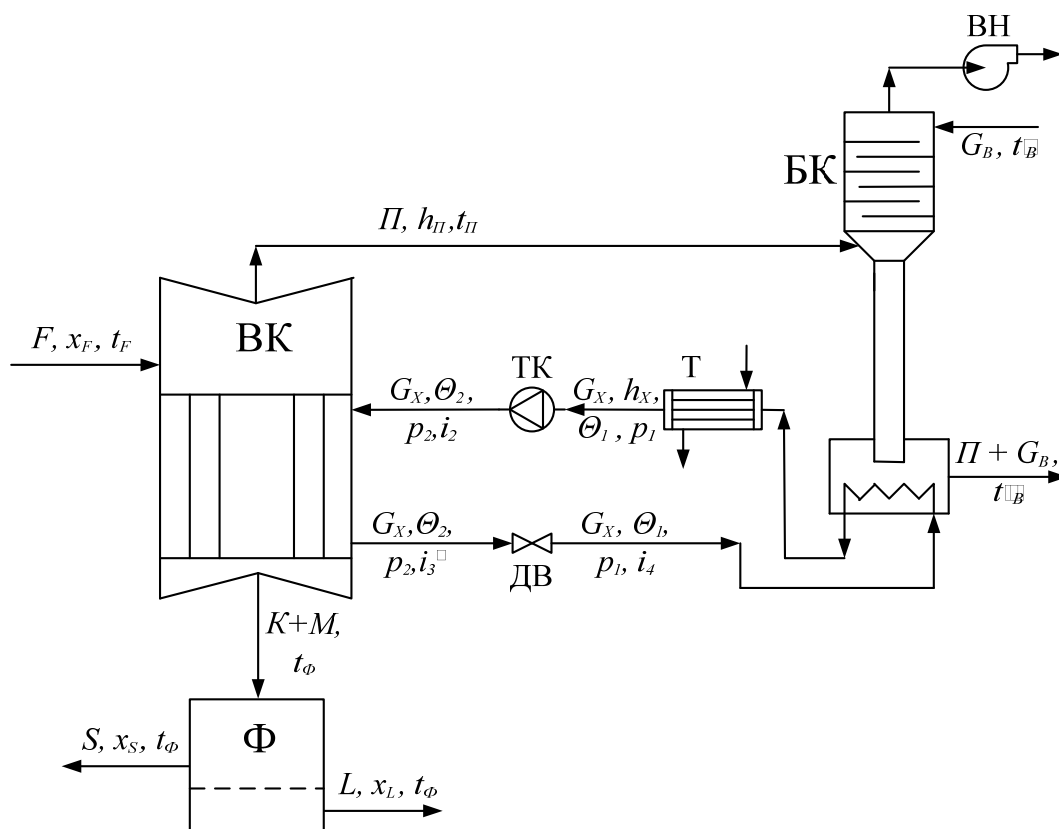


Рис. 1. Принципиальная схема установки вакуум-выпарной кристаллизации с тепловым насосом закрытого типа

Подвод теплового потока в греющей камере кристаллизатора обеспечивается тепловым насосом закрытого типа, в контуре которого циркулирует промежуточный теплоноситель G_X . Пары теплоносителя сжимаются в турбокомпрессоре ТК до давления p_2 при повышении его теплосодержания. Сжатый теплоноситель поступает в греющую камеру кристаллизатора ВК, где в результате его охлаждения и конденсации выделяется теплота Q , необходимая для кипения раствора. Сконденсированный теплоноситель затем дросселируется в дроссельном вентиле ДВ до давления p_1 и далее поступает в барометрический конденсатор смешения БК, где в результате теплообмена с горячим конденсатом растворителя Π , он испаряется с повышением теплосодержания. Далее насыщенные пары теплоносителя снова сжимаются в компрессоре и возвращаются в кристаллизатор.

В случае, если тепловой поток конденсата окажется недостаточным для испарения промежуточного теплоносителя G_X , возможно использование компенсирующего теплообменника Т.

В результате проведенного анализа было установлено, что использование теплового насоса при понижении рабочего давления в выпарном кристаллизаторе позволяет значительно снизить энергетические затраты на проведение процесса кристаллизации.

Библиографический список

1. **Адиабатная** кристаллизация с использованием теплового насоса / Г. А. Носов, В. М. Мясоеденков, Али Кхафи, Н. Л. Бангура // Химическая технология. – 2004. – № 3. – С. 35 – 40.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПЕРЕОБОРУДОВАНИЮ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ СБОРА МЕТАНА ИЗ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА

Тамбовский государственный технический университет

Обустройство животноводческого помещения для содержания крупнорогатого скота системой приточно-вытяжной вентиляции, с целью извлечения прибыли, при использовании газогидратных технологий очистки вытяжного воздуха, от использования биогаза, производимого бактериями, живущими в желудке животного, централизованно – невозможно без устройства дополнительных мер по повышению теплофизических характеристик ограждающих конструкций, что ведет к увеличению показателей энергоэффективности объекта.

Необходимо использовать в качестве заполнения светового проема двухкамерный стеклопакет в одинарном переплете из обычного стекла, для снижения потребности компенсации теплопотерь, расхода энергии на нагрев инфильтрационного воздуха, более точного регулирования системы очистки вентиляционного воздуха. Следующая конструкция, нуждающаяся в модернизации, – въездные ворота. Замена устаревших деревянных ворот на новые секционные ворота из двух слоев металла и утеплителя между ними, термическое сопротивление которых равно сопротивлению кирпичной кладке толщиной в один кирпич, аналогично снизит теплопотери и количество просачивающегося наружного воздуха.

Затраты на энергию и моторное топливо напрямую влияют на рентабельность сельскохозяйственных предприятий. В связи с этим актуальна организация автономного производства и хранения энергоносителя из биогаза. Традиционные технологии получения метана подразумевают очистку биогаза от примесей с последующим сжатием до 160...200 атм., что имеет высокие капитальные и эксплуатационные затраты и ограничивает применение в сельскохозяйственных предприятиях.

Установка по очистке воздуха будет работать следующим образом: воздух при атмосферном давлении с температурой 15...20 °С поступает в установку, во входной фильтр, где удаляются механические примеси. После очистки поступает в рекуперативный теплообменник, где происходит предварительное охлаждение перед подачей в газогидратный агрегат. В компрессионной части газогидратного агрегата происходит сжатие, сопровождающееся повышением его температуры. Тепло от сжатого воздуха отводится на технологические нужды. Охлажденный сжатый воздух из сухой градирни поступает в расширительную часть газогидратного агрегата, где температура снижается до –30 °С. Охлажденный воздух вместе с водой поступает непосредственно в модуль по образованию гидрата метана. На выходе из агрегата будет безметановая воздушная среда с низкой температурой и высоким давлением, холод будет использован для охлаждения молока перед транспортировкой, а давление в детендер-генераторной установке перейдет в электроэнергию, которая необходима для освещения коровника, работы вентиляторов и т.д. При этом установка может быть выполнена в виде линейки типового оборудования. На рисунке 1 изображена графовая модель установки очистки воздуха [1].

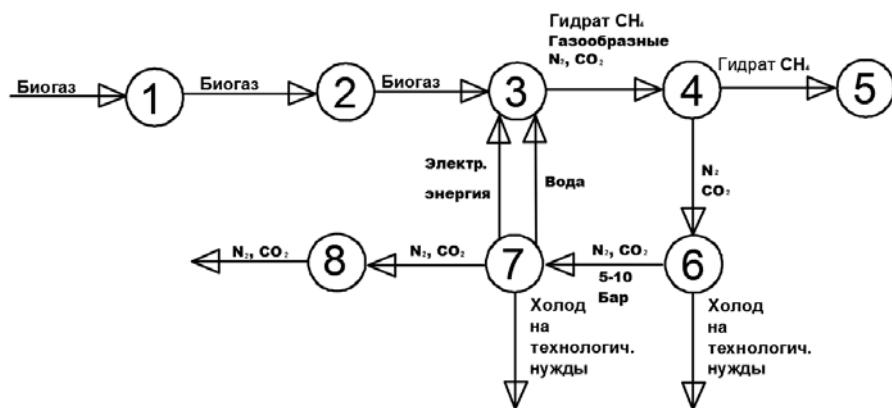


Рис. 1. Графовая модель установки очистки воздуха

В таблице 1 перечислены компоненты схемы в соответствии с цифровым обозначением графовой модели.

1. Компоненты схемы

1	Компрессорный агрегат
2	Сухая градирня
3	Модуль гидратообразования
4	Сепаратор гидрата метана
5	Хранилище
6	Рекуперативный теплообменник
7	Детендер - генераторная установка
8	Католитический нейтрализатор выбросов

На рисунке 2 изображен план коровника на 200 голов. Как видим на плане, достаточно большую площадь занимают въездные ворота [2].

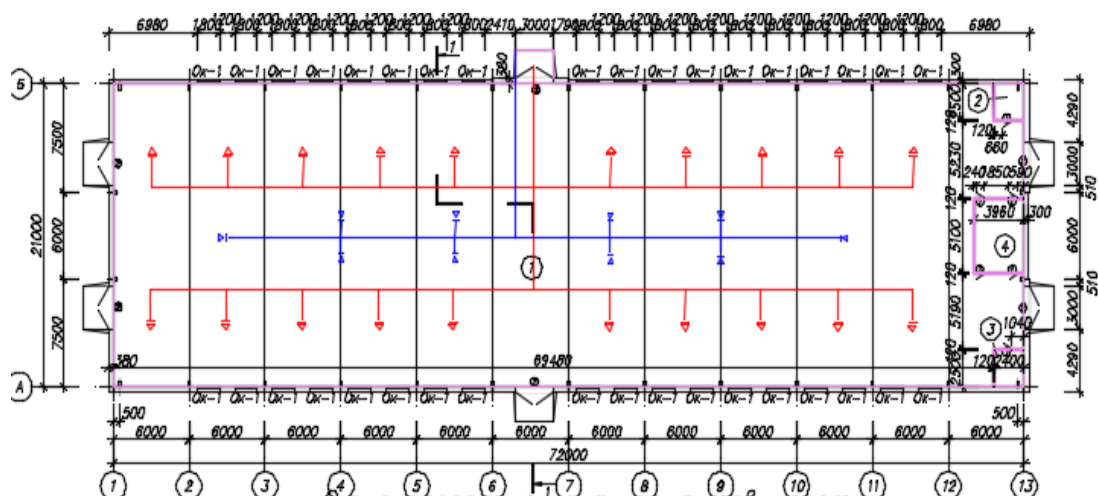


Рис. 2. План коровника на 200 голов

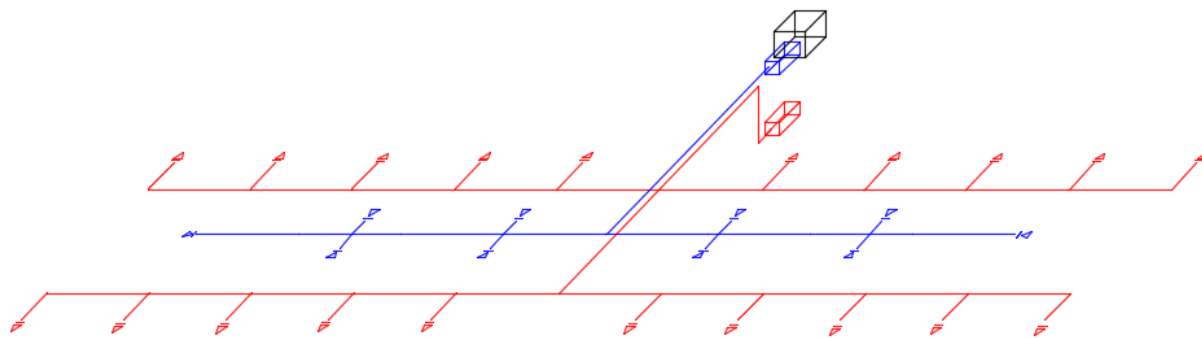


Рис. 3. Аксонометрическая схема приточно-вытяжной системы вентиляции

На рисунке 3 изображена аксонометрическая схема приточно-вытяжной системы вентиляции с организацией подачи приточного воздуха в верхнюю область помещения настилающимися струями через вентиляционные решетки и забором вытяжного воздуха.

Технология очистки воздуха с выработкой гидрата метана обеспечивает одностадийное выделение, безопасную транспортировку и хранение энергоносителя благодаря способности гидратов концентрировать газ при относительно низком давлении.

Возможность производства топлива не только снижает финансовую нагрузку на предприятие, но и является дополнительным источником дохода, наиболее эффективна продажа метана, вырабатываемого из возобновляемого сырья, в страны ЕС по «зеленым» тарифам. В дальнейшем, применение газогидратной технологии может оказать существенное экономическое влияние: позволит создать дополнительные рабочие места на удаленных территориях и депрессивных регионах, где проводить традиционные коммуникации экономически нецелесообразно [1].

Библиографический список

1. **Велицко, В. В.** Инновационные преимущества газогидратного получения, хранения и транспортировки моторного топлива из биогаза и свалочного газа / В. В. Велицко // Энерго- и ресурсоэффективность малоэтажных жилых зданий : сб. материалов научно-практической конференции; Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, 19–20 марта 2013.
2. **Захаров, А. А.** Применение тепла в сельском хозяйстве / А. А. Захаров. – М. : Колос, 1980. – 311 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доц. С. Н. Кузьмина*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АДСОРБЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ ВОЗДУХОРАЗДЕЛЕНИЯ

Липецкий государственный технический университет

В данной работе исследуется поглощающая способность адсорбентов по молекулам двуокиси углерода, которые используются в блоке комплексной очистки (БКО) воздуха воздухоразделительной установки (ВРУ) КАР-30. Комплексная очистка в схеме работы ВРУ применяется с целью удаления из воздуха углеводородов, которые содержатся в атмосферном воздухе, предельное накопление которых может привести к ухудшению анализа продуктов разделения или к более серьезному последствию – взрыву установки. БКО состоит из двух попеременно работающих адсорберов, заполненных определенным адсорбентом, фильтра, теплообменного оборудования.

Адсорбцией называется избирательное поглощение одного или нескольких компонентов из смеси газов твердыми веществами, которые называются адсорбентами. Процесс протекает на поверхности пор. В результате поры поглощают молекулы углеводородов воздуха и образуется защитная «пленка» [1]. В качестве адсорбентов применяются пористые вещества с большой удельной поверхностью. Поглотительная способность адсорбента характеризуется количеством молекул, которое может поглотить единица массы или объема адсорбента до того, как начнется проскок по определенным компонентам, она наименьшая для молекул CO_2 . Поэтому длительность работы адсорберов до момента регенерации насадки, заполненной определенным адсорбентом, определяется степенью очистки воздуха от двуокиси углерода [2].

Цеолиты и силикагели являются основными адсорбентами на промышленных предприятиях, определим время защитного действия $\tau_{\text{заш}}$, каждого, в зависимости от различного содержания молекул углекислоты.

Для исследования была разработана математическая модель, в основе расчета которой лежит метод академика Шилова.

По исходным данным были проведены эксперименты работы адсорберов, заполненных цеолитом и силикагелем соответственно. Высота насыпного слоя адсорбента была одинакова и составляла 800 мм. Обработанные результаты экспериментов сведены в табл. 1 – 3.

1. Исходные данные для экспериментов

Начальная концентрация	Проскок
мг (CO_2)/м ³	
750	0,04
600	0,04
1000	0,04

2. Изменение концентрации молекул CO₂ в слое, заполненном цеолитом

№	Концентрация CO ₂									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
-										
1	0,0053	0,0086	0,0090	0,0117	0,0168	0,0210	0,0293	0,0360	0,0450	0,0555
2	0,0042	0,0086	0,0090	0,0117	0,0168	0,0210	0,0293	0,0360	0,0372	0,0444
3	0,0070	0,0114	0,0120	0,0156	0,0224	0,0280	0,0390	0,0480	0,0600	0,0740

3. Изменение концентрации молекул CO₂ в слое, заполненном силикагелем

№	Концентрация CO ₂									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
-										
1	0,0060	0,0113	0,0135	0,0158	0,0186	0,0257	0,0315	0,0405	0,0465	0,0638
2	0,0048	0,0091	0,0108	0,0126	0,0149	0,0206	0,0252	0,0324	0,0510	0,558
3	0,0080	0,0151	0,0180	0,0210	0,0248	0,0343	0,0420	0,0540	0,062	0,0850

После детального исследования свойств адсорбентов можно сделать следующие выводы:

1. Поглощающая способность цеолитов на порядок больше чем у силикагелей, особенно это заметно при более высоких концентрациях CO₂.
2. Среднее время защитного действия до проскока молекул CO₂ у цеолитов составляет в среднем 9,7 часов, в то время как у силикагелей – 8,9 часов.

Библиографический список

1. **Михеев, М. А.** Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – Изд. 2, стереотип. – М. : «Энергия», 1977. – 344 с.
2. **Глизманенко, Д. Л.** Получение кислорода / Д. Л. Глизманенко. – М. : Изд-во «Химия», 1965. – 752 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доц. А. И. Шарапова*

Е. В. Осокин

ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

В России проблемы теплоэнергетики появились достаточно давно, а в последние несколько лет этот вопрос встал особенно остро. Неэффективное использование топливных ресурсов приводит к огромным финансовым потерям в отрасли, что влечет за

собой значительное удорожание цен на топливо. Из этого следует, что проблемы теплоэнергетики напрямую влияют на развитие нашей экономики в целом.

Специалисты выделяют некоторые основные проблемы теплоэнергетики в России:

1. Моральный и физический износ фондов. Будет справедливым отметить, что это наблюдается во всех отраслях отечественной экономики. На данном этапе периодически происходит локальная замена устаревшего оборудования и ремонт теплотрасс, зачастую под такое пристальное внимание попадают только самые аварийные участки. При этом важно понимать, что замена изношенного оборудования на аналогичное новое не решает проблем теплоэнергетики, потому что помимо физического износа, оборудование устарело морально. Оно недостаточно автоматизировано и является весьма малоэффективным.

2. Отсутствие четкого плана дальнейшего развития данной отрасли. По утверждениям специалистов, энергетический сегмент нашей экономики существует без какого-либо долгосрочного планирования, и это главная проблема теплоэнергетики. Уход от плановой экономики, недостаток государственного финансирования отодвигает на неопределенный срок решение проблем теплоэнергетики в стране.

3. Кадровый вопрос. За последние десять-двадцать лет резко поменялись приоритеты населения в выборе профессиональной деятельности, что не могло не отразиться на качестве и количестве квалифицированных технических специалистов.

4. Проблемы теплоэнергетики, связанные с нерациональным использованием ресурсов. Устаревшее оборудование и отсутствие теплоизолирующего покрытия трасс, отвечающего современным нормативам, приводит к массовому расточительному расходу топлива. Зачастую ТЭЦ абсолютно не обеспечены достойным современным оборудованием, и весь рабочий процесс сводится к бесконечному ремонту и наладкам устаревшего основного фонда.

Решение проблем теплоэнергетики

1. Использование и совершенствование очистных устройств. В настоящее время на многих ТЭС улавливаются в основном твердые выбросы с помощью различного вида фильтров. Наиболее агрессивный загрязнитель – сернистый ангидрид на многих ТЭС не улавливается или улавливается в ограниченном количестве. В то же время имеются ТЭС (США, Япония), на которых производится практически полная очистка от данного загрязнителя, а также от окислов азота и других вредных поллютантов. Для этого используются специальные десульфурационные (для улавливания диоксида и триоксида серы) и денитрификационные (для улавливания окислов азота) установки. Такими установками улавливается до 96% окислов серы и более 80% оксидов азота.

2. Большие и реальные возможности уменьшения или стабилизации поступления загрязнений в среду связаны с экономией электроэнергии. Особенно велики такие возможности за счет снижения энергоемкости получаемых изделий. Не менее реальна экономия энергии за счет уменьшения металлоемкости продукции, повышения ее качества и увеличения продолжительности жизни изделий. Перспективно энергосбережение за счет перехода на наукоемкие технологии, связанные с использованием компьютерных и других слаботочных устройств.

3. Не менее значимы возможности экономии энергии в быту и на производстве за счет совершенствования изоляционных свойств зданий. Реальную экономию энергии

дает замена ламп накаливания с КПД около 5% флуоресцентными, КПД которых в несколько раз выше.

4. Заметно повышается также КПД топлива при его использовании вместо ТЭС на ТЭЦ. В последнем случае объекты получения энергии приближаются к местам ее потребления и тем самым уменьшаются потери, связанные с передачей на расстояние. Наряду с электроэнергией на ТЭЦ используется тепло, которое улавливается охлаждающими агентами. При этом заметно сокращается вероятность теплового загрязнения водной среды. Наиболее экономично получение энергии на небольших установках типа ТЭЦ непосредственно в зданиях. В этом случае потери тепловой и электрической энергии снижаются до минимума.

Находящаяся в тяжелом кризисном состоянии энергетика России требует неотложной модернизации существующих тепловых электростанций и систем теплоснабжения. В ожидании промышленного подъема необходимо в ближайшие годы не только восполнить убыль мощностей тепловых электростанций, но и увеличить мощность энергосистем не менее, чем на 30-40%. Для этого нужно в самом срочном порядке восстановить отечественное энергомашиностроение, создать современное газотрубостроение и производство высокоэффективных ПГУ, укрепить научно-исследовательские организации этого профиля.

Библиографический список

1. **Надежность** теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС / Г. П. Гладышев, Р. З. Аминов, А. К. Клемин, Е. А. Ларин и др. ; под ред. А. И. Андрющенко. – М. : Высшая школа, 1991. – 303 с.
2. **Некрасов, А. С.** Современное состояние теплоснабжения России / А. С. Некрасов // Проблемы прогнозирования. – 2011. – № 1. – С. 32.

С. П. Пантилеев

ВОДОГРЕЙНАЯ МАЗУТНАЯ КОТЕЛЬНАЯ БЕЗ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Мурманский государственный технический университет

Теплоснабжение Мурманской области почти полностью работает на привозном мазуте. Большие котельные и ТЭЦ для мазутного хозяйства используют паровые мазутные котлы. Для небольших котельных трудно подобрать паровой котел оптимальной производительности, в большинстве случаев эти котлы работают на низких нагрузках с низким КПД. Для пуска парового котла используется в качестве резервного топлива дизельное топливо.

При наличии резервного дизельного топлива в мазутной котельной для подогрева мазута вместо пара от дополнительного парового котла можно использовать тепло уходящих газов, которое отбирают из продуктов сгорания при помощи стойких к коррозии теплообменников (далее – КУТ), разработанных выпускником 2017 года нашего университета Бравановым.

Теплообменник, в зависимости от предполагаемой мощности, набирается из определенного числа секций, располагаемых друг над другом. Стыки опорных фланцев уплотняются прокладками и обжимаются болтовыми соединениями. Подвод подогреваемой среды подводится к секции с двух сторон к входному квадратному коллектору, и отвод из нее отводится также с двух сторон от выходного коллектора. Подогрев мазута в первой секции КУТ, идущего на форсунки, проводится по отдельному газоходу, идущему сразу из котла, а подогрев воды циркуляционной подогревательной системы мазутного хранилища по газу соединен также с котлом и с выходом из первой секции КУТ. Переключение схемы движения продуктов сгорания через секции КУТ проводится управляемыми шиберами.

Без учета конденсации водяных паров из продуктов сгорания мы можем снять из них при сжигании 1 кг мазута высокосернистого М100 следующее количество тепла:

$$Q = J_{200} - J_{70} = 3980 - 1379 = 2601 \text{ кДж/кг},$$

где J_{200} и J_{70} – энтальпия продуктов сгорания на выходе из котла и перед дымососом после КУТ.

Содержание водяных паров при температуре 30 °С составляет $W_{30} = 30,3 \text{ г в } 1 \text{ м}^3$.

Содержание водяных паров при температуре 200 °С составляет $W_{200} = 65,4 \text{ г в } 1 \text{ м}^3$.

При действительном объеме продуктов сгорания $V_{\text{г}} = 14,452 \text{ м}^3/\text{кг}$ количество конденсированной воды в КУТ будет при охлаждении 76,5% части продуктов сгорания от 200 до 30 °С:

$$\begin{aligned} G_{\text{конд}} &= 0,765 V_{\text{г}} (W_{200} - W_{30}) = 0,765 \cdot 14,452 (65,4 - 30,3) = 388,1 \text{ г/кг} = \\ &= 0,388 \text{ кг воды/кг топлива}. \end{aligned}$$

Тепло, выделившееся при конденсации водяных паров:

$$Q_{\text{конд}} = q G_{\text{конд}} = 2500 \cdot 0,388 = 970 \text{ кДж/кг}.$$

Общее количество тепла, которое можно получить по этой схеме:

$$Q_{\Sigma} = Q + Q_{\text{конд}} = 2601 + 970 = 3571 \text{ кДж/кг}.$$

При сжигании 1 кг мазута М100 высокосернистого можно нагреть следующее количества мазута от $t_{1\text{м}} = 40 \text{ °С}$ до $t_{2\text{м}} = 150 \text{ °С}$:

$$G_{\text{маз}} = Q_{\Sigma} / [c_{\text{маз}} (t_{2\text{м}} - t_{1\text{м}})] = 3571 / [1,813 (150 - 40)] = 16,5 \text{ кг},$$

где $c_{\text{ср}}$ – теплоемкость мазута при средней температуре мазута в КУТ $t_{\text{ср}} = 0,5 (40 + 150) = 95 \text{ °С}$, определяется по формуле:

$$c_{\text{ср}} = 1738 + 2,5 t_{\text{ср}};$$

$$c_{\text{ср}} = 1738 + 2,5 \cdot 95 = 1973 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°С)} = 1,813 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°С)}.$$

Это говорит, что 1/16,5 (550 кДж/кг) части тепла продуктов сгорания от 1 кг мазута хватает для подогрева мазута до 150 °С. Остальное тепло можно использовать для подогрева мазута в основном хранилище.

При объеме мазута в резервуаре $V_{\text{р}} = 200 \text{ м}^3$ (считаем, что резервуар заполнен полностью) масса мазута

$$M = V_p \rho_m = 200 \cdot 987 = 197400 \text{ кг} = 197,4 \text{ т},$$

где ρ_m – плотность мазута при средней температуре мазута в резервуаре ($t_{\text{ср}}^{\text{рез}} = (t_{\text{н}} + t_{\text{к}})/2 = (20 + 40)/2 = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

При коэффициенте теплопередачи через стенки хранилища $k_F = 0,477 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ количество тепла, теряемого с наружной поверхности резервуара при наружной расчетной температуре $t_p = -27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ составит порядка $Q_{\text{пот}} = 4 \text{ кВт}$. На подогрев мазута, подаваемого в топку $Q_{\text{расп}} = 48 \text{ кВт}$, с учетом потерь с трубопроводов требуемая мощность КУТ составит не более 70 кВт. Для мазутного котла с паропроизводительностью $D = 4 \text{ т/ч} = 1,11 \text{ кг/с}$ расход топлива составляет $B = 0,088 \text{ кг/с}$, тепловая мощность КУТ составит $q_{\text{ут}} = BQ_{\Sigma} = 0,088 \cdot 3571 = 314 \text{ кВт}$, это в 4 раза больше требуемой.

Кроме подогрева мазута при такой тепловой мощности КУТ дополнительно можно подогревать еще подпиточную воду, воздух, идущий в топку.

Выводы. Если вместо дополнительного парового котла, обеспечивающего работу мазутного хозяйства за водогрейными котлами установить КУТ, работающий на 75% продуктов сгорания, то он с запасом обеспечит подогрев мазута, идущего на форсунки до температуры $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$, и покроет все тепловые потери с поверхностей хранилища и трубопроводов. Дополнительно кут может обеспечить подогрев подпиточной воды и воздуха, подаваемого в топку. Использование КУТ повысит КПД водогрейного котла при его полной мощности на $100 (Q_{\Sigma} / Q_{\text{н}}^p) = 100 (3571/39000) = 9\%$. При этом в трубу пойдут подсушенные продукты сгорания при температуре $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Единственная проблема, возникающая при такой модернизации, – это прогрев мазута в цистернах перед перекачкой их в хранилище. Но и она вполне решаемая при помощи циркуляционной системы: разогрев мазута проводить горячим мазутом, идущим из КУТ.

Экономически данное мероприятие оправдано: КУТ в сравнении с паровым котлом по затратам на порядок ниже.

Е. С. Полякова, К. Ю. Стручалин, В. Н. Ходяков, О. А. Овсянников

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ПОЛИУРЕТАНА

Тамбовский государственный технический университет

Полиуретаны известны давно и многократно описаны. Их можно использовать во многих областях техники. Антикоррозионные и теплоизоляционные композиции на основе полиуретанов используют в нефте-, газодобывающей, нефтехимической промышленности, в коммунальном хозяйстве и в других областях, где требуются защита поверхностей от коррозии, теплозащита. Их применяют в качестве защитного покрытия для металла, бетона, дерева, стекла [1 – 3].

Физические свойства пенополиуретана зависят от структуры полиуретановых цепей и от связей между ними [4, 5].

Теплоизоляция из пенополиуретана (ППУ) обладает следующими достоинствами.

1. Низкий коэффициент теплопроводности.
2. ППУ обладает свойством паронепроницаемости, не впитывает влагу.

3. Материал устойчив к гниению, коррозии, не поддерживает разрастание плесени, грибов.
4. Обладает свойством звукоизоляции.
5. ППУ имеет небольшой вес, хорошие прочностные свойства.
6. Материал хорошо переносит перепады значений температуры.
7. ППУ – экологически чистый и безопасный материал.
8. Класс пожароопасности теплоизоляции из ППУ снижается с добавлением антипиренов.

Утеплитель из ППУ используют для теплоизоляции трубопроводов, крыш, подвалов, стен, фундаментов, мансард, фасадов, балконов, лоджий, бань, саун и др.

В качестве позволяющих многостороннее применение пластмасс полиуретаны используют во многих технологических областях, в частности, благодаря тому, что их можно применять в составах для поверхностных покрытий, клеящих веществах и в технологии уплотнительных материалов. При этом особый интерес представляют полиуретаны, обладающие реакционноспособными концевыми группами, в частности, способными к взаимодействию с водой. Благодаря такой способности реакционноспособные полиуретаны в готовом к переработке состоянии (обычно от жидкого до высоковязкого состояний) могут в желаемой форме подаваться к месту, где их можно подвергать отверждению путем прибавки воды или других способных к взаимодействию с конечными группами соединений (отвердителей). Добавка отвердителя обычно осуществляется до переработки.

Аэрозольные пены – это монтажные средства, часто применяемые в строительстве для установки окон и дверей в постройках, а также в качестве заполнителя строительно-технических пустот.

Помимо жидкого варианта теплоизоляционного материала из ППУ выпускаются изделия в виде плит [1, 2].

Библиографический список

1. **Марк Ф. Зонненшайн.** Полиуретаны. Состав, свойства, производство, применение / Марк Ф. Зонненшайн ; перевод с английского. – М. : Изд-во «Профессия». – 2018. – 576 с.
2. **Кравченко, Т. П.** Композиты со специальными свойствами на основе термопластов и полиуретанов / Т. П. Кравченко, Л. Ф. Клабукова // Пластические массы. – 2000. – № 9. – С. 18 – 21.
3. **Бухина, М. Ф.** Полиуретаны / М. Ф. Бухина // Каучук и резина. – 2014. – № 3. – С. 70–71.
4. **Зингер, П. А.** Полиуретаны для антикоррозионной паро- и гидрозащиты / П. А. Зингер // Практика противокоррозионной защиты. – 2017. – № 1(83). – С. 14 – 22.
5. **Лукина, А. И.** Полимерные пены на основе полиуретанов / А. И. Лукина, И. Г. Студенов, И. В. Парахин // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2016. – № 6. – С. 23 – 29.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, проф. Н. Ф. Майниковой*

А. В. Синюков, Т. В. Синюкова

УЛУЧШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ МОТАЛОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Липецкий государственный технический университет

Привода моталок относятся к объектам повышенной сложности, так как основным назначением данных механизмов является точная регулировка параметров натяжения полосы прокатываемого металла. Моталка приводится в движение посредством частотного синхронного электропривода, использование которого целесообразно на объектах с ударными нагрузками, в механизмах, работающих с перегрузками, при наличии на агрегате двигателей большой мощности.

На первоначальном этапе необходимо произвести моделирование исследуемого объекта, что позволит с наименьшими затратами исследовать процессы, происходящие в электроприводе на протяжении всего технологического процесса.

В среде Matlab была разработана тепловая модель синхронного двигателя моталки, на основании данных, взятым с реального объекта, учитывающая параметры системы охлаждения и тепловой защиты, позволяющая визуализировать и контролировать как нагрев корпуса электродвигателя, так и внутренних его элементов. Произведено моделирование технологического цикла моталки, с учетом имеющихся на реальном объекте воздействий.

Уменьшение энергетических показателей позволит добиться разработка и внедрение системы автоматического регулирования возбуждения синхронного электродвигателя. Значительное влияние на энергопотребление оказывают параметры ширины и толщины прокатываемого металла.

Библиографический список

1. **Синюков, Т. В.** Энергосбережение и энергоэффективность в технических системах / Т. В. Синюкова, А. В. Синюков, К. А. Трегубова // Минимизация тепловых потерь в электродвигателе как способ энергосбережения : материалы V Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – С. 289 – 300.

А. Ю. Спасибин

ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОПОРШНЕВОГО АГРЕГАТА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ОБЪЕМА ГАЗГОЛЬДЕРА ПРИ УТИЛИЗАЦИИ КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА

Липецкий государственный технический университет

В настоящее время в России на металлургических заводах с конвертерным производством стали полезно утилизируется только тепло отходящих из конвертора газов. Основной проблемой при утилизации конвертерного газа в качестве топлива является

его нестабильный состав и периодичность выхода. Эта проблема успешно решается с помощью применения газгольдера. Газ, поступающий в газгольдер с конверторов, выравнивается по составу и затем поступает к буферному потребителю, в качестве которого в большинстве случаев выступают котельные агрегаты ТЭЦ. Объем газгольдера существенно влияет на капитальные затраты при строительстве системы утилизации.

На рисунке 1 представлена схема утилизации конвертерного газа с использованием газгольдера и газопоршневого агрегата (ГПА). Отходящий из конвертера 1 газ через подвижный колокол 2, служащий для предотвращения смешивания воздуха и отходящих газов, поступает в кессон 3. Охлаждаясь в котле-утилизаторе 4, конвертерный газ поступает в скруббер 5 и затем в квенчер 6 для очистки от конвертерной пыли. Далее в циклонах 7 под действием центробежных сил из потока газа выводится влага вместе со смоченными укрупнившимися частицами пыли, после чего через трехходовой клапан 11 газ поступает на газоочистку 12 или с помощью дымососа 8 подается на свечу дожигания 9. После газоочистки газ подается в газгольдер 13, где происходит его выравнивание по составу и расходу и далее после прохождения конечной газоочистки 14 посту-

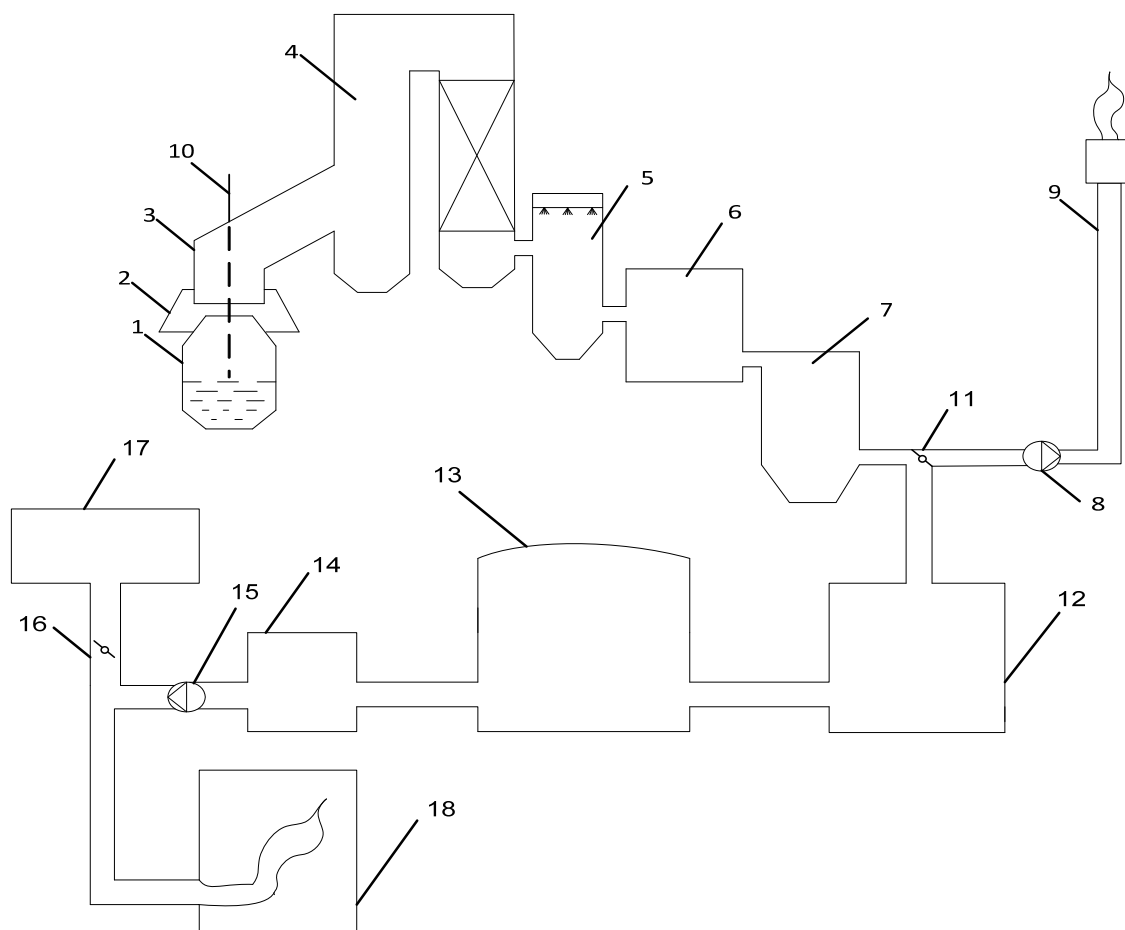


Рис. 1. Схема газоотводящего тракта с использованием газгольдера и ГПА:

- 1 – конвертер; 2 – подвижный колокол; 3 – кессон; 4 – котел-утилизатор; 5 – скруббер;
6 – квенчер; 7 – циклоны; 8 – дымосос; 9 – свеча дожигания; 10 – водоохлаждаемая фурма;
11 – трехходовой клапан; 12 – газоочистка; 13 – газгольдер; 14 – конечная газоочистка;
15 – нагнетатель; 16 – регулирующий дроссель; 17 – газопоршневой агрегат;
18 – потребитель конвертерного газа

пает к потребителю 18. Клапан 16 регулирует подачу газа к ГПА, в зависимости от расхода газа у основного потребителя.

Использование газопоршневого агрегата в качестве компенсатора неравномерности выхода газа позволит уменьшить объем газгольдера. Основным достоинством использования ГПА является его стабильная работа в пределах нагрузки от 40% до 100%. Например ГПА фирмы Caterpillar G 3600 TA при переводе на конвертерный газ при 100% нагрузке может потреблять до 300 м³/ч конвертерного газа. При этом расчеты работы двигателя на конвертерном газе показали падение его мощности на 1/3 от номинальной (при работе на природном газе). В зависимости от мощности ГПА, количества и объема конверторов можно подобрать оптимальный объем газгольдера с уменьшением капитальных затрат на строительство газоутилизационной установки.

Библиографический список

1. **Курзанов, С. Ю.** Повышение энергетической эффективности сталеплавильного производства на основе использования конвертерных газов : дис. канд. техн. наук / С. Ю. Курзанов. – М., 2011. – 178 с.

2. **Шароглазов, Б. А.** Поршневые двигатели: теория, моделирование и расчет процессов. / Б. А. Шароглазов, В. В. Шишков. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 525 с.

*Работа выполнена под руководством,
канд. техн. наук, проф. В. Я. Губарева*

К. Ю. Стручалин, А. С. Грачев, О. А. Овсянников

АНТИКОРРОЗИЙНЫЕ, ОГНЕСТОЙКИЕ, ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

Тамбовский государственный технический университет

Антикоррозионные, огнестойкие и теплоизоляционные композиции, используют в нефте-, газодобывающей, нефтехимической промышленности, в коммунальном хозяйстве и в других областях, где требуются защита поверхностей от коррозии, от воспламенения, теплозащита. Также их применяют в качестве защитного покрытия для металла, бетона и, в частности, для защиты трубопроводов, эксплуатирующихся в районах вечной мерзлоты, под водой и при больших перепадах температуры и давления внутри и вне трубопроводов.

Композиции включают следующее соотношение компонентов, мас.ч: 5 – 95 эпоксидной смолы, 3 – 65 отвердителя, 5 – 95 смеси полых микросфер, 0 – 20 целевых вспомогательных добавок [1].

Полые микросферы выбирают из группы, включающей стеклянные, керамические, полимерные, техногенные микросферы или используют их смеси. Микросферы берут с размерами в пределах от 10 до 500 мкм.

Можно указать ряд известных изобретений, технической задачей которых является получение многофункционального покрытия, выполняющего одновременно функции

теплоизоляционного, огнестойкого покрытия с повышенной коррозионной стойкостью в различных агрессивных средах. А именно: SU 1165242, 30.06.1985; SU 865119, 15.09.1981; RU 2220990, 10.01.2004; RU 93052300, 20.07.1996.

Поставленная техническая задача достигается тем, что композиция для покрытия, включающая в качестве связующего эпоксидную смолу, отвердитель, микросферы, содержит в качестве микросфер смесь полых микросфер, различающихся между собой размерами в пределах от 10 до 500 мкм. Полые микросферы выбраны из группы: стеклянные; керамические; полимерные; полые техногенные (зольные) микросферы или их смеси [1].

Возможно использование различных эпоксидных смол, а именно: эпоксидно-диановых смол марок ЭД-20, ЭД-6 и др., эпоксиноволачных смол, эпоксирезольных смол, эпоксиэфирных смол (модифицированных растительными маслами), циклоалифатических эпоксидных смол и др. [1].

Для получения покрытия с наименьшим объемом свободного пространства между микросферами и, как следствие этого, с высокими теплозащитными и огнезащитными свойствами, а также коррозионной стойкостью (водонепроницаемость) необходимо использовать смеси полых микросфер с разными размерами (радиусами) в пределах от 10 до 500 микрометров и различающимися по плотности. При использовании микросфер с близкими, но не такими размерами и др. характеристиками степень заполнения пространств будет ниже, а следовательно, и свойства хуже.

Полые микросферы из стекла, керамики получают путем введения порообразователей в основной материал, последующего их измельчения и нагревания для вспенивания порообразователя. Например, полые микросферы получают путем пропускания мелких частиц, содержащих порофор, через высокотемпературную зону; частицы плавятся или размягчаются в горячей зоне. Газообразователь формирует полость внутри частиц, расширяя их. При охлаждении на воздухе стенки микросфер затвердевают. Микросферы можно получать также методом вспенивания стеклянных (или керамических) частиц в пламени горелки и т.д.

Полимерные микросферы получают либо суспензионной полимеризацией мономеров с добавлением порообразователей, либо путем физического или химического вспенивания уже готовых полимеров в виде измельченных частиц.

Композицию получают тщательным перемешиванием связующего (эпоксидной смолы) с микросферами (смесью их) и последующим введением отвердителя. Если композиция содержит другие вспомогательные добавки, то их вводят или совместно с микросферами или после, но до введения отверждающих добавок [1].

Таким образом существует ряд эпоксидных композиций, которые отличаются друг друга, но при этом имеют исключительные теплоизоляционные свойства.

Библиографический список

1. **Беляев, В. С.** Композиция для получения антикоррозионного, огнестойкого и теплоизоляционного покрытия, применение ее / В. С. Беляев // RU 2301241, 13.07.2005.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, проф. Н. Ф. Майниковой*

УЛАВЛИВАНИЕ ДВУОКИСИ УГЛЕРОДА НА ТЭС

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Снижение выбросов CO_2 – это важная задача, решение которой нужно найти в ближайшие сроки, ведь из-за парниковых газов происходит разогрев планеты, названный парниковым эффектом. Этот процесс может стать необратимым, когда выделения газа из почвы начнут расти с ростом температуры, еще больше раскручивая спираль.

Между государствами существует договоренность, что уровень углекислого газа нужно, как минимум, удерживать на нынешнем уровне, но выбросы каждый год увеличиваются. Этому способствует несколько факторов: уменьшение площади лесов, рост промышленности, ТЭЦ и ТЭС. Сейчас выбросы составляют 36 миллиардов тонн диоксида углерода ежегодно, и эта цифра продолжает расти.

Растения Земли не способны переработать, а воды мирового океана – растворить такое количество углекислого газа, вырабатываемое ТЭС и транспортом с ДВС. Поэтому необходимо создание методов улавливания CO_2 из атмосферы и дальнейшей его переработки.

Решением данной проблемы могут стать модули прямого улавливания диоксида углерода из воздуха. В мае 2017 года компания Climeworks заявила о создании первого в мире завода по добыче двуокиси углерода из атмосферы. Это предприятие в Швейцарии добывает CO_2 с себестоимостью не более 600 \$ за тонну и продает удобрения на близлежащие фермы, а также компоненты для изготовления топлива. Ежегодно завод будет извлекать из атмосферы 900 тонн диоксида углерода, а себестоимость в ближайшие годы планируют снизить до 100 \$ за тонну.

Еще более радикальным решением станет установка подобных модулей на ТЭС. Так на одно из крупнейших в мире ГеоТЭС Хедлисхейди в Исландии были установлены модули по улавливанию CO_2 . Она стала первой в мире электростанцией, которая поглощает углекислый газ, а не выбрасывает его в атмосферу. Пока что станция добывает из атмосферы всего 50 тонн углекислого газа в год, но это лишь начало пилотного проекта.

Система работает следующим образом: воздух, проходя через фильтры, пропитанные аминами, которые связывают углекислый газ из атмосферы. Потом CO_2 извлекают из фильтра нагревом от геотермального источника тепла и растворяют в воде (27 кг воды на каждый килограмм газа). Газированную воду закачивают под землю на глубину от 400 до 800 метров. Там, реагируя с базальтовой породой, CO_2 превращается в твердый минерал. Так происходит минерализация углекислого газа.

Перед данным проектом ставится очень амбициозная задача – к 2025 году добывать и перерабатывать 1% всех мировых выбросов CO_2 .

Кончено, такое решение подходит не для всех ТЭС, и тем более не решает проблему с транспортом на ДВС.

Но на многих ТЭС возможна установка и усовершенствование систем очистки и улавливания отходящих газов, например система улавливания и очистки устройства с

фильтрующей мембраной. Она накапливает сажу и твердые частицы в результате фильтрации раствора, абсорбирующего CO_2 , используемого в устройстве для удаления CO_2 из отходящего газа. Только активными действиями по уменьшению и извлечению выбросов из атмосферы углекислого газа можно затормозить парниковый эффект и остановить разогрев планеты. Нужно вводить вышеперечисленные технологии не позже 2030-х годов, чтобы удерживать температуру в пределах $1,5^\circ\text{C}$ относительно доиндустриального уровня.

Библиографический список

1. **Экотехника** [Электронный ресурс]. – URL : <https://ecotechnica.com.ua/ekologiya/123-ulavlivat-co2-priamo-iz-okruzhayushchego-vozdukh-i-proizvodit-iz-nego-toplivo-mozhno-budet-v-promyshlennykh-masshtabakh.html> (Дата обращения 19.11.2018).
2. **Рыжков, А. Ф.** Энергетика без углекислого газа? / А. Ф. Рыжков, О. И. Рыжков, В. Е. Силин // Новости /Energyland.info – Новости энергетики и топливно-энергетического комплекса, аналитика, инструменты для развития бизнеса. 2604.2011. – URL : <http://www.energyland.info/news-show-actualno--70220> (дата обращения: 12.04.2012).

Н. Э. Суркова, В. А. Волков, О. А. Овсянников

АНТИКОРРОЗИОННЫЕ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛЫХ МИКРОСФЕР

Тамбовский государственный технический университет

Покрытия на основе полых микросфер относятся к антикоррозионным и теплоизоляционным покрытиям и применяются для теплоизоляции и защиты от коррозии различных поверхностей, трубопроводов тепловых сетей, воздухопроводов, нефте- и газопроводов, систем вентиляции и кондиционирования, промышленного оборудования и оборудования жилищно-коммунального хозяйства. Для обеспечения работы покрытия как теплоизоляционного в его состав следует включать смесь полых микросфер, выбранных из группы: полые стеклянные микросферы, полые керамические микросферы, полые полимерные микросферы, полые техногенные (зольные) микросферы.

Среди антикоррозионных и теплоизоляционных покрытий с полыми микросферами стоит отметить составы, защищенные патентами Российской Федерации: RU 2251563, 24.04.2003; RU 2311397, 23.12.2005; RU 2374281, 24.12.2007.

Недостатком ряда известных составов является низкая технологичность. Составы быстро твердеют, что затрудняет их нанесение на поверхность. Так, покрытие на основе эпоксидной смолы обладает невысокой способностью к пластическим деформациям, что приводит к его отслаиванию и растрескиванию при многократном нагреве и охлаждении в периоды лета и зимы. Подобные покрытия не выдерживают длительного кон-

такта с водой. Часто недостатком покрытия является низкая тепло- и атмосферостойкость, что не позволяет обеспечить необходимый уровень теплоизоляции и срока работоспособности покрытия. К тому же покрытие характеризуется низкой прочностью.

Для получения покрытия с высокими теплоизоляционными характеристиками необходимо иметь наименьший объем свободного пространства между микросферами в матрице композита. При этом для хорошей работы адгезии необходимо обеспечить наибольшую поверхность контакта связующего с поверхностью. Большое влияние на эти свойства оказывает совместимость компонентов. Достигнуть улучшения совместимости полимерного связующего с наполнителем возможно при применении в качестве наполнителя полимерных микросфер, имеющих схожую природу макромолекулы со связующим. Так, при использовании в качестве связующего гомополимера акрилата, стирол-акрилатного сополимера необходимо использовать полимерные микросферы, изготовленные из акрилатного (со)полимера.

Известно антикоррозионное и теплоизоляционное покрытие, выполненное из водно-суспензионной композиции, включающей смесь полимерного связующего с наполнителем – полыми микросферами [1].

В качестве связующего композиция содержит водоземulsionную полимерную латексную композицию, содержащую латекс (со)полимера, выбранного из группы, включающей гомополимер акрилата, стирол-акрилатный сополимер, бутадиен-стирольный сополимер, полистирол, бутадиеновый полимер или сополимер винилацетата, или их смеси, поверхностно-активное вещество, воду. Наполнитель – смесь полых стеклянных и полимерных микросфер, взятых в соотношении 1:1 (микросферы имеют диаметр 10 – 90 мкм).

Покрытие позволяет повысить устойчивость к термоокислительной деструкции, адгезию к горячим поверхностям, прочность при растяжении, снизить удельный вес. Низкая теплопроводность покрытия, нанесенного на металлические основания, позволяет использовать метод и измерительную систему, разработанные в Тамбовском государственном техническом университете, для неразрушающего контроля теплопроводности, толщины и качества двухслойного объекта [2, 3].

Библиографический список

- 1. Патент RU № 2502763.** Антикоррозионное и теплоизоляционное покрытие на основе полых микросфер, 23.05.2012.
- 2. Жуков, Н. П.** Метод неразрушающего определения толщины защитных покрытий / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И.В. Рогов // Вестник Тамбовского государственного технического университета, – 2017. – Т. 23, № 1, – С. 6 –11.
- 3. Жуков, Н. П.** Измерительно-вычислительная система неразрушающего контроля теплофизических свойств / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова // Приборы и техника эксперимента . – 2005. – № 4. – С. 164 – 166.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, проф. Н. Ф. Майниковой*

ПРОЦЕСС СТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООБМЕНА В МОДЕЛЯХ С ДИСПЕРСНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Липецкий государственный технический университет

В работе [1] на базе многомасштабного метода конечных элементов проведено изучение влияния на величину эффективного коэффициента теплопроводности контрастности включений, их концентрации, а также их расположения. Полученные результаты сравниваются с опытными данными для различного расположения включений. Численный анализ основан на использовании многомасштабного метода конечных элементов, позволяющего рассчитывать теплоперенос в средах с упорядоченным и хаотическим расположением включений. Анализируется влияние концентрации включений и способа их укладки на величину эффективного коэффициента теплопроводности. Опытное изучение коэффициента теплопроводности проведено для двух сред – гипс и органическое стекло с включением стальных шариков ($d = 3$ мм) с различной укладкой.

Рассмотрим процесс стационарного теплообмена в образце с контрастными включениями. При этом тепловые контакты между включениями и основной матрицей являются идеальными. Заданы разные температуры T_1 и T_2 на верхней и нижней гранях образца, боковые грани теплоизолированы. Для определения коэффициента теплопроводности материалов с различными шаровыми включениями используем метод, который основывается на геометрической характеристике модели, непосредственно учитывающийся в термическом сопротивлении [2].

При помощи программного обеспечения ANSYS возможно смоделировать процесс распространения теплового потока через образцы кубического типа с шаровой полостью внутри. При обработке данных изменения удельного теплового потока по всей высоте образца, получаем значения коэффициента теплопроводности для призматических образцов с разными радиусами включений. Задаемся температурой верхней и нижней граней в 1000 и 300 К. Боковые плоскости и грани примем адиабатическими. Получаем контуры: распределения удельного теплового потока, распределения температуры по всему объему стального кубического образца, которые приведены на рис. 1.

Анализ численных и теоретических расчетов показывает, что ошибка в определении коэффициента теплопроводности для призматических материалов с дисперсными шаровыми включениями колеблется в пределах 7–8%, что является достаточно приемлемым результатом. Недостатки определения теплопроводности таких материалов ставят вопрос о создании более совершенных методов расчета.

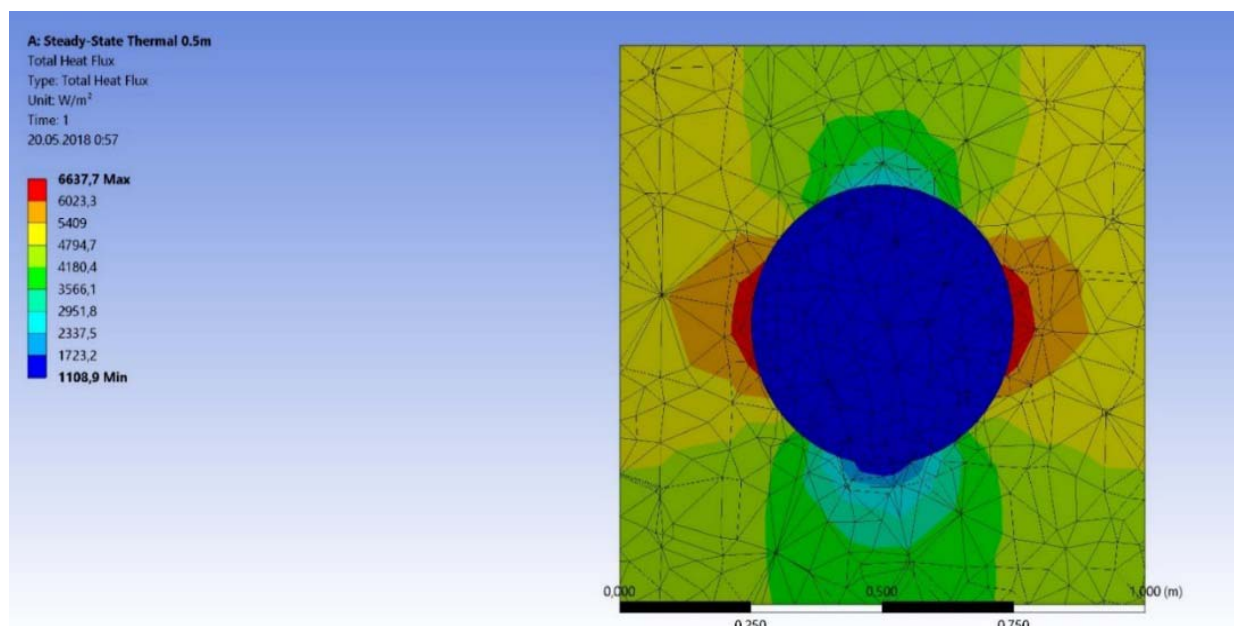


Рис. 1. Контуры распределения удельного теплового потока по всему объему стального кубического образца с изолированными боковыми стенками с шаровой полостью диаметром 0,5 м, заполненной воздухом, при заданных температурах верхней и нижней грани (1000 и 300 К соответственно)

Учитывая влияние термического сопротивления на границе «материал-полость», можно разработать модель для таких материалов, которая бы учитывала отношение коэффициентов теплопроводности материала и полости.

Библиографический список

1. **Эффективная** теплопроводность дисперсных материалов с контрастными включениями / М. И. Эпов, В. И. Терехов, М. И. Низовцев, Э. Л. Шурина, Н. Б. Иткина, Е. С. Уколов // ТВТ. – 2015. – Т. 53, № 1. – С. 48 – 53.
2. **Черных, А. А.** Подход к определению теплопроводности композиционных материалов с наполнителем / А. А. Черных // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы V Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». – 2018.

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Система отопления – это совокупность технических элементов, предназначенных для получения, переноса и передачи во все обогреваемые помещения количества теплоты, необходимого для поддержания температур на заданном уровне.

Снижение тепловых потерь через ограждающие конструкции является важнейшей задачей экономии тепловой энергии, которая расходуется на отопление зданий.

Тепловые потери зависят от конструкции ограждения, его толщины и примененных материалов. Основные потери тепла (до 80%) приходятся на наружные стены и остекление зданий. Потери тепла через ограждающую конструкцию, в зависимости от высоты и конструкции строения, составляют в пределах 20 – 60% от общего расходуемого тепла. Потери тепла через оконные конструкции гораздо выше, чем стены и перекрытия.

Снижение тепловых потерь через ограждающие конструкции сводится к мероприятиям по утеплению, а именно:

1. Улучшение тепловой изоляции стен, полов и чердаков путем установки дополнительного слоя из теплоизоляционного материала;
2. Замена старых оконных рам на современные стеклопакеты с двойным и тройным остеклением.
3. Уплотнение оконных и двойных проемов путем замены новых, современных окон, заделка щелей, замена разбитых стекол.
4. Замена старых, чугунных радиаторов на более современные, например биметаллические, а так же обновление системы обвязочных труб.

Основные резервы энергосбережения лежат в области реконструкции ранее построенных объектов, так как многие ограждающие конструкции, применяемые ранее в строительстве, не соответствуют современным энергетическим требованиям, что приводит к повышенным тепловым потерям и, соответственно, большому расходу теплоты на отопление здания.

Реализация мероприятий по утеплению и реконструкции зданий с целью приведения ограждающих конструкций к современным требованиям позволяет обеспечить 20 – 45% экономии тепловой энергии на отопление зданий, в зависимости от предпринятых мер.

Оптимизация работы системы отопления здания сводится преимущественно к автоматизации теплоснабжения, что позволяет достичь ощутимого эффекта экономии тепла (до 20 – 30%). Вместе с этим автоматизация позволяет существенно улучшить качество теплоснабжения, то есть подать потребителю тепловую энергию в соответствии с его потребностью, обеспечив необходимый комфорт.

Сокращая подачу «излишнего» тепла от отопительного прибора в периоды теплоснабжения от солнечных лучей, людей, электробытовых устройств термостат исключает перегрев помещения, обеспечивая в нем комфортную температуру воздуха и экономя при этом до 10 – 20% потребляемой на отопление энергии.

Рассмотрим оптимизацию системы отопления на примере здания БГТУ им. В. Г. Шухова.

Теплопотери ограждающей конструкции здания БГТУ им. В. Г. Шухова:

1. Термическое сопротивление данного здания частично соответствуют нормам [13]:

$$R_{ст.} = 2,373 м^2 \cdot ^\circ C / Вт , \text{ норматив } R_{ст.} = 2,15 м^2 \cdot ^\circ C / Вт ;$$

$$R_{окна} = 0,4 м^2 \cdot ^\circ C / Вт , \text{ норматив } R_{окна} = 0,45 м^2 \cdot ^\circ C / Вт .$$

В данный момент ведутся работы по реконструкции окон

$$R_{чер.пер.} = 2,807 м^2 \cdot ^\circ C / Вт , \text{ норматив } R_{чер.пер.} = 3,7 м^2 \cdot ^\circ C / Вт .$$

Необходимо принять меры по утеплению крыши

$$R_{пол.} = 2,15 м^2 \cdot ^\circ C / Вт , \text{ норматив } R_{пол.} = 2,1 м^2 \cdot ^\circ C / Вт .$$

Сопротивление пола соответствует нормам.

2. Оконные перекрытия не соответствуют нормам СНиП II-3-79*, В связи с чем тепловые потери очень велики $Q_{ок.об} = 160534 Вт$. Необходимо заменить окна на более новые, что существенно сократит потери тепла, а именно $Q_{ок.об.н} = 100306 Вт$.

3. Также из-за несоответствия термического сопротивления крыши необходима ее утеплить, в данный момент потери составляют $Q_{кр.об} = 14559 Вт$. Утеплив крышу минеральными плитами мы сократим тепловые потери до $Q_{кр.н} = 10700 Вт$.

Сделав гидравлический расчет системы отопления мы уменьшили потери давления с $\Delta p_{об} = 790000 Па$ до $\Delta p_{об.н} = 347000 Па$, соответственно уменьшился расход отопительной воды с $G_{пр} = 34972 кг / ч$ до $G_{пр.н} = 23915 кг / ч$. Экономическая выгода за 1 отопительный сезон составляет 188 986 рублей, срок окупаемости данных мероприятий 28,2 года, с учетом срока службы ПВХ окон(в пределах 30-40 лет) и биметаллических радиаторов (от 30 лет) предпринятые мероприятия выгодны и с экономической, и технической точки зрения.

Библиографический список

1. **Теплоснабжение и вентиляция:** курсовое и дипломное проектирование / под ред. Б. М. Хрусталева. – М. : Изд-во АСВ, 2008. – 784 с.
2. **СНиП 23-01-99*.** Строительная климатология.
3. **Крупнов, Б. А.** Руководство по проектированию систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / Б. А. Крупнов, Н. С. Шарафадинов. – Москва – Вена, 2008. – 220 с.
4. **ГОСТ 15588–86.** Плиты пенополистирольные. Технические условия.
5. **Справочник проектировщика.** Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 1: Отопление / под ред. И. Г. Старовойтова и Ю. И. Шиллера. – М. : Стройиздат, 1990. – 344 с.

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТОВ

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Энергоэффективность – это потребление меньшего объема энергии при выполнении одного и того же объема работ: освещения, обогрева, производства какого-либо товара и т.д. Зачем она нужна? Для людей – это значительное сокращение расходов на коммунальные услуги, для страны – экономия ресурсов, прежде всего, экспортного газа, и повышение производительности промышленности, для экологии – ограничение выбросов в атмосферу парниковых газов, для энергетических компаний – снижение затрат на топливо и необоснованных трат на дорогостоящее строительство.

Вот и получается, что наше неумеренное энергопотребление подрывает экологическое равновесие и бьет по нашему карману!

Конечно, внедрение энергетически эффективных технологий в производство и обслуживание – дело государственного масштаба. Развитые страны прилагают большие усилия, чтобы повысить эффективность потребления энергии.

Необходимо обращать внимание на низкопотенциальное тепло энергетического оборудования.

Оно образуется при работе насосов, компрессоров, двигателей внутреннего сгорания, газовых турбин, отдельные конструкции которых требуют охлаждения. В качестве хладагентов используется вода, воздух, масло, химические смеси. Их температура невысока, однако такое тепло можно использовать в практических целях.

Тепловые насосы – одно из средств, дающее возможность утилизации тепла тепловых отходов, в первую очередь – с низкой температурой. Для теплонасосных установок могут быть использованы различные источники энергии: низкопотенциальные ВЭР в виде пара и горячей воды, обратная сетевая вода систем теплоснабжения, уходящие газы котлов и технологических агрегатов, сточные воды, морская и речная вода, грунт и грунтовые воды и т.д.

Наиболее эффективно ТНУ могут применяться при замене водогрейных электродкотлов. Коэффициент трансформации мощных ТНУ находится в диапазоне 2,5 – 5.

Тепловые насосы могут использоваться и в энергетике, например, для решения проблемы снижения эффективности работы парогазовых установок (ПГУ) в летнее время (из-за падения мощности газотурбинной установки (ГТУ) при высоких температурах наружного воздуха, поступающего в компрессор) можно использовать в системе охлаждения компрессорного воздуха абсорбционный бромистолитиевый насос (АБТН).

В теплый период года АБТН переводят в режим абсорбционной холодильной машины (АБХМ), а в отопительный сезон – в режим теплового насоса (АБТН). Насос работает за счет тепловой энергии, круглогодично отводимой от сжатого воздуха (между ступенями компрессора). В режиме АБХМ это позволяет получить два тепловых потока: охлаждение воздуха на входе в компрессор и подогрев топливного газа, горячей во-

ды. В зимнее время воздух на входе в компрессор нуждается не в охлаждении, а, напротив, в нагреве для предотвращения образования инея и наледи во входном патрубке. В результате работы по такой схеме полезная мощность ГТУ увеличивается на 23% (относит.), а КПД – на 4,6% (относит.). При увеличении температуры атмосферного воздуха и включении АБХМ мощность и КПД установки не только не снижаются, как это обычно наблюдается у всех ГТУ, а напротив, увеличиваются.

Также тепловые насосы эффективно использовать для отопления как производственных помещений, так и объектов за пределами предприятия, при размещении ТНУ на объектах и обеспечении низкопотенциальным теплом. Такое решение позволяет не только утилизировать тепловые отходы, но и исключить или сократить затраты на создание и эксплуатацию дополнительных источников теплоснабжения.

Таким образом, мы частично решаем одну из важнейших проблем теплоэнергетики, а именно, в ходе усовершенствования технологического процесса и оборудования мы увеличиваем производительность, вместе с сокращением энергетических затрат. Этими методами на предприятиях устаревшего типа можно уменьшить энергопотребление без больших вложений инвестиционных средств на модернизацию.

Библиографический список

1. **Справочный** документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности. – М. : Эколайн, 2012. – 492 с.
2. **Политехнический словарь**. – М. : БСЭ, 1989. – 432 с.
3. **Энергобаланс** промышленного предприятия. Общие положения. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1987. – 16 с.

Н. В. Юшков

ВЛИЯНИЕ СТЕФАНОВА ПОТОКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ДОМЕННОГО ГАЗА В ПРЕСКРУББЕРЕ

Липецкий государственный технический университет

Прескруббер системы мокрой газоочистки проекта компании Paul Wurth является аппаратом полутонкой очистки доменного газа, в котором запыленный газ орошается каплями распыленной технической воды. Захват частиц колошниковой пыли осуществляется за счет инерционного механизма столкновения частиц пыли с поверхностью капли. Кроме того, прескруббер является теплообменным аппаратом контактного типа. За счет интенсивного контакта газа с каплями происходит интенсивное охлаждение доменного газа [1].

Объем прескруббера с учетом специфики процессов тепломассообмена можно разделить на две части. Верхняя часть – зона интенсивного испарения капель, увлажнения и охлаждения доменного газа. Нижняя часть – зона конденсации водяных паров из потока запыленного газа.

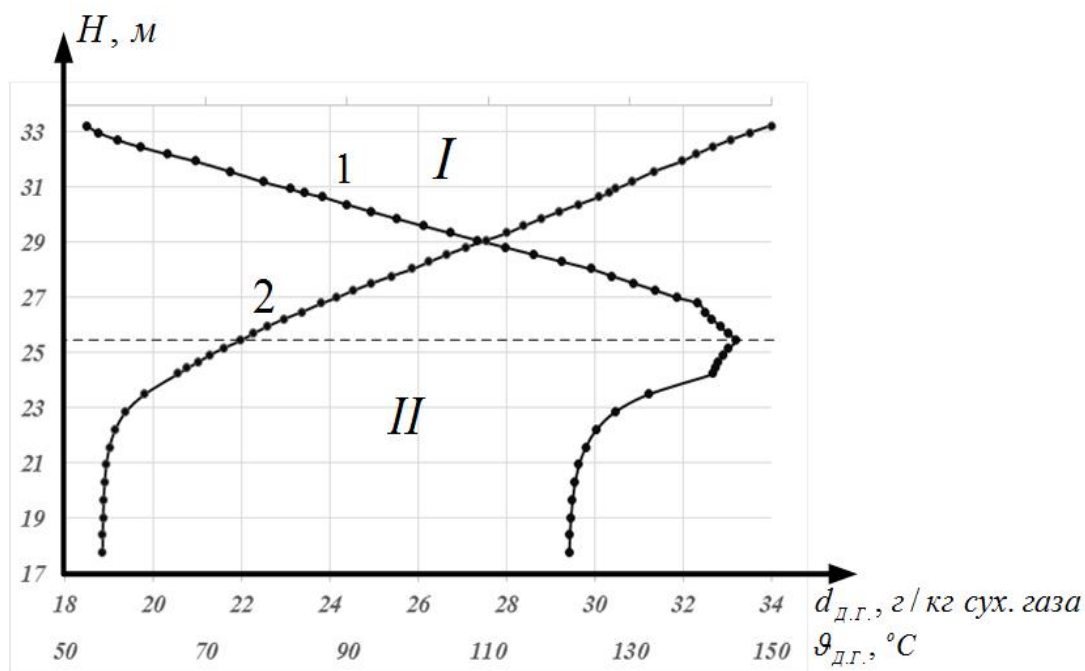


Рис. 1. Графики изменения величин температуры и удельного паросодержания доменного газа по высоте прескруббера:

1 – график изменения температуры; 2 – график изменения удельного паросодержания;

I – зона испарения капель диспергированной технической воды;

II – зона конденсации водяных паров из потока очищаемого газа

В нижней части прескруббера конденсация водяных паров на каплях вызывает скорость потока газа (Стефанов поток), замещающего сконденсированные водяные пары в направлении к поверхности капли и увлекающие частицы пыли, что приводит к повышению эффективности пылеулавливания [2].

Качество очистки доменного газа в прескруббере характеризуется коэффициентом фракционной эффективности улавливания частиц колошниковой пыли:

$$\eta_{\delta} = 1 - \left(\frac{w'_{CH}{}^2 - w_{KS}^{02}}{w'_{C0}{}^2 - w_{KS}^{02}} \right)^{\frac{q\rho_{т.в.}\bar{\eta}_{sk}}{0,44\rho_{д.г.}}}, \quad (1)$$

где η_{δ} – фракционный коэффициент эффективности улавливания частиц колошниковой пыли; w'_{C0}, w'_{CH} – скорость частицы колошниковой пыли относительно скорости капель на входе и выходе из рассматриваемого участка с учетом Стефанова потока, м/с; w_{KS}^0 – стационарная скорость осаждения капель диспергируемой в потоке доменного газа, м/с; q – удельный расход технической воды, идущей на очистку доменного газа, м³/м³; $\rho_{д.г.}$ – плотность доменного газа, кг/м³; $\rho_{т.в.}$ – плотность технической воды, кг/м³; $\bar{\eta}_{sk}$ – среднее значение эффективности осаждения частиц колошниковой пыли на каплях.

Относительная скорость частиц пыли определяется как разность скоростей капли и газа. Стефанов поток, скорость которого равна скорости подвода водяных паров к капле, приведет к увеличению скорости инерционного столкновения частиц пыли и капель. В зависимости от интенсивности процесса конденсации скорость Стефанова потока достигает 0,1...0,3 м/с, что приведет к повышению эффективности очистки в пре-скруббере на 3 – 12%.

Библиографический список

1. **Вальдберг, А. Ю.** Расчет пылеулавливания при работе скрубберов в конденсационном режиме / А. Ю. Вальдберг, Н. М. Савицкий // ТОХТ. – 1993. – № 5. – С. 526 – 530.
2. **Хромова, Е. М.** Конденсационные механизмы улавливания субмикронных пылей в мокрых пылеуловителях : диссертация. канд. техн. наук : 6105–1/1044. – Томск, 2005.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, проф. В. Я. Губарева*

Секция 2 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

М. Ю. Авдеева, О. Ю. Высокая, В. Н. Кагдин

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ

Тамбовский государственный технический университет

Важный аспект любого объекта – это стоимость эксплуатации. Ведь расходы, которые несет владелец здания в течение нескольких лет эксплуатации здания, сопоставимы со стоимостью строительства. Поэтому все участники проекта должны уделить важную роль способам минимизации энергопотребления объекта, что, естественно, должно привести к оптимизации эксплуатационных расходов.

Одним из методов энергосбережения является рециркуляция. Для этого вентиляционными приточно-вытяжными установками с функцией рециркуляции к приточному уличному воздуху подмешивается 30 – 70% вытяжного воздуха из помещений. Это позволяет в холодное время года существенно снизить затраты на электрическую и тепловую энергию.

Абсорбционный чиллер представляет собой холодильный агрегат, работающий по абсорбционному циклу. Поставщиком энергии выступает тепло греющего пара или горячего водоснабжения, а зачастую роль энергоносителя отводится природному газу. Использование абсорбционных холодильных агрегатов является оптимальным вариантом в случае ограниченного доступа к электроэнергии или ее высокой стоимости.

Мероприятия по энергосбережению в системах вентиляции.

Основное требование к состоянию воздушной среды в жилых, общественных, производственных помещениях, в промышленных зданиях и сооружениях, а также организации воздухообмена в помещениях с вредными выделениями заключается в том, что воздушные завесы должны быть обеспечены системами отопления, вентиляции (приточной и вытяжной) и кондиционирования воздуха в пределах расчетных параметров наружного воздуха.

Периодический режим работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Периодические режимы работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха применяют для стабилизации температуры, влагосодержания и газового состава воздуха. Они наиболее эффективны при обслуживании помещений большого объема в общественных зданиях с переменным заполнением (зрительные, торговые, спортивные залы, залы ожидания), где одновременно изменяются температура, влажность и состав воздуха (содержание углекислого газа и кислорода).

Снижение энергопотребления системами вентиляции и кондиционирования воздуха обеспечивается изменением расхода воздуха требуемых параметров, применением сложных и дорогостоящих воздухораспределителей, использованием совершенных методов регулирования работы вентилятора, сложной системы автоматизации. Альтернативным способом регулирования систем может служить периодическое вентилирование помещений в зависимости от состояния воздуха помещения, чем и обеспечивается

экономия электрической и тепловой энергии. Продолжительность перерыва зависит от кратности воздухообмена, объема помещения, состава воздуха. Функциональные схемы автоматического управления контролируют концентрацию углекислого газа, изменения влажности и температуры воздуха.

Устройство воздушных завес.

Воздушные завесы устанавливают при входе, у открытых проемов в общественных и промышленных зданиях и сооружениях, цехах, торговых центрах, магазинах, в многоэтажных жилых зданиях при часто открывающихся входных дверях или со значительными по площади воротами. Мероприятие направлено на снижение затрат теплоты на нагрев воздуха, поступающего через входы, въезды и проемы.

Применяют комбинированные воздушно-тепловые завесы с тамбуром и без него, а забор воздуха осуществляется из помещения или снаружи. Воздушная завеса состоит из двух симметрично расположенных пар, вертикальных воздухораспределительных стояков, установленных внутри помещения. Внутренняя пара стояков, расположенная ближе к помещению, подает подогретый (до 60 °С) в калориферах воздух, а наружная пара стояков подает не подогретый воздух, забираемый из помещения. При закрытых воротах наружная пара стояков отключается, а внутренняя завеса работает в режиме отопления. При открывании ворот к работе подключается и наружная пара стояков.

Энергосбережение достигается за счет снижения потребности в теплоте на нагрев приточного воздуха и затрат электроэнергии на его перемещение.

Библиографический список

1. **Авдеева, М. Ю.** Технологические инновации в сфере ЖКХ / М. Ю. Авдеева, О. Ю. Высокая, В. Н. Кагдин // Материалы Третьей Всерос. студенческой науч. конф., 20–21 декабря 2017 г., Тамбов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – С. 163 – 165.
2. **Печагин, Е. А.** Энергосберегающий аспект использования конденсаторных установок в системах электроснабжения / Е. А. Печагин, А. С. Ростяпин, В. С. Маклаков // Энергосбережение и энергоэффективность в технических системах: тезисы докладов 4-й Международной науч.- техн. конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбов, 10 – 12 апреля 2017 г. / Министерство науки и образования Российской Федерации; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., – 2017. – С. 355–356.

С. Т. Алмагамбетова, А. М. Имамурзина, К. В. Лицин

АНАЛИЗ ДАТЧИКОВ УГЛА ПОВОРОТА В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

***Новотроицкий филиал Национального исследовательского
технологического университета «МИСиС»***

Датчики, или по-другому, сенсоры являются элементами измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства, преобразующий контролируемую величину (температуру, давление, частоту, силу света, электрическое напряжение,

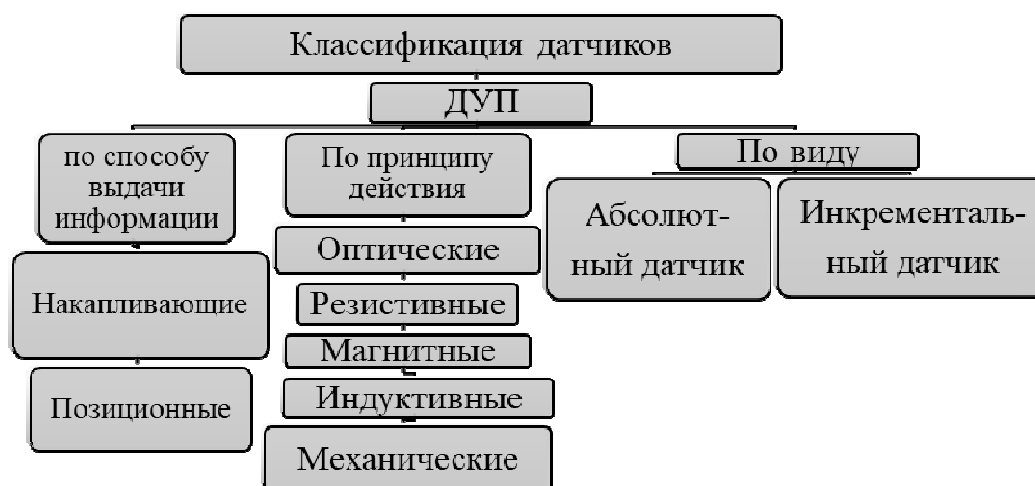


Рис. 1. Классификация датчиков угла поворота

ток и т.д.) в сигнал, удобный для измерения, передачи, хранения, обработки, регистрации, а иногда и для воздействия им на управляемые процессы.

Классификация датчиков представлена на рис. 1.

Существует ряд преимуществ и недостатков датчиков, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

Вид датчика	Преимущества	Недостатки
Инкрементальный датчик	– обрабатывают информацию о положении вала за счет импульсов	– малая чувствительность – По причине того, что импульсы возникают во время вращения вала, определить положение вала с помощью инкрементального датчика невозможно
Абсолютный датчик	– устойчив к вибрациям и другого рода помехам; – Коды измерения положения уникальные; – точно преобразуются в цифровой код и позволяют достигнуть высокой точности; – отслеживает информацию о скорости вращения или ускорении вала	– малая чувствительность сопротивления от частоты питающего напряжения – значительное обратное воздействие датчика на измеряемую величину (за счет притяжения якоря к сердечнику)

Рассмотрев различные типы датчиков, были выявлены следующие недостатки такие как: малая чувствительность, значительное обратное воздействие датчика на измеряемую величину, неопределяемое положение вала. Опираясь на эти недостатки, можно заключить, что от надежности работы датчиков зависит надежность и качество работы электропривода, так как из-за малой чувствительности потери от непредвиденных остановок производственной линии могут оказаться несоизмеримо высокими. В этот список относят потери рабочего времени персонала, повреждение производственного материала и оборудования, затраты на диагностику неисправности, ремонт вышедшего из строя датчиков и последующую юстировку.

В связи с этим наибольшей популярностью начинают пользоваться бездатчиковые системы в электроприводе.

Библиографический список

1. **Анучин, А. С.** Системы управления электроприводов : учебник для вузов / А. С. Анучин. – 2015.
2. URL : <http://engineering-solutions.ru/motorcontrol/sensorless/>
3. URL : <https://rusautomation.ru/promavtomatika/enkodery>

В. И. Амелина, А. Д. Худякова

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА УПРАВЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ПРОГНОЗА ПОВЕДЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Тамбовский государственный технический университет

Прогноз поведения управляемых объектов представляет интерес с точки зрения экономии энергоресурсов и повышения безопасности. В качестве примера будем рассматривать движение автомобилей. На рисунке 1 представлена ситуация движения рассматриваемого транспортного средства (ТС) А и соучаствующего в движении ТС Б. ТС А движется со скоростью V_A , ТС Б – со скоростью V_B , между ними есть некоторое расстояние D . Задача состоит в том, чтобы предотвратить ситуацию столкновения ТС. Для правильной реакции на обстановку на дороге в первую очередь следует учитывать траекторию и прогноз движения автомобилей [1].

Для прогнозирования опасной ситуации на дороге необходимо создать предполагаемую модель движения автомобилей. При прохождении транспортным средством некоторого расстояния следует прогнозировать как свое перемещение, так и соучаствующего ТС, для понимания дальнейшего движения.

Для этого необходимо оценивать координаты и прогнозировать, как они будут меняться в дальнейшем и с какой ошибкой оцениваться. В качестве алгоритма оценивания использовался фильтр Калмана [2].

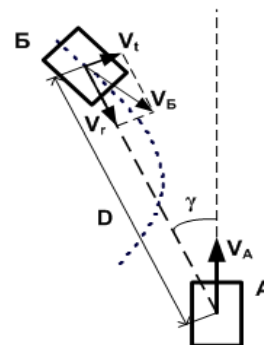


Рис. 1. Схема движения ТС

Для получения оценки в k -й момент предсказывалось положение объекта по его предыдущему поведению. В качестве первичного измерителя использовался радиолокационный датчик. Данные с его выхода сравнивались с прогнозом. Полученная разность (невязка измерения) использовалась для коррекции измерения. Кроме того, алгоритм фильтрации позволяет использовать информацию с разных датчиков, измеряющих одну и ту же величину, т.е. комплексировать эти датчики [3].

На основе измерения, зная модель движения, можно получать прогноз на некоторое время вперед. Оценим точность прогноза на основе используемого алгоритма.

В результате моделирования получена ошибка прогноза, которая увеличивается со временем. Точность прогноза в виде оценки максимального и среднеквадратического значения ошибки прогноза показана в таблице.

№	Максимальное значение	Среднеквадратическое значение
1	10,817	5,008
2	17,721	8,217
3	26,385	12,986
4	36,796	19,296

Представленные в таблице данные, приведены на рис. 2.

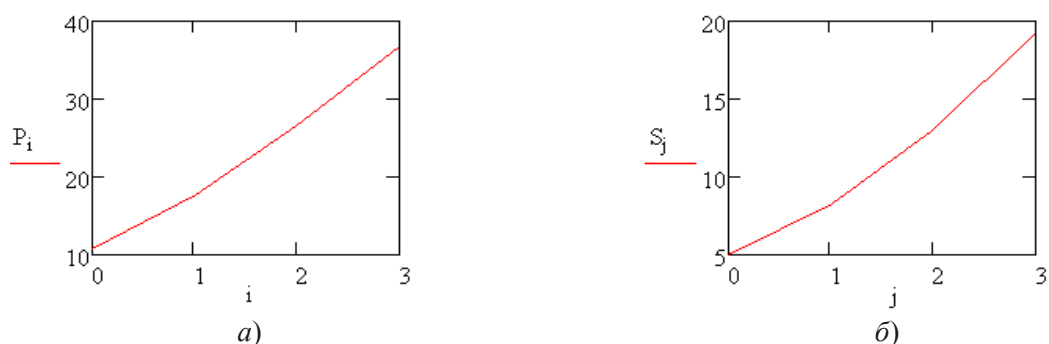


Рис. 2. Зависимость максимального значения ошибки (а) и среднего значения ошибки (б) от времени прогноза

Анализ алгоритма движения автомобилей выявил, что на точность прогноза влияет ошибка, которая увеличивается со временем. Реализация разрабатываемого алгоритма позволяет получить всю необходимую информацию для решения задач предсказания опасных ситуаций для ТС.

Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах: монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

2. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированной на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк. – М. : Радиотехника. – 2013. – № 9, 55 – 59 с.

3. Панасюк, Ю.Н. Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник ТГТУ. – 2017. – № 4. – С. 595 – 596.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук проф. С. Н. Данилова*

Д. В. Андреев, Е. П. Зацепин

АНАЛИЗ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ РЕЖИМА ТЯГОВОЙ СЕТИ

Липецкий государственный технический университет

В середине прошлого века была электрифицирована основная часть железных дорог России. Основное электрическое оборудование тяговых подстанций уже израсходовало свой ресурс, поэтому необходимо провести его модернизацию или замену.

Нагрузки постоянно возрастают с увеличением интенсивности перевозочного процесса. Данный фактор оказывает негативное воздействие на работу тяговой сети. Именно поэтому разрабатываются различные средства и методики, которые способствуют улучшению режима работы и повышению технических и экономических показателей. На тяговых подстанциях применяются трансформаторы с РПН, устанавливаются устройства, компенсирующие реактивную мощность, и т.п.

Модернизация тяговых подстанций и сетей должна соответствовать определенным критериям:

- силовые трансформаторы должны способствовать уменьшению коэффициента несимметрии напряжения;
- затраты при замене оборудования подстанции должны быть сведены к минимуму;
- необходима компенсация реактивной мощности, а также фильтрация высших гармонических составляющих тока, что снизит искажение графика напряжения [1].

Если не учитывать режим работы системы электроснабжения железных дорог, то невозможно произвести ее расчет. Рассмотрим некоторые методы улучшения режима.

1. Снижение колебаний напряжения

Изменение нагрузки вызывает изменение сопротивления цепи, как следствие, происходит отклонение напряжения от номинальных значений. Опыт эксплуатации тяговых подстанций показывает, что отклонения могут достигать -15 и $+5\%$, поэтому требуется устанавливать трансформаторы с РПН. Диапазон регулирования напряжения в этом случае может быть равен $\pm 9 \times 1,78\%$. Одна из вторичных обмоток, предназначенная для питания районных нагрузок, дополнительно оснащается устройством переключения числа витков фаз обмотки (ПБВ) при отсутствии возбуждения обмоток транс-

форматора, то есть данным устройством можно пользоваться только при отключенном трансформаторе.

Колебания напряжения можно контролировать различными методами:

- 1) по уровню – фактическое значение сравнивается с допустимым;
- 2) по продолжительности отклонения напряжения;
- 3) по месту в электросистеме – проводится в различных точках сети [2].

2. Устранение несимметрии.

Несимметричные режимы появляются при различной загруженности фаз или при отличающихся параметрах линий в них.

Выделяют два основных вида несимметрии: систематическая и вероятностная. Первая вызвана постоянной перегрузкой одной из фаз, вторая – непостоянными нагрузками.

Для симметрирования токов в трехфазной системе применяются трансформаторы с типом соединения обмоток «звезда-треугольник». На выводах вторичных обмоток данных трансформаторов устанавливаются автотрансформаторы, формирующие напряжение между питающим и контактным проводами в два раза больше, чем между контактным проводом и рельсом.

В линиях высокого напряжения устанавливают однофазные трансформаторы, которые подключают таким образом, чтобы угол между напряжением на одной из вторичных обмоток трехфазного трансформатора, к которой через автотрансформатор подключены эквивалентные нагрузки, и напряжением на вторичной обмотке однофазного трансформатора был равен 60° . В этом случае не симметрия станет минимальной [3].

3. Компенсация реактивной мощности

Потребление реактивной мощности тяговыми нагрузками существенно неравномерно во времени и связано сложной нелинейной зависимостью с потребляемой этими нагрузками активной мощностью. Передача значительной мощности по сети электропитания связана не только с большими потерями мощности, но и с большими потерями напряжения в этой сети. Последнее отражается на скорости движения поездов, пропускной способности электрифицированных участков, прямо пропорциональной уровню напряжения в тяговой сети. Для поддержания заданного уровня напряжения в тяговой сети необходимо применять средства регулирования напряжения. Традиционные средства регулирования напряжения на трансформаторах (УРПН) способствуют в первую очередь повышению напряжения на шинах тяговых подстанций (с ограничением по не симметрии фазных напряжений), а не в тяговой сети. Если принять для сети электропитания электрифицированной железной дороги отношение $r/x = 0,1$, то при коэффициенте мощности 0,8 потери напряжения, связанные с передачей по ней реактивной мощности, оказываются в 7,5 раза больше потерь, вызванных передачей активной мощности, равной реактивной. Следовательно, снижение потоков передаваемого, но сети электропитания реактивной мощности позволяет повысить напряжение и одновременно снизить потери мощности во всех элементах сетей электропитания [4].

Устройство продольной емкостной компенсации включают последовательно с нагрузкой для автоматической полной и частичной компенсации реактивных падений напряжения в сети. Ток нагрузки на емкостном сопротивлении создает падение напряжения, компенсирующее падение напряжения в индуктивностях сети, вызываемых этим

же током. Одновременно существенно повышается напряжение на токоприемниках потребителей и в меньшей степени – коэффициентом мощности нагрузки по отношению к источнику питания.

Устройства поперечной емкостной компенсации представляет собой трех- или четырехступенчатое устройство, общая установленная мощность ступеней которого достигает 10,8 Мвар. Каждая ступень в течение суток включается 14 – 18 раз. Мощность ступени выбирают исходя из целесообразности изменения напряжения на посту секционирования не более чем на 1000 В [5].

4. Снижение уравнивающих токов

Чем больше разница напряжений на фидерах, питающих тяговую сеть от двух подстанций, тем больше становятся перетоки мощности между данными подстанциями. Уравнивающие токи вызывают потери мощности, сильно нагружают трансформаторы, негативно сказываются на работе релейной защиты. Если различие расходов электрической энергии по одноименным фазам смежных подстанций достигает 1,5–2 раз, то необходимо провести ряд мероприятий по снижению уравнивающих токов, например, снизив напряжение между опережающей и отстающей фазами с помощью устройств продольной и поперечной емкостной компенсации [6].

Все представленные выше методы существенно улучшают режим работы системы тягового электроснабжения. Уровень напряжения увеличивается, а его отклонения снижаются, снижение потерь мощности способствуют экономии электроэнергии и повышению скоростей движения поездов, а также снижают затраты на перевозку грузов.

Библиографический список

1. **Финоченко, Т. Э.** Исследование режимов работы и качества электроэнергии в линиях ДПР [Текст] / Т. Э. Финоченко // Вестник РГУПС. – 2002. – № 3. – С. 60 – 62.
2. **Бей, Ю. М.** Тяговые подстанции [Текст] / Ю. М. Бей и др. – М. : «Транспорт», – 1986. – С. 320.
3. **Манусов, В. В.** Исследование методов снижения несимметрии загрузки трехфазной сети на тяговых подстанциях скоростных железных дорог переменного тока [Текст] / В. В. Манусов, П. В. Морозов // Известия Томского политехнического университета. Томск. – 2012. – № 4. Энергетика. – С. 322 – 324.
4. **Железко, Ю. С.** Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии [Текст] / Ю. С. Железко – М. : «ЭНАС», – 2009.
5. **Коробков, Г. В.** Влияние компенсирующих устройств на режимы тяговых сетей переменного тока : дис... канд. техн. наук: 05.22.07: защищена 17.08.2004 / Коробков Геннадий Викторович – Омск. – 2004. – С. 166.
6. **Осипов, В. А.** Закономерности протекания уравнивающих токов в электротяговой сети и методы их минимизации : дис... канд. техн. наук: 05.22.09: защищена 08.12.2000 / Осипов Владимир Александрович. – Ростов н/Д. – 2000. – С. 174.
7. **Зацепина, В. И.** Статистический анализ искажений напряжения в системах передачи, распределения и потребителей электрической энергии [Текст] / В. И. Зацепина, Е. П. Зацепин // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2011. – № 3(25). – С. 25 – 28.

С. С. Астанин, А. Н. Мамонтов, К. А. Пушница

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В РОССИИ И МИРЕ

*Липецкий государственный технический университет,
ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат»*

На Московском автосалоне 2018 (29 августа – 9 сентября), а также на форуме «Открытые инновации» в Сколково (15 – 17 октября 2018 г.), в рамках проекта «Кортеж» был представлен серийный седан Aurus Senat и его бронированная версия Aurus Senat Limousine. Технические характеристики автомобиля представлены в табл. 1.

1. Технические характеристики Aurus Senat

Тип кузова	4-дв. седан, 4-дв. лимузин
Компоновка	Переднемоторная, полноприводная
Тип двигателя	Бензиновый, с двойным турбонаддувом
Объем, конфигурация	4400 см ³ , V8
Максимальная мощность	598 л.с. при 5500 об/мин
Максимальный крутящий момент	880 Нм при 2200-4750 об/мин
Трансмиссия	9-ступенчатый автомат, без гидротрансформатора
Тип электродвигателя	Генератор
Максимальная мощность	62 л.с.
Максимальный крутящий момент	400 Нм

В качестве развития концепций гибридных автомобилей Вашему вниманию представлена концепция автомобиля Aurus Nabat, изображенная на рис. 1.

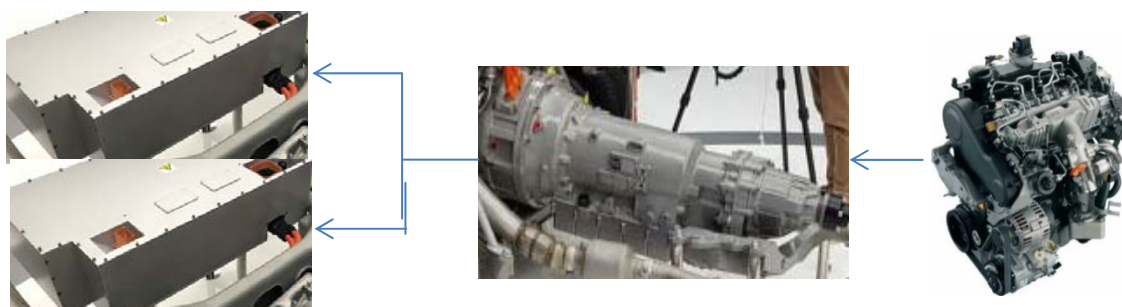


Рис. 1. Концепция автомобиля Aurus Nabat

2. Технические характеристики Aurus Nabat

Тип кузова	4-дв. седан
Тип привода	Постоянный полный
Тип двигателя	Дизельный, с турбонаддувом
Объем, конфигурация	1997 см ³ , 4-цил., рядный, впрыск SCR
Максимальная мощность	136 л.с. при 3500 – 4000 об/мин
Максимальный крутящий момент	340 Нм при 1600 – 3000 об/мин
Трансмиссия	9-ступенчатый автомат, без гидротрансформатора
Тип электродвигателей	Генератор
Производитель	Сарапульский электрогенераторный завод
Максимальная мощность	124 л.с.
Максимальный крутящий момент	800 Нм

Технические характеристики Aurus Nabat представлены в табл. 2.

Предлагается на основе рассмотренных платформ наладить массовый выпуск гибридных автомобилей, максимально используя отечественные комплектующие. Уменьшить себестоимость можно, если выпуск автомобилей будет осуществляться в промышленном кластере Липецкой области. Наличие в одном месте автозавода и металлургического предприятия позволит сократить логистические расходы. Такое производство потребует адаптации системы электроснабжения. Как в плане увеличения нагрузки на сеть при массовом выпуске продукции, так и в плане создания сети электрозаправок, чтобы такие гибридные автомобили получили широкое распространение в самом липецком регионе.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и управления образования и науки Липецкой области в рамках научного проекта 17-48-480083 р_а «Оптимизация динамики и энергосбережение в электротехнических комплексах территориально-промышленных кластеров Липецкой области».

Библиографический список

1. **Знаемский, С. С.** Мандат в Senat [Текст] / С. С. Знаемский, О. Меньшиков, И. А. Владимирский. – М. : Авторевию. – 2018. – № 17. – С. 8 – 10.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доц. К. А. Пушницы
и канд. техн. наук, инженера ПАО НЛМК А. Н. Мамонтова*

Провода СИП-2А характеризуются стойкостью к воздействию солнечной радиации, с верхним пределом интегральной плотности теплового потока $1120 \text{ Вт/м}^2 \pm 10\%$, в том числе плотности ультрафиолетовой части спектра $68 \text{ Вт/м}^2 \pm 25\%$, а также провода стойки к изгибу при температуре -40°C .

Библиографический список

1. **Шеховцов, В. П.** Расчет и проектирование схем электроснабжения [Текст] : методическое пособие для курсового проектирования / В. П. Шеховцов. – М. : ФОРУМ-ИНФРА-М, 2003.
2. **Правила** устройства электроустановок. 6-е изд. [Текст]. – М. : ЗАО Энергосервис, 2000.

ВНЕДРЕНИЕ ЧАСТОТНОГО ПРИВОДА В МЕХАНИЗМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КРАНА-ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ

Одним из основных оборудования углеподготовительного цеха является угольный мостовой перегружатель. Особенностью данного сооружения является применение на нем различного номинала напряжения и рода тока для питания основных и вспомогательных электроприводов механизмов, а также выполнение подъемно-транспортных операций при неподвижном мосте перегружателя.

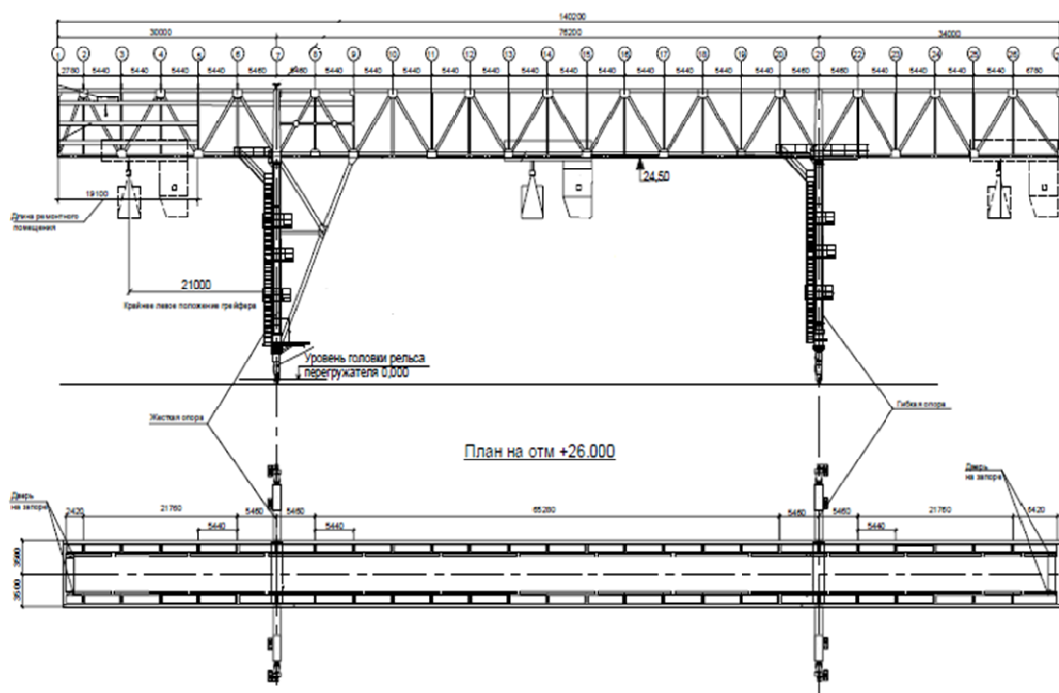


Рис. 1. Угольный мостовой перегружатель

На данный момент механизм перемещения крана-перегрузителя работает от системы управления асинхронный двигатель–релейно-контакторная схема, что не является целесообразным, поэтому для улучшения работы всей системы были выбраны следующие элементы, каждый в количестве 8 штук:

- двигатель MTF-412-8;
- преобразователь частоты VFD-880-FP4E-45S, с встроенными входными/выходными фильтрами и защитными элементами;
- импульсный датчик CE-65-151;
- питающий трансформатор ТС3-100/0,66.

Срок окупаемости проекта, с учетом всех необходимых затрат, составляет 1 год.

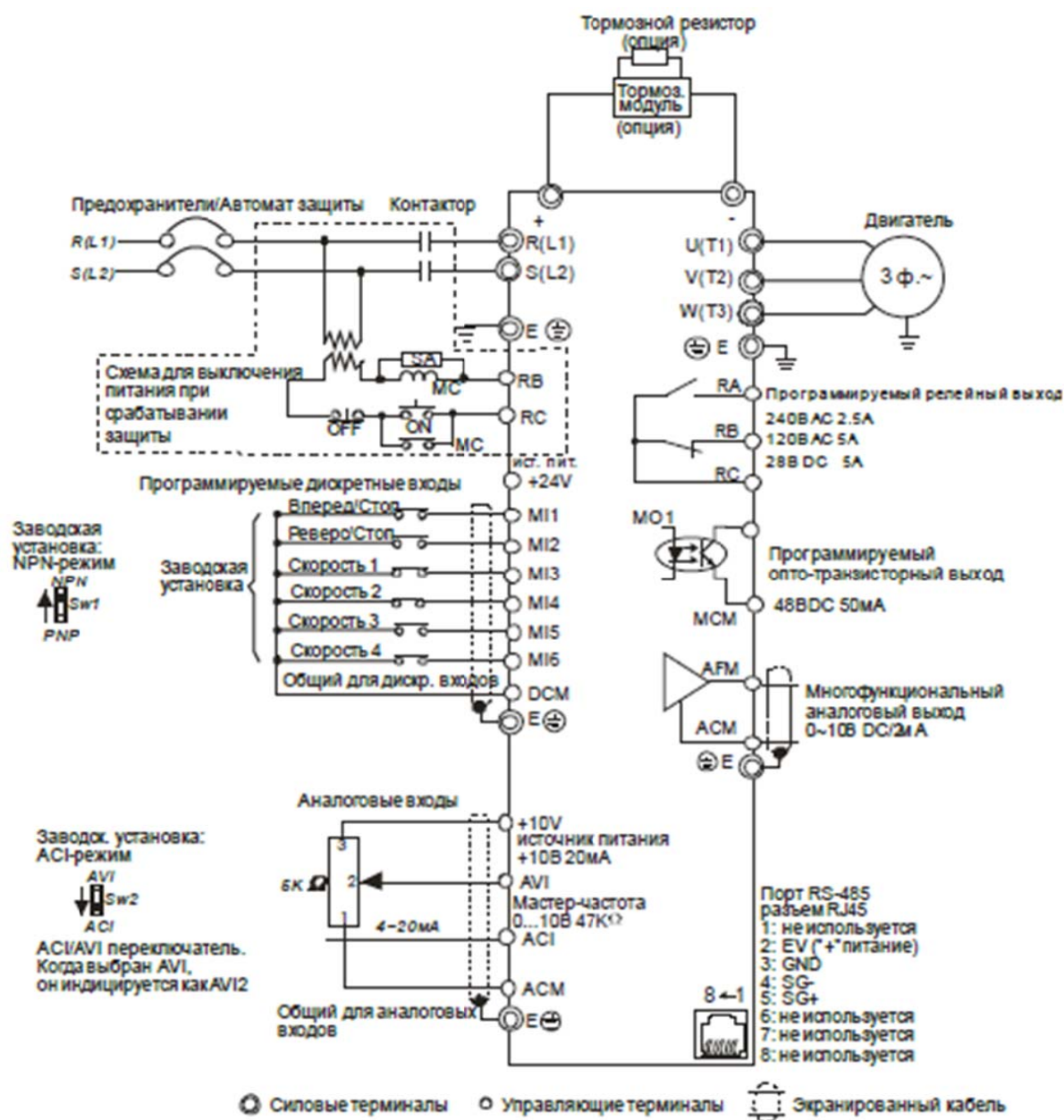


Рис. 2. Силовая схема преобразователя частоты VFD-880-FP4E-45S

Библиографический список

1. **Терехов, В. М.** Системы управления электроприводов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Терехов, В. И. Осипов. – М. : Издательский центр «Академия», 2011. – 304 с.
2. **Руководство по эксплуатации DELTA ELECTRONICS.** – TAIWAN : DELTA ELECTRONICS.Inc, 2013. – 350 с.
3. **Экономика,** организация и планирование производства : методические указания по дипломному и курсовому проектированию. – Магнитогорск : МГТУ, 2010. – 164 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук К. В. Лицина*

М. В. Бородин

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Орловский государственный аграрный университет им. Н. В. Парахина

В настоящее время многие организации, специалисты и ученые уделяют огромное внимание вопросу повышения и поддержания качества электроэнергии КЭ на уровне нормативных документов. Авторами [1, 2, 5, 7 – 12] указано, что на рынке представлено множество технических устройств, направленных на поддержание показателей качества электроэнергии (ПКЭ) на уровне нормативных документов, но на практике они не всегда используются из-за их высокой стоимости. Поэтому разработка организационных мероприятий повышения качества электроэнергии является актуальной задачей, так как в большинстве случаев стоимость их реализации во много раз меньше, чем установка различных технических устройств. Авторами в трудах [3, 4, 6] предлагаются организационные мероприятия, но они направлены на уменьшение влияния определенного ПКЭ.

Организационные мероприятия, связанные с обеспечением и поддержанием КЭ на уровне нормативных документов, должны быть результатом стратегии, воплощенной в технической политике отраслей, организаций, непосредственно заинтересованных в ее реализации. Для повышения и поддержания КЭ на уровне нормативных документов, предлагается использовать следующие организационные мероприятия:

1. Соблюдение условий договора между потребителем и энергоснабжающей организацией, направленных на обеспечение качества электроэнергии.
2. Сертификация качества электроэнергии.
3. Создание отдела (структурного подразделения) по управлению качеством электроэнергии.
4. Разработка и применение нормативных документов и правил, определяющих нормы КЭ и условия их обеспечения.
5. Обучение электротехнического персонала предприятия по программе «Качество электроэнергии и его обеспечение».

6. Выбрать уровни напряжения в ЦП, удовлетворяющие всех характерных потребителей.

7. Привести в соответствие с расчетными данными режимы работы электрических сетей.

8. Добиваться от вышестоящих энергоснабжающих организаций поддержания в точках поставки КЭ на уровне нормативных документов.

9. Проводить рейды по выявлению потребителей, которые искажают КЭ.

6. Разработка на предприятии организационно-структурной схемы управления КЭ.

7. Назначение на предприятии ответственного за КЭ.

8. Создание мотиваций для поддержания КЭ (мотивация ответственного за КЭ и иных лиц).

10. Разработка графиков проведения измерений КЭ на предприятии с указанием точки проведения измерений.

11. Организация проведения измерения ПКЭ на предприятии.

12. Определение источника искажения КЭ (Расчеты (моделирование), анализ паспортных данных оборудования и т.д.).

13. Периодическое ведение отчетности по результатам измерения КЭ.

14. Рассмотрение динамики изменения КЭ за год (собранную информацию свести в единую базу данных и постоянно ее обновлять).

15. Разработка мероприятий и назначение ответственных по устранению несоответствия КЭ нормативным значениям.

16. Проведение технико-экономического обоснования установки технических устройств, направленных на повышение качества электроэнергии.

Реализация подобных мероприятий позволит значительно облегчить контроль и обеспечение всех ПКЭ, в первую очередь, за счет постоянного мониторинга КЭ, принятия решений, обеспечивающих соблюдение КЭ на этапе эксплуатации электрических сетей. Для внедрения предложенных организационных мероприятий в жизнь необходимо провести большую работу по техническому и кадровому обеспечению специализированных служб. В процессе создания плана мероприятий некоторые из указанных мероприятий могут быть расширены, некоторые – исчезнуть (если выполнены ранее).

Библиографический список

1. **Бородин, М. В.** Оценка фактического качества электроэнергии и анализ количества обращений по поводу несоответствия качества электроэнергии нормативным значениям / М. В. Бородин, А. И. Псарев // Агротехника и энергообеспечение. – 2017. – № 4 (17). – С. 54 – 62.

2. **Мешков, Б. Н.** Диагностика повреждений воздушных линий электропередачи в распределительном сетевом комплексе 10 кВ / Б. Н. Мешков, В. А. Чернышов // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 2(12). – С. 87 – 91.

3. **Астахов, С. М.** Состояние и пути повышения эффективности функционирования распределительных сетей в агропромышленном комплексе / С. М. Астахов, Р. П. Беликов // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2011. – № 2(29). – С. 106 – 108.

4. **Бородин, М. В.** Разработка мероприятий по сокращению потерь электроэнергии в филиале ОАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго» / М. В. Бородин, Ю. А. Волченков, А. В. Виноградов // Вестник НГИЭИ. – 2015. – № 8 (51). – С. 5 – 11.
5. **Бородин, М. В.** Обеспечение качества электроэнергии в системах электроснабжения / М. В. Бородин, В. И. Зелюкин // Агротехника и энергообеспечение. – 2014. – Т. 1, № 1. – С. 440 – 442.
6. **Гришин, А. В.** Технологические аспекты сбережения энергоресурсов / А. В. Гришин, М. В. Бородин // Современные проблемы обеспечения экологической безопасности : сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Орел : ОГУ имени И. С. Тургенева, 2017. – С. 104 – 106.
7. **Виноградова, А. В.** Об увеличении потерь электроэнергии в ЛЭП вследствие изменений в проектировании с учетом увеличения допустимых отклонений напряжения согласно ГОСТ 54149-2010 / А. В. Виноградова, А. Скробов // Вестник НГИЭИ. – 2013. – № 6 (25). – С. 16 – 19.
8. **Бородин, М. В.** Принцип корректировки стоимости потребленной электроэнергии в зависимости от ее качества / М. В. Бородин // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2013. – № 184-1. – С. 165 – 171.
9. **Бородин, М. В.** Обоснование энергоэффективного сечения линий электропередач при отклонениях напряжения $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ / М. В. Бородин, Н. С. Урюпин // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 2(81). – С. 20 – 29.
10. **Бородин, М. В.** Качество электроэнергии в электрохозяйствах АПК Ливенского района Орловской области // Ресурсосберегающие технологии при хранении и переработке сельскохозяйственной продукции : материалы XIV Международного научно-практического семинара / М. В. Бородин. – 2018. – С. 157 – 162.
11. **Бородин, М. В.** Редакция методики корректировки стоимости потребленной электроэнергии в зависимости от ее качества и алгоритм ее реализации в соответствии с ГОСТ на качество электроэнергии / М. В. Бородин, А. В. Виноградов // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 4(83). – С. 54 – 64.

Н. А. Глотов, М. С. Демидов

ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ СВЯЗИ ZIGBEE В СИСТЕМАХ С МНОЖЕСТВОМ ОПЕРАТОРОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭНЕРГОСЕТЕЙ

Тамбовский государственный технический университет

Основные области применения ZigBee – передача информации от движущихся механизмов (например, роботов), систем управления в промышленности, сбор показаний с интеллектуальных датчиков и разнообразных приборов учета, системы охраны, то есть обеспечение связи между устройствами в автоматизированных системах [1].

Для сетей ZigBee характерны достаточно скромные показатели скорости передачи и расстояния между узлами, при этом оборудование может длительно работать от автономных источников питания.

Кроме того, технология ZigBee позволяет создавать самоорганизующиеся и самовосстанавливающиеся сети. Устойчивость сети объясняется возможностью ретрансляции передаваемых данных через множество узлов в сети. В случае выхода из строя или выключения одного из узлов сеть автоматически находит новый маршрут передачи данных. При включении питания устройства сеть снова включает его в свой состав. Благодаря этому сеть просто разворачивается и легко масштабируется путем простого присоединения дополнительных устройств [2].

Устройства ZigBee используют преимущественно частотный диапазон 2,4 ГГц, так как в этом случае достигается максимальная скорость передачи и высокая помехоустойчивость. Стандартом предусматривается также использование частот 868 МГц и 915 МГц. Диапазон 868 МГц применяется в Европе, а 915 МГц – в США. Диапазон 2,4 ГГц разделен на 16 каналов, по 5 МГц каждый. При обмене данными выбирается канал с минимальным уровнем помех. Скорость передачи данных вместе со служебной информацией, необходимой для работы протокола, составляет 250 кбит/с. При этом средняя пропускная способность, приходящаяся на полезные данные, зависит от загруженности сети и количества ретрансляций и находится в диапазоне от 5 до 40 кбит/с. Максимальное расстояние между узлами, при котором возможен обмен данными, зависит как от мощности передатчика, так и от условий распространения радиоволн в зоне узла. Наиболее широкое распространение получили передатчики мощностью 1 мВт, обеспечивающие связь на расстоянии до 10 м в помещении и до 100 м – на открытом воздухе. Спецификацией ZigBee предусмотрено три типа устройств: координатор, маршрутизатор и конечное устройство. Координатор выполняет функции инициализации и управления узлами сети, обработки и хранения информации о настройках каждого узла, задает номер частотного канала, по которому следует передавать данные. Координатор в процессе работы может служить источником, приемником и ретранслятором сообщений. Маршрутизатор, отвечает за выбор пути доставки сообщения, передаваемого от одного узла к другому, в процессе работы также может быть источником, приемником и ретранслятором сообщений. Конечное устройство не участвует в управлении сетью, ретрансляции сообщений, это лишь источник и приемник сообщений [3].

Основным преимуществом технологии ZigBee является наличие библиотек, поддерживающих не только простые беспроводные соединения («точка-точка» и «звезда»), но и сложные самоорганизующиеся сети с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений [4].

Библиографический список

1. **Кошкин, А. Н.** Электроснабжение и электрооборудование промышленных предприятий: учебно-методическое пособие / А. Н. Кошкин, Л. А. Федотова. – Екатеринбург : Изд-во УГТУ – УПИ, 2010. – 101 с.
2. **Кошкин, А. Н.** Энергосбережение, аудит электрооборудования: учебное пособие / А. Н. Кошкин. – Екатеринбург : Изд-во УГТУ – УПИ, 2010. – 150 с.
3. **Власов, А. И.** Принципы построения и развертывания информационной системы предприятия электронной отрасли / А. И. Власов, А. Е. Михненко // Производство электроники: технологии оборудование, материалы. – 2006. – № 4. – С. 5 – 12.

4. **Власов, А. И.** Информационно-управляющие системы для производителей электроники / А. И. Власов, А. Е. Михненко // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. – 2006. – № 3. – С. 5 – 21.

*Работа выполнена под руководством
к.т.н., доц. С. П. Москвитина*

М. А. Голиков, О. В. Юрьев, Е. А. Печегин

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Тамбовский государственный технический университет

Железнодорожный транспорт является основным способом передвижения сотни миллионов человек достаточно долгое время. Выпуск первых вагонов начался еще в далеком XVIII веке. С тех пор вагоны претерпели кардинальные изменения не только внешне, но и внутренне. Особенно это касается электрической части вагона.

Современный вагон просто невозможно представить без четкой энергосистемы. Вагонное электрооборудование предназначено для освещения вагона, отопления, радиовещания, работы приборов связи, вентиляции помещения с подачей наружного воздуха в вагон объемом 20...25 м³/ч на одного пассажира. Данное вагонное электрооборудование создает комфорт пассажирам, обеспечивает безопасное движение по пути следования и облегчение труда проводника.

С каждым годом уровень электрической нагрузки на вагон растет, в связи с этим необходима установка и последующее усовершенствование устройств защиты вагона от сбоев электросистемы. На вагонах управление всей электросистемой производится с передней панели распределительного щита (рис. 1). На ней указаны назначение и действие каждого элемента (рис. 1).

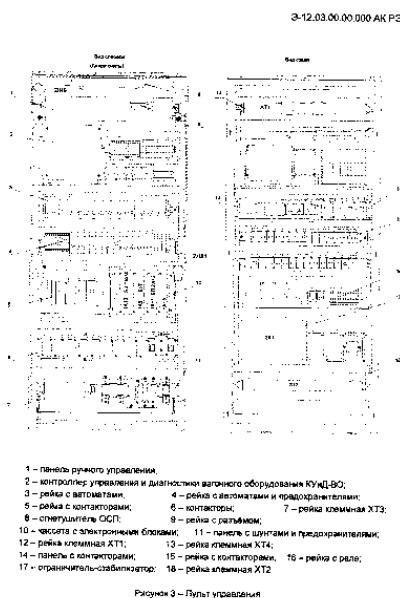


Рис. 1. Вид и устройство распределительного щита

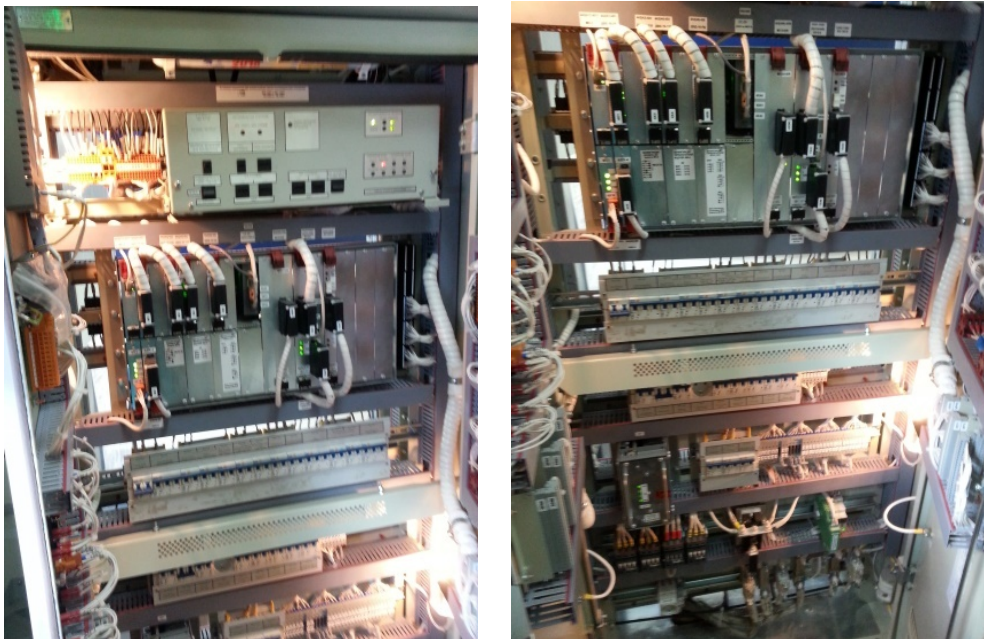


Рис. 2. Внутреннее устройство распределительного щита

Такое решение помогает проводнику предотвратить или обнаружить неисправность заранее и ликвидировать на месте.

Помимо сигнальных светодиодов, в щите установлены ряд устройств защиты, которые срабатывают как автоматически, так и механически.

В первую очередь это автоматы, которые срабатывают при пиковом значении на узлах магистрали, водоохладителе и циркуляционном насосе (рис. 2).

Одним из основных элементов является дифференцированная защита, которая выполняет защиту высоковольтного отопления от перегрузки. Все функции защиты в щите управления сведены в единый электронный блок защиты (БЗ) (рис. 3).



Рис. 3. Блок защиты (БЗ)

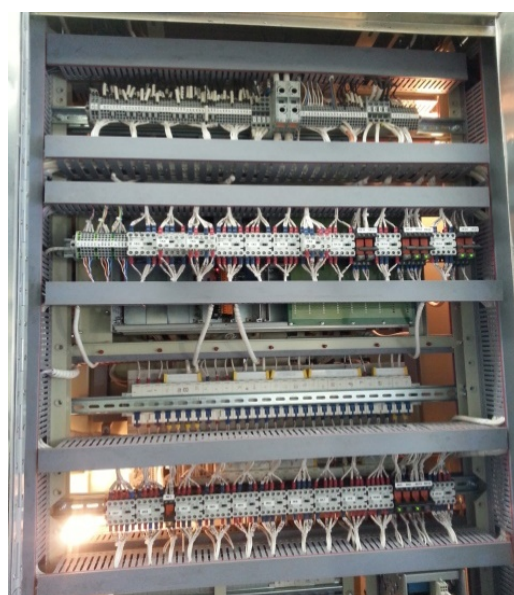


Рис. 4. Распределительный щит (вид сзади)

Этот блок контролирует и защищает повышения амплитудного напряжения в линии осветительной нагрузки, предотвращает повышение среднего напряжения более 60 В. В функции блока БЗ входит защита от обрыва фаз генератора, а также перегорание одного из предохранителей. Производит защиту от перегорания предохранителя в аккумуляторной батарее. При возникновении одной из перечисленных неисправностей срабатывает реле максимальных напряжений, включает реле, которое отключает контактор, отключающий обмотку возбуждения генератора и лампы, т.е. произошло аварийное отключение (рис. 4).

Таким образом, современный пассажирский вагон достаточно нагружен электрооборудованием, нуждающимся в защите от возможного повреждения. По мере установки на вагон нового и дорогостоящего электрооборудования, обеспечивающего комфорт пассажиров, возникает необходимость в своевременном обеспечении защиты установленного на вагоне электрооборудования и питающих сетей.

Библиографический список

1. URL : <https://studfiles.net/preview/1856678/>
2. URL : <https://helpiks.org/5-70077.html>
3. URL : <https://lektsia.com/1x8a9c.html>
4. **Квазиустойчивое** состояние плоских проводников в условиях различной токовой интенсивности / В. М. Иванов и [др.] // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – Тамбов : ИД «Державинский». – Т. 23, № 122. – С. 109 – 112.

М. С. Демидов, Н. А. Глотов, С. П. Москвитин

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ С МНОЖЕСТВОМ ОПЕРАТОРОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Тамбовский государственный технический университет

Основные функции энергосистемы заключаются в доставке электроэнергии от поставщика потребителю и в передаче информации о пользовании энергоресурсами в центр обработки данных. Преимущества современной энергосистемы в том, что поставщику предоставляется возможность мониторинга в реальном времени полной информации об электроэнергии – произведенной, переданной и потребленной. Наличие такого инструмента позволяет получать актуальную информацию о текущем состоянии энергосистемы и благодаря оперативному контролю обеспечивать ее надежность [1].

Информационный обмен данными необходим для автоматизации процессов сбора и обработки показаний приборов. В условиях массового применения счетчиков учета потребленной электроэнергии, получивших популярность в последнее время, оперативный анализ поступающих данных об энергопотреблении без использования автоматизированных систем представляет собой достаточно сложную задачу [1]. Ее решение дает возможность потребителю получать подробную информацию об используемой

электроэнергии и оптимизировать расход энергоресурсов, снижая тем самым общую нагрузку на энергосистему.

Таким образом, обеспечение информационных потоков от конечных устройств учета электроэнергии – одна из основных задач на пути повышения энергоэффективности как генерирующими компаниями, так и потребителями.

АСТУЭ – программно-аппаратный комплекс, который представляет собой сеть цифровых счетчиков электроэнергии, установленных на местах потребления, которые передают информацию об энергопотреблении на сервер [2]. Можно выделить локальные и дистанционные АСТУЭ. По названию локальные системы работают в пределах локальной компьютерной сети предприятия. Дистанционные используют для работы удаленный сервер, доступ к которому осуществляется через Интернет. На рисунке 1 представлена структурная схема дистанционной АСТУЭ.

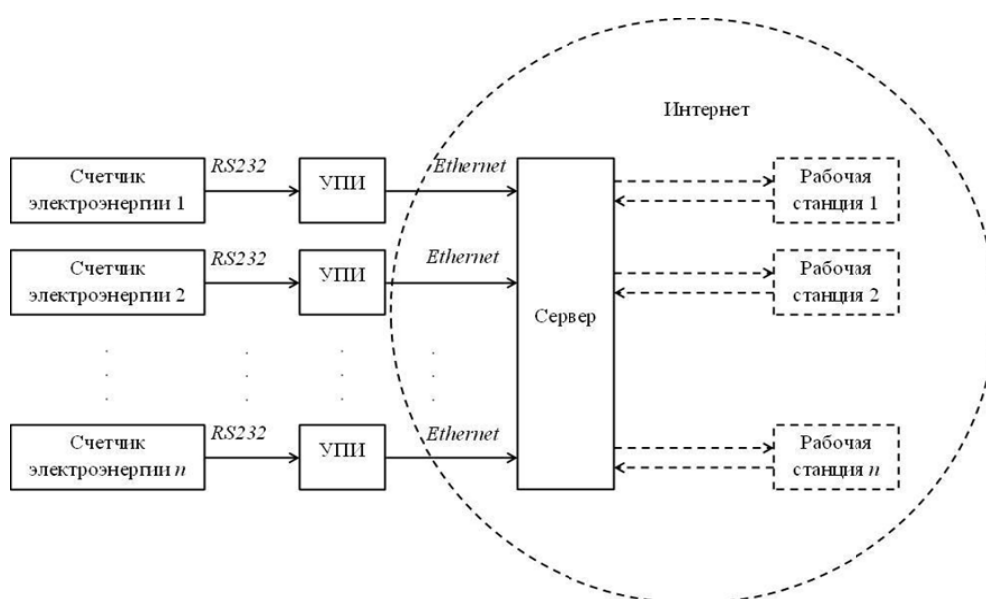


Рис. 1. Структурная схема дистанционной АСТУЭ

В случае дистанционной АСТУЭ локальный сервер базы данных отсутствует, и пересылка данных к удаленному серверу осуществляется непосредственно УПИ, которое применяется в обеих системах [3]. Структурная схема УПИ представлена на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема УПИ

Центральным в УПИ является устройство управления (УУ), с помощью которого осуществляется преобразование интерфейсов RS-232 в Ethernet, являющихся обязательными компонентами схемы [4]. Для формирования физического уровня интерфейса RS-232 применяется универсальный асинхронный приемопередатчик (UART). Используется специальная схема управления питанием UART, наличие которого отображается с помощью индикатора. Для временного хранения данных, преобразуемых в Ethernet-пакет, используется «Буфер», а для длительного хранения применяется «Внутренняя память». Принцип работы УПИ заключается в следующем. Сигнал со счетчика поступает через интерфейс RS-232, принимается блоком UART и декодируется. Затем сигнал поступает в УУ и данные записываются в буфер. После того, как необходимая для формирования Ethernet-пакета порция данных собрана, данные считываются из буфера, упаковываются в пакет и передаются по интерфейсу Ethernet.

Внедрение АСТУЭ – первый шаг на пути энергосбережения, позволяющего собирать, обрабатывать и анализировать энергопотребление. На основе полученных данных находятся точки нерационального потребления электроэнергии и применяются методы по повышению энергоэффективности.

Библиографический список

1. Кошкин, А. Н. Электроснабжение и электрооборудование промышленных предприятий : учебно-методическое пособие / А. Н. Кошкин, Л. А. Федотова. – Екатеринбург : Изд-во УГТУ – УПИ, 2010. – 101 с.
2. Кошкин, А. Н. Энергосбережение, аудит электрооборудования: учебное пособие / А. Н. Кошкин. – Екатеринбург : Изд-во УГТУ – УПИ, 2010. – 150 с.
3. Власов, А. И. Принципы построения и развертывания информационной системы предприятия электронной отрасли / А. И. Власов, А. Е. Михненко // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. – 2006. – № 4. – С. 5 – 12.
4. Власов, А. И. Информационно-управляющие системы для производителей электроники / А. И. Власов, А. Е. Михненко // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. – 2006. – № 3. – С. 5 – 21.

Д. Ю. Дергунов, П. Н. Левин

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СОСТАВА УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ В МЕЛЬНИЦЕ

Липецкий государственный технический университет

Пылеугольное топливо, вдуваемое в доменные печи, обычно характеризуется процентным содержанием определенной фракции или средним размером частиц.

Размер частиц угольной пыли существенным образом влияет на время ее сгорания в фурменной зоне доменной печи.

Переизмельчение угольной пыли увеличивает энергозатраты на помол, ухудшает транспортировку, т.к. мелкие частицы имеют склонность к слипанию.

С огрублением помола затрудняется сгорание пыли в окислительной зоне доменной печи.

Устранение указанных недостатков возможно при использовании автоматической системы, которая будет выполнять непрерывный анализ фракции угольной пыли и передачу данных в контроллер, дальнейшее управление электроприводом и поддержание заданного значения фракции.

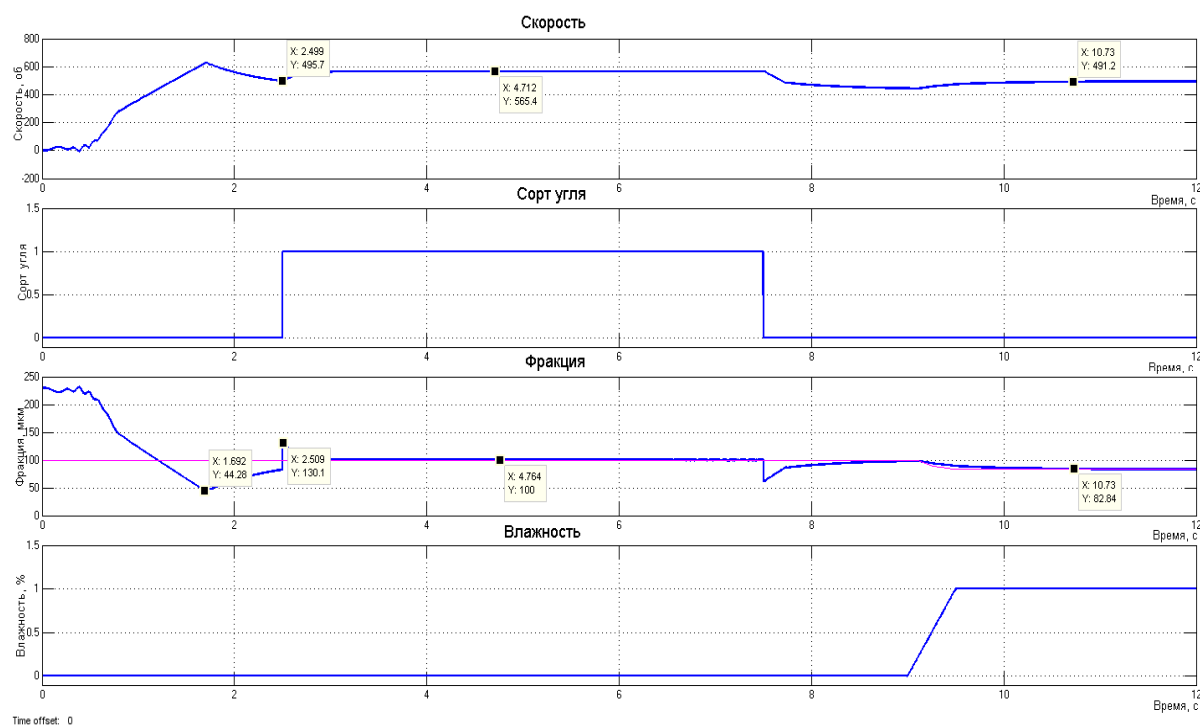


Рис. 1. Результаты моделирования работы электропривода, обеспечивающего автоматическое регулирование

Для управления электроприводом используется ПИ-регулятор в программе контроллера. Для задания определенного размера фракции используется задатчик на основе нечеткой логики, который формирует задание на основании влажности угля.

По результатам работы видно, что с использованием системы можно обеспечить постоянство фракции на всем периоде производства пыли.

Библиографический список

1. **Кочура, В. В.** Исследование и оптимизация фракционного состава пылеугольного топлива, вдуваемого в горн доменных печей / В. В. Кочура, С. Л. Ярошевский, В. В. Брага. – М. : Энергоатомиздат, 2008. – 208 с.
2. **Леоненков, А. В.** Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

ИЗУЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЭП И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕДАЧИ МОЩНОСТИ

Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова
НИТУ «МИСиС»

Электрическая энергия играет важную роль в жизни каждого потребителя. Она используется почти повсеместно. Большая часть производимой энергии приходится на промышленность. Так же крупным потребителем энергии является – освещение улиц, жилищ, бытовые и производственные нужды сел и деревень.

Из всех видов энергии электрическая выделяется тем, что ее мощные потоки можно практически мгновенно передавать на многокилометровые расстояния. И для таких энергетических рек «течением» служат линии электропередач (ЛЭП). Большинство ЛЭП конструируют в воздушном исполнении.

Актуальной задачей является исследование влияния электрических параметров линии на регулирование мощности, передаваемой ЛЭП, и на поддержание нормального режима ее передачи. К таким параметрам относятся сопротивления и проводимости проводов ВЛ и жил кабелей, равномерно распределенные по длине линии.

Активные и реактивные мощности являются основными характеристиками линии электропередачи, к ним же относят напряжения и токи по концам линии. Все эти величины являются параметрами режима.

Рассмотрим взятую нами проблему на примере:

Таблица 1

Тип провода	Длина линии ВЛ, м	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	b_0 , мкСм/км	Номинальное напряжение, кВт	$I_{\text{доп}}$, А	P_{max} , МВт
АС-70	50	0,42	0,444	2,55	110	265	50

Рассчитаем активное R , индуктивное X сопротивления и емкостную проводимость B исследуемой ВЛ по следующим формулам:

$$R = r_0 l ;$$

$$X = x_0 l ;$$

$$B = b_0 l .$$

С помощью специального программного пакета RastrWin рассчитаем основные характеристики линии в некоторых основных режимах.

В качестве первого режима используем режим *холостого хода* электропередачи без потерь. Данный режим – это идеализированный случай без учета активного сопротивления и проводимости, характеризующийся *стоячими* волнами, не переносящими активной мощности вдоль линий. В данном случае имеют место пульсации волн, которым отвечает обмен реактивной мощностью Q между емкостью и индуктивностью ЛЭП,

Таблица 2

№	Задано			Измерено					Вычислено						
	P_2 ,	Q_2 ,	U_1 ,	U_2 ,	I_1 ,	I_2 ,	P_1 ,	Q_1 ,	S_1 ,	S_2 ,	ΔP ,	ΔQ ,	η ,	ΔU ,	δU ,
	МВт	Мвар	кВ	кВ	А	А	МВт	Мвар	МВ·А	МВ·А	кВт	квар	%	кВ	%
1	0	0	110	114,9	18	0	0,01	3,54	3,54	0	10	3540	0	-4,85	-4,41
2	12	0	110	112,1	65	62	12,29	3,94	12,91	12	290	3940	97,64	-2,12	-1,93
	24	0	110	109,1	129	127	25,21	5,43	25,79	24	1210	5430	95,2	0,95	0,86
	36	0	110	105,5	199	197	38,9	8,24	39,76	36	2900	8240	92,55	4,47	4,06
	48	0	110	101,4	275	273	53,58	12,72	55,07	48	5580	12720	89,59	8,58	7,8
	60	0	110	96,44	362	359	69,64	19,55	72,33	60	9640	19550	86,16	13,56	12,3
3	12	3	110	111	71	64	12,33	6,99	14,17	12,37	330	3990	97,32	-0,97	-0,88
	24	6	110	106,6	140	134	25,38	11,66	27,93	24,74	1380	5660	94,56	3,38	3,07
	36	9	110	101,6	216	211	39,38	17,95	43,28	37,11	3380	8950	91,42	8,37	7,61
	48	12	110	95,71	304	298	54,74	26,55	60,84	49,48	6740	14550	87,69	14,29	13
	60	15	110	88,15	411	405	72,36	39	82,2	61,85	12360	24000	82,92	21,85	19,9

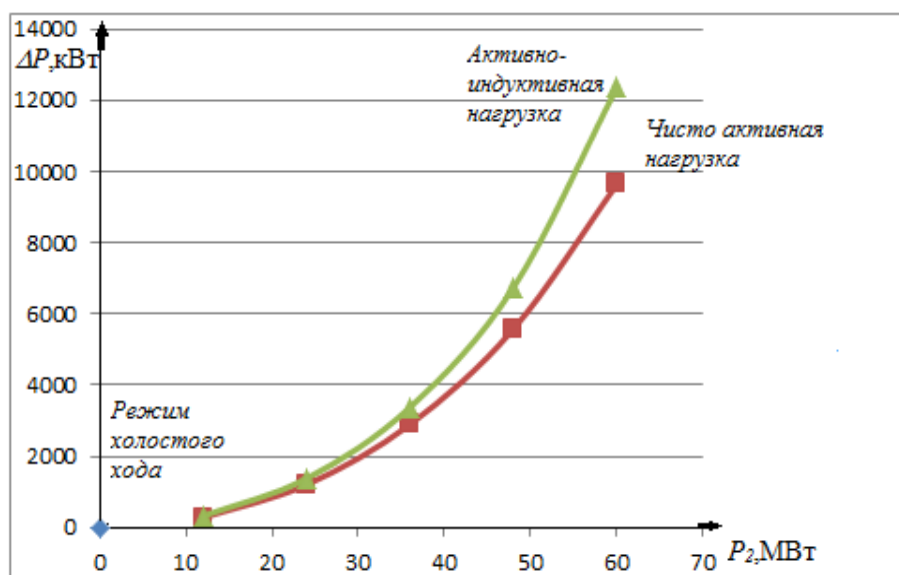
где P_2 – активная мощность в конце линии, равная (0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1) $P_{\max}$, Q_2 – реактивная мощность в конце линии, равная $0,25P_2$.

Второй и третий режимы являются нагрузочными. В первом случае это чисто активная нагрузка, во втором – активно-индуктивная с $\operatorname{tg}\varphi = 0,25$.

Результаты измерений приведены в табл. 2.

Потери активной и реактивной мощностей ΔP и ΔQ были рассчитаны по следующим формулам: $\Delta P = P_1 - P_2$; $\Delta Q = Q_1 - Q_2$;

Построим график зависимостей $\Delta P = f(P_2)$ и $\Delta Q = f(P_2)$ на основе данных табл. 2.



Исходя из полученных данных, можем сделать вывод о передаваемой мощности ЛЭП к потребителям. С увеличением нагрузки потери мощности увеличиваются, как реактивной составляющей, так и активной. Наименьшие потери все же присутствуют при нулевой реактивной мощности в конце ЛЭП или в режиме холостого хода. Зарядная мощность линии при малой загрузке больше потерь, но с ростом мощности нагрузки их разность уменьшается.

Библиографический список

1. **Фролов, Ю. М.** Основы электроснабжения : учеб. пособие / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. – СПб. : Издательство «Лань», 2012. – 418 с.

2. **Файбисович, Д. Л.** Справочник по проектированию электрических сетей [Текст]: учеб. / Д. Л. Файбисович, И. Г. Карапетян, И. М. Шапиро. – М. : Издательство НЦ ЭНАС, 2012 – 352 с.

*Работа выполнена под руководством
доцента кафедры АИСУ Н. П. Моториной*

А. В. Захарова, Р. В. Золотых

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В ПРОГРАММЕ RASTRWIN

*Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова
НИТУ «МИСиС»*

Цель работы: изучение зависимости потерь КПД передачи от активной мощности.
Для исследования возьмем ЛЭП со следующими параметрами

Таблица 1

Тип провода	Длина ВЛ, км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	b_0 , мкСм/км	Номинальное напряжение, кВ	$I_{\text{доп}}$, А	P_{max} , МВт
АС-95	50	0,314	0,434	2,61	110	330	50

В программе RastrWin моделируем линию электропередач заданного типа.

Узлы

Ветви

Токовая нагрузка ЛЭП

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	B_ш	V	Delta	Рай...
1			База	1		110					10,0	0,0	115,5				115,50		
2			Нагр	2		110			10,0								115,47	-0,02	

Узлы

Ветви

Токовая нагрузка ЛЭП

	O	S	Тип	N_нач	N_кон	N_п	I...	Название	R	X	B	Кт/г	N_анц	БД...	P_нач	Q_нач	Na	I_max	I_загр.
1			ЛЭП	1	2			-	0,31	0,43	2,6				-10,00	-0,04		50	

Узлы

Ветви

Токовая нагрузка ЛЭП

	N_нач	N_кон	Название	I_нач	I_кон	Место	к...	N_I(t)	Tс	Iдоп_25	Iдоп...	Iдоп_p...	I/I_dop
1	1	2	-	50	50	ВН							

Выполняем серию опытов с разными видами нагрузки (чисто активная, активно-индуктивная), меняя значение $\text{tg}\varphi = (0,25 \dots 0,5)$. В результате полученных данных, рассчитаем КПД по формуле (1).

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100. \quad (1)$$

В таблице 2 приведены значения, полученные с помощью расчета. Каждая серия опытов представляет собой 5 точек с разных мощностей. По результатам расчета, можно наблюдать, что при увеличении нагрузки P_2 и P_1 , значение КПД будет уменьшаться, это можно наблюдать на рис. 1.

Таблица 2

№ опыта	Задано		
	P_2 , МВт	P_1 , МВт	η , %
1	10	10,1	99,0099
2	20	20,5	97,56098
3	30	31,1	96,46302
4	40	42,1	95,01188
5	50	53,4	93,63296
6	10	10,1	99,0099
7	20	20,5	97,56098
8	30	31,3	95,84665
9	40	42,3	94,56265
10	50	53,8	92,9368
11	10	10,2	98,03922
12	20	20,7	96,61836
13	30	31,5	95,2381
14	40	42,9	93,24009
15	50	54,8	91,24088

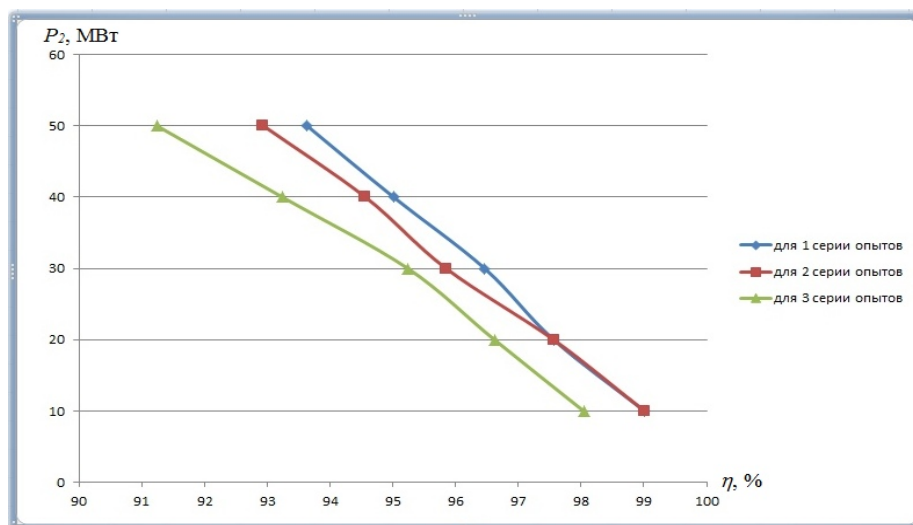


Рис. 1. $\eta = f(P_2)$

Библиографический список

1. **Котляревский, В. А.** Воздушные линии электропередач, подвесные энергетические системы и магистральные трубопроводы / В. А. Котляревский. – М. : Книга по Требованию, 2013. – 266 с.

*Работа выполнена под руководством
доц. Н. П. Моториной*

Е. П. Зацепин, В. И. Зацепина

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И НАДЕЖНОСТЬ В ЭНЕРГЕТИКЕ: БУДУЩЕЕ, ПРОБЛЕМЫ И РЕАЛИИ

Липецкий государственный технический университет

Развитие человечества неразрывно связано с научно-техническим прогрессом. Сейчас мы живем в эпоху новой технологической революции – цифровой, начало которой было заложено 40 лет назад, а сегодня, информационные технологии во многом определяют нашу жизнь. Цифровизация сегодня идет очень высокими темпами, и она пронизывает все сферы нашей жизни.

Если касаться электроэнергетики, то ее инновационное развитие характеризуется интеграцией электросетевой и информационной инфраструктур. Переход к новым системам автоматизации и управления связан с внедрением новых технологий и стандартов (например, МЭК-61850, в котором регламентируются не только вопросы передачи информации между отдельными элементами, но и формализация описания схем подстанций, систем защит, автоматики, измерений, а также конфигурации устройств).

Процесс по цифровизации запущен, о чем свидетельствуют отраслевые программы Минэнерго до 2022 года с большим объемом финансирования.

На первоначальном этапе идет внедрение цифровых подстанций, на которых, в отличие от традиционных, мы освобождаемся от километров контрольных медных кабелей вторичных цепей, от технологий 30-х годов прошлого века передачи аналоговых сигналов, заменяя все это передачей цифровых сигналов по оптоволокну, меняем устаревшие панели на современные терминалы, которые могут «общаться» друг с другом и интегрированы в систему управления электрической сетью. В итоге получаем автоматизированную, удаленно управляемую и гибкую электрическую сеть, элементы которой будут обладать способностью самодиагностики. При этом изменяется сам принцип обслуживания электрооборудования. Энергетика переходит от системы планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию оборудования по его техническому состоянию, что повысит надежность системы, а в будущем позволит в автоматическом режиме управлять активами предприятия.

Основным риском в данном случае являются кадровые изменения, поскольку оборудование уже требует новых компетенций от обслуживающего персонала. В перспективе в отрасли будут трудиться не просто энергетики, разбирающиеся в законах Кирхгофа и эксплуатируемом электрооборудовании, а специалисты, владеющие, в добавок к этому, знаниями в сфере информационных технологий.

Но процесс подготовки такого класса специалистов еще полностью не сформировался. Для этого необходимо государству, ВУЗам, работодателям и компаниям производителям оборудования объединить усилия. Необходимо разработать и сформировать новые компетенции, связанные с информационными системами в энергетике, которые удовлетворяли бы основных работодателей и проводить подготовку специалистов с использованием новых образовательных форматов.

Но увлекшись изучением нового нельзя забывать, что энергетик должен понимать принципы, на которых построена логика работы основного оборудования, поэтому изменение и адаптация учебных программ под новую «цифровую» реальность не должны затрагивать объем базовых знаний по профильным дисциплинам. Поэтому предполагается за период обучения в бакалавриате осваивать в основном компетенции, относящиеся к электроэнергетике, а программу магистратуры усилить компетенциями, связанными с информационными технологиями.

Для специалистов по информационным технологиям необходимо проводить курсы повышения квалификации или профессиональной переподготовки с получением компетенций, относящимся к электроэнергетике, а для специалистов-электроэнергетиков проводить переподготовку по информационным технологиям в энергетическом секторе.

Для выполнения всего задуманного необходима организация региональной дискуссионной площадки, объединенной информационной базой нормативной документации; расширение дистанционных и сетевых форм образования, а также необходимы инвестиции для закупки современного цифрового оборудования в сфере электроэнергетики для актуализации современных лабораторий.

Библиографический список

1. **Зацепин, Е. П.** Формирование управления отказоустойчивого функционирования систем электроснабжения [Текст] : монография / Е. П. Зацепин. – Липецк, 2018.
2. **Zatsepina, V. I.** Relibility of power supply systems under the influence of negative factors [Text] / V. I. Zatsepina, E. P. Zatsepin. – 2017 International Conference on Industrial Engeneering, 2017.
3. **Проблемы** и перспективы развития распределения генерации [Текст] / А. Н. Шпиганович, Э. А. Качура и др. // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2011. – № 1(23). – С. 38 – 41.

Н. М. Зяблов, Е. Р. Лукашина, М. Ю. Авдеева

МНОГОСЛОЙНЫЙ ПЕРСЕПТРОН В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Тамбовский государственный технический университет

Перцептрон, или персептрон [nb 1] (англ. perceptron от лат. perceptio – восприятие; нем. Perzeptron) – математическая или компьютерная модель восприятия информации мозгом (кибернетическая модель мозга), предложенная Фрэнком Розенблаттом

в 1957 году и впервые реализованная в виде электронной машины «Марк-1» [nb 2] в 1960 году. Перцептрон стал одной из первых моделей нейросетей, а «Марк-1» – первым в мире нейрокомпьютером.

Перцептрон состоит из трех типов элементов, а именно: поступающие от датчиков сигналы передаются ассоциативным элементам, а затем реагирующим элементам. Таким образом, перцептроны позволяют создать набор «ассоциаций» между входными стимулами и необходимой реакцией на выходе. В биологическом плане это соответствует преобразованию, например, зрительной информации в физиологический ответ от двигательных нейронов.

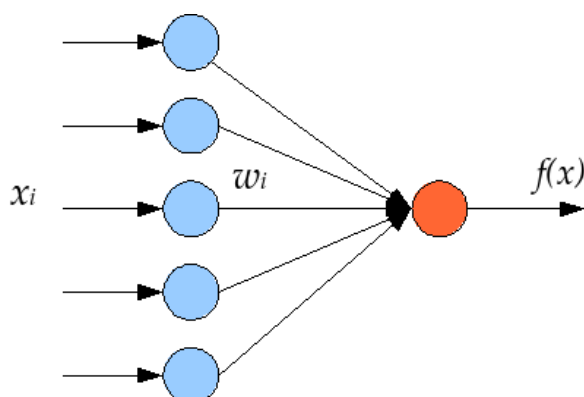


Рис. 1. Однослойный перцептрон

На рисунке 1 x_i – входной сигнал, w_i – вес нейрона, $f(x)$ – функция активации нейрона. Входной сигнал может быть представлен вектором, матрицей, бинарным кодом и так далее. Вес нейрона – ключевой момент нейронной сети, процесс обучения подразумевает настройку весов нейронов таким образом, чтобы на выходе системы был требуемый результат (в случае обучения с учителем – заранее заданные параметры). Функция активации определяет поведение нейрона в целом.

Многослойный перцептрон – частный случай перцептрона Розенблатта, в котором один алгоритм обратного распространения ошибки обучает все слои.

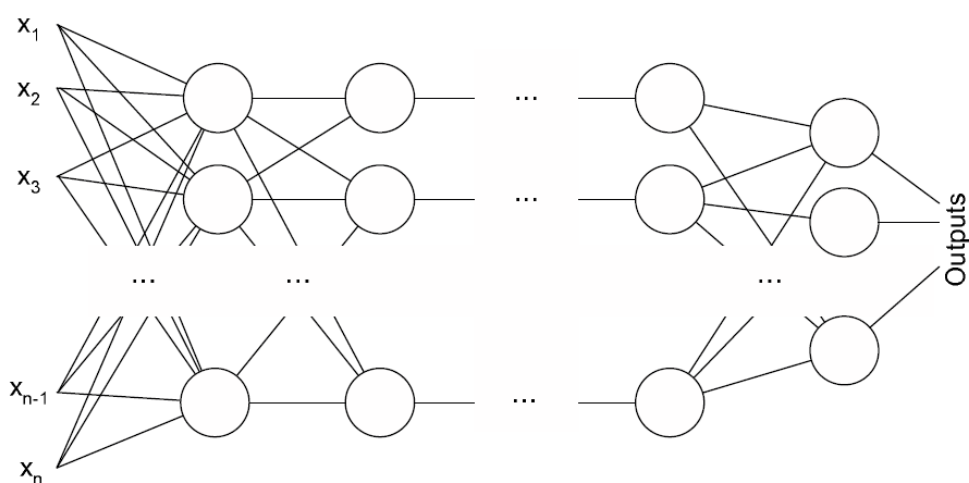


Рис. 2. Многослойный перцептрон

Особенностью является наличие более чем одного обучаемого слоя (как правило – два или три). Необходимость в большом количестве обучаемых слоев отпадает, так как теоретически единственного скрытого слоя достаточно, чтобы перекодировать входное представление таким образом, чтобы получить линейную разделимость для выходного представления. Многослойный персептрон является достаточно часто используемой структурой нейронной сети ввиду своей универсальности.

Библиографический список

1. **Яковлев, С.** Способ математического расчета уровня активации нейронной сети – ССМ. Proceedings of the International Conference “Traditions and Innovations in Sustainable Development of Society. Information Technologies”, Rezekne, February 28 – March 2, P. 187 – 194.
2. Прогнозирование бытовой электрической нагрузки с применением нейронных сетей [Текст] / Н. М. Зяблов, Т. И. Чернышова, А. В. Кобелев, С. В. Кочергин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017 – № 1(21). – С. 181 – 190.
3. **Энергетические** каналы диссипации электромагнитной энергии в дефектных проводниках. Ч. 2 / В. М. Иванов и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 332 – 337.

Н. М. Зяблов, О. В. Юрьев, С. В. Кочергин

МЕТОД ОБРАТНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОШИБКИ В НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

В настоящее время широко распространено прогнозирование с помощью искусственных нейронных сетей. В сфере электроэнергетики такое прогнозирование применимо для прогнозирования потребления электрической энергии, качества электрической энергии и т.д.

Для решения задач прогнозирования потребления электрической энергии наиболее хорошо себя показала сеть в виде многослойного персептрона с сигмоидальной функцией активации в скрытом слое и линейной функцией активации в выходном слое. Используемый алгоритм для работы – метод обратного распространения ошибки.

Метод обратного распространения ошибки (англ. backpropagation) – метод вычисления градиента, который используется при обновлении весов многослойного персептрона. Это итеративный градиентный алгоритм, который используется с целью минимизации ошибки работы многослойного персептрона и получения желаемого выхода.

Основная идея этого метода состоит в распространении сигналов ошибки от выходов сети к ее входам, в направлении, обратном прямому распространению сигналов в обычном режиме работы. Для возможности применения метода обратного распространения ошибки передаточная функция нейронов должна быть дифференцируема. Метод является модификацией классического метода градиентного спуска.

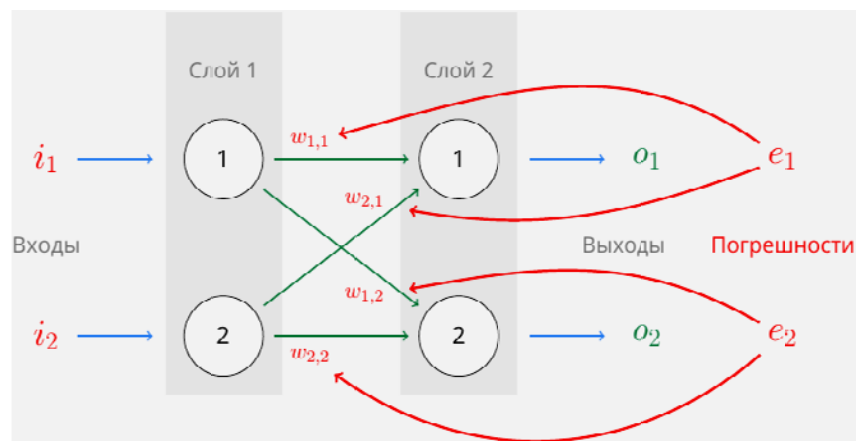


Рис. 1. Общий принцип работы алгоритма обратного распространения ошибки

Суть алгоритма состоит (рис. 1) в том, что расчет ошибок и подстройка весов нейронов происходит в обратном направлении. Реализуется этот алгоритм двумя способами – стохастическим методом и методом пакетного градиентного спуска.

Для пакетного градиентного спуска функция потерь вычисляется для всех образцов вместе взятых после окончания эпохи, и потом вводятся поправки весовых коэффициентов нейрона в соответствии с методом обратного распространения ошибки.

Стохастический метод немедленно после вычисления выхода сети на одном образце вводит поправки в весовые коэффициенты.

К сожалению, при достаточном количестве плюсов и общей универсальности алгоритма у него имеются и минусы. Главным минусом является неопределенный срок обучения, для сложных моделей срок обучения может занять часы и даже дни, происходит это по нескольким причинам:

- риск неограниченного возрастания веса нейрона, который может привести к параличу сети;
- возможность появления локальных минимумов градиентного спуска, из которого алгоритм может не выбраться;
- теория сходимости гласит, что коррекция весов нейронов должна производиться бесконечно малыми, что приведет к бесконечному времени обучения. Выбор правильного размера шага – важная задача в проектировании таких сетей, ведь неверный шаг может привести к неустойчивости и параличу сети.

Библиографический список

1. **Зяблов, Н. М.** Прогнозирование бытовой электрической нагрузки с применением нейронных сетей [Текст] / Н. М. Зяблов и др. // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017 – № 1(21). – С. 181 – 190.
2. **Зарандия, Ж. А.** Методы решения оптимизационных задач электроснабжения / Ж. А. Зарандия, Е. А. Иванов // Энергосбережение и энергоэффективность в технических системах : материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбов, 10 – 12 июля 2017 г. – Тамбов : Изво Першина Р.В., 2017. – С. 312 – 313.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ШИНОПРОВОДОВ ИСКУССТВЕННЫМ УМЕНЬШЕНИЕМ В НИХ СТЕПЕНИ ТОКОВОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Тамбовский государственный технический университет

Надежность в электроэнергетике – многоканальная интегральная характеристика. Один из важнейших каналов – способность проводников выдерживать предельные к разрушению электрические, механические и тепловые нагрузки. В частности, вопросы надежности системы шин распределительных сетей в долговременных и в кратковременных режимах вызывают повышенный интерес в связи с их сложной конфигурацией и габаритами, которые создают опасные участки с повышенной токовой интенсивностью.

Известно, что степень токовой интенсивности напрямую связана с коэффициентами концентрации электромагнитных и механических полей, которые снижают эксплуатационную надежность электрических сетей. С физической точки зрения они представляют сочетания макроскопических неоднородностей различных геометрических форм и размеров, в частности вырезов, отверстий, выпуклостей и впадин, способных создавать потенциальные очаги разрушения. Наличие дефектных зон в проводниках снижает термомеханическую и электродинамическую стойкость, нарушает полевую симметрию, локализуя и концентрируя электромагнитные поля в этой области. Разница в плотностях энергии по объему проводника вызывает силовые, температурные, электрические и магнитные градиенты, приводящие к деформированию и разрушению, а также к зарождению трещин в локальных областях.

Уменьшение токовой интенсивности достигается несколькими способами: механическим удалением или снижением кривизны геометрических неоднородностей, принудительным заполнением полостей металлом проводника или электродинамическим воздействием на дефект с целью его схлопывания (рис. 1).

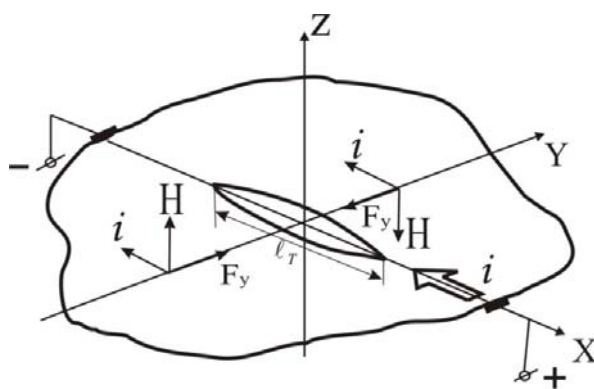


Рис. 1. Модель механизма схлопывания центрального выреза в проводнике с током.

l_T – длина токовой активности выреза; H – напряженность магнитного поля тока на кромке дефекта; F_y – сила Ампера

В этом случае взаимодействие попутных токов вдоль берегов выреза приводит к их сжатию. Полагая, что схлопывание трещины происходит за пределами упругих деформаций и сравнивая с пределом текучести материала σ_T , получим (1) и (2)

$$F_y = \frac{\sigma_T h}{6l_T}; \quad (1)$$

$$j = 0,2 \cdot 10^3 \frac{\sigma_T}{Eb}. \quad (2)$$

Библиографический список

1. **Энергетические** каналы диссипации электромагнитной энергии в дефектных проводниках. Часть 2. / В. М. Иванов и др. // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 179 – 187.
2. **Токовая** интенсивность на шинпроводах с геометрическими неоднородностями / В. М. Иванов и др. // Вестник ТГТУ. – Т. 23, № 2. – Тамбов : Изд-во ТГТУ. – 2017. – С. 188 – 198.

В. М. Иванов, А. В. Кобелев, А. Н. Кагдин, М. Н. Решетов

СВЯЗЬ КРИТЕРИЕВ ПРОЧНОСТИ ПРОВОДНИКОВ С МЕХАНИЗМАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАЗРУШЕНИЯ

Тамбовский государственный технический университет

Среди вопросов и проблем, связанных с надежностью работы проводников и диэлектриков, разрушение занимает особое место. Процесс разрушения может быть описан как результат зарождения и последующего роста трещины. Началу разрушения предшествует пластическая деформация, а ее появление указывает на один из важных факторов внутреннего ресурса прочности материала. В зоне разрушения размер зародившейся микротрещины находится через критический коэффициент интенсивности напряжений или вязкость разрушения. Все эти факторы тесно связаны с генерируемыми электромагнитными полями непосредственно в проводнике. Дело в том, что протекание тока по проводнику генерирует магнитное поле, которое взаимодействует с протекающим током и, согласно закону Ампера, порождает механические усилия, направленные в тело проводника. Возникает объемное напряженное состояние сжатия (пинч-эффект), давление от которого при определенных параметрах тока может достигать предела текучести материала проводника. Пластическое течение материала влечет, как правило, зарождение микротрещины и начало разрушения. Геометрические неоднородности являются источниками повышенной токовой интенсивности. Вокруг них возникают локальные участки с увеличенной плотностью электромагнитной энергии, критические значения которой определяют соответствующие механизмы разрушения [1].

Найдена зависимость коэффициента интенсивности напряжений k_{1c} от степени токовой интенсивности K . Известно [2], что k_{1c} связан с механическим напряжением и длиной зародившейся трещины, а степень токовой интенсивности K – с предельным состоянием материала в зависимости от механизмов разрушения. Очевидно, существует критический размер трещины, при котором она начинает распространяться. В целом, используя эту зависимость и определяя электродинамические напряжения через коэффициент токовой интенсивности K , получим связь между k_{1c} и K :

$$k_{1c} = 4K\sqrt{\pi l} . \quad (1)$$

Таким образом, получена численная зависимость критерия вязкости разрушения от степени токовой интенсивности. Оба критерия являются показателем надежности работы шинопроводов с различными геометрическими неоднородностями.

Показано, что воздействие электромагнитной энергии на геометрически неоднородную зону в проводнике связано с различными механизмами разрушения, которые приводят к потере устойчивости проводников в процессе эксплуатации и влияют на техническое состояние электрических сетей в целом.

Библиографический список

1. **Критерии** надежности электромагнитного разрушения шинопроводов / В. М. Иванов и др. // Вестник ТГТУ. – Т. 23, № 1. – С. 80 – 88.
2. **Основы** экспериментальной механики разрушения / И. М. Керштейн, В. А. Ключников, Е. В. Ломакин, С. А. Шестериков. – М. : Изд. МГУ, 1989. – 140 с.
3. **Энергетические** каналы диссипации электромагнитной энергии в дефектных проводниках. Часть 2 / В. М. Иванов и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 332 – 337.

Д. В. Калашиников, Р. О. Дементьев

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Тамбовский государственный технический университет

Технология автоматизированного моделирования основана на использовании современных информационных технологий. Моделирование является интегрированной технологией, применяющей математическую модель для изучения материальной или нематериальной системы. Рассматривая производственную безопасность в качестве мощного средства научного исследования, моделирование обладает множеством достоинств, таких как: низкий расход, простота эксплуатации, гибкость, отсутствие риска.

При изучении системы энергосбережения вопрос применения компьютерного моделирования играет большую роль, так как при помощи моделирования можно снизить энергозатраты [1 – 5].

Компьютерное моделирование представляет собой моделирование, при котором логико-математическая модель исследуемого объекта является алгоритмом функционирования объекта, реализованного в виде программного комплекса для компьютера.

Для контроля энергозатрат возможно применение на предприятии такого комплекса, как автоматизированное рабочее место. Он импортирует из этих систем исходные данные по расходу топливно-энергетических ресурсов и выпуску продукции, выполняет различные виды расчета, контроля и анализа и на их основе позволяет выявлять непроизводительные энергозатраты и создавать стимулы энергосбережения для каждого работника. Импорт исходных данных осуществляется из имеющихся на объекте систем с помощью специального программного обеспечения, то есть установка дополнительного оборудования не требуется. Имеется также возможность «ручного» ввода исходных данных в комплекс «автоматизированное рабочее место», благодаря чему экономический эффект может быть получен и при отсутствии автоматизированных систем [6].

Преимущества данного комплекса заключаются в том, что путем автоматизации можно обеспечить оптимальные режимы работы оборудования, исключить «холостые» пробеги, ввести регламент работы производственной цепочки, выбрать и заказать энергосберегающее оборудование и средства автоматизации, устранить утечки топливно-энергетических ресурсов [7].

Библиографический список

1. **Муромцев, Д. Ю.** Принципы построения алгоритмического обеспечения систем энергосберегающего управления многомерными технологическими объектами / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, А. О. Гаврилов // ММТТ. – 2017. – С. 19 – 21.
2. **Муромцев, Д. Ю.** Методика выбора алгоритма синтеза управляющих воздействий многомерным технологическим объектом на множестве состояний функционирования / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, В. Н. Шамкин // Информатика и системы управления. – 2017. – С 109 – 118.
3. **Тюрин, И. В.** Алгоритмическое обеспечение решения задач энергосберегающего управления / И. В. Тюрин, Р. А. Токарев, И. Ю. Кошелев // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. материалов. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – С. 118 – 120.
4. **Системы** энергосберегающего управления динамическими объектами с удаленным доступом / Н. Г. Чернышов, П. А. Коломкин, М. С. Баранов, А. С. Рязанов // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах : сб. материалов. – Тамбов : Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – С. 32 – 34.
5. **Система** энергосберегающего управления на базе современного микропроцессорного контроллера / Н. Г. Чернышов, А. С. Рязанов, П. А. Коломкин, Н. С. Баранов. – Устойчивое развитие региона. – 2016. – С. 202 – 205.
6. **Тюрин, И. В.** Принципы энергосберегающего управления сложными динамическими объектами / И. В. Тюрин, М. С. Кузнецова // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах : сб. материалов. – Тамбов : Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – С. 149 – 151.
7. **Тюрин, И. В.** Проектирование микропроцессорных систем энергосберегающего управления сложными технологическими аппаратами / И. В. Тюрин, М. С. Кузнецова. – Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах : сб. материалов. – Тамбов : Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – С. 147–148.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доц. И. В. Тюрина*

А. Н. Кагдин, Е. А. Иванов, Р. В. Тавлаханов, Р. М. Р. Рахи

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРЫ ПРОВОДНИКА И ВОЛНОВОЙ ХАРАКТЕР ЕЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ДЕФЕКТНЫХ ЗОНАХ

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

Сложная технология получения трансформаторной стали приводит к многочисленным нарушениям совершенства структуры и сплошности металлического массива, которые связаны с образованием неметаллических включений преимущественно круглой формы и реже эллиптической. В частности, силициды кремния и его оксиды, являясь непроводящими для электрического тока, существенно влияют на токовую интенсивность в трансформаторной стали и снижают ее магнитные свойства. Взаимодействие электрического и магнитного полей с этими геометрическими неоднородностями или несовершенствами сопровождается рядом эффектов, которые в конечном итоге могут повлиять на прочность и разрушение магнитопровода. Одним из них является сильный локальный нагрев и деформирование металла в этой области, обусловленные повышенной токовой интенсивностью и приводящие к увеличению плотности потока электромагнитной энергии и электродинамических усилий в зоне термического влияния (ЗТВ).

Изменение частоты переменного тока в виде длительности токовой интенсивности отражается в неоднородном тепловыделении на кромках неметаллических включений (рис. 1), которое носит волновой характер, причем длина тепловой волны удовлетворительно коррелирует с размерами деформированной области в ЗТВ, о чем свидетельствует распределение микротвердости (рис. 2).

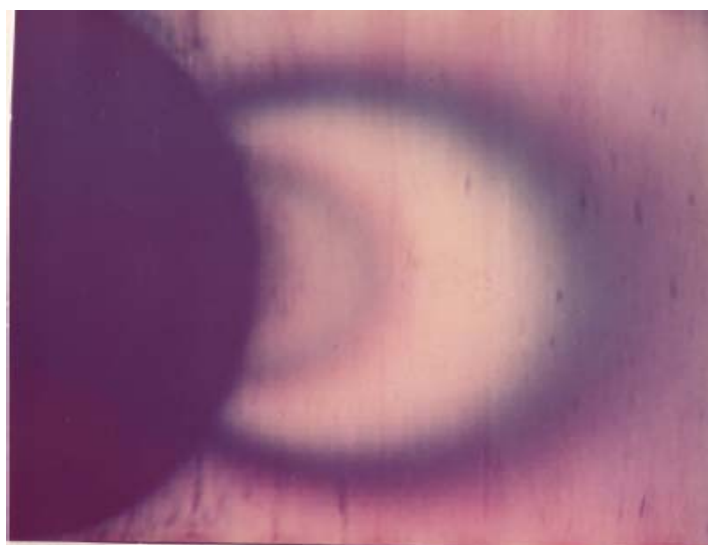


Рис. 1. Картина теплового поля от протекающего тока вокруг неметаллического включения на кромке кратера. Трансформаторная сталь. Увеличение 20^x

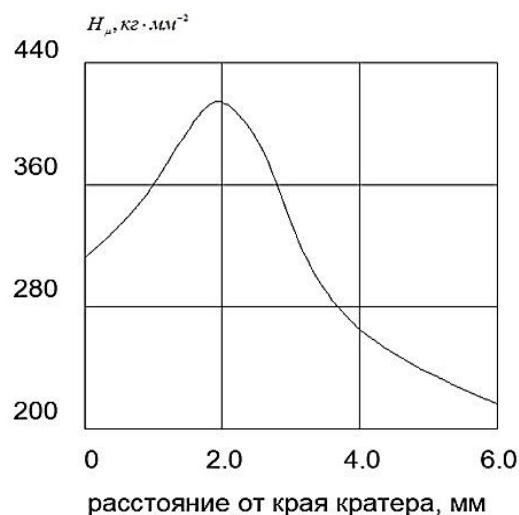


Рис. 2. Распределение микротвердости в ЗТВ. Трансформаторная сталь

В случае коротких импульсов тока (при коротких замыканиях) зона вокруг включений не успевает нагреваться до температуры фазового перехода, но сам ток успевает создать большое по напряженности магнитное поле. В результате взаимодействия тока и поля возникают электродинамические силы, порождающие локальную кратковременную мегапластическую деформацию, которая является причиной резкого изменения структуры (рис. 3) с образованием субмикрозерен с размером наночастиц [1].

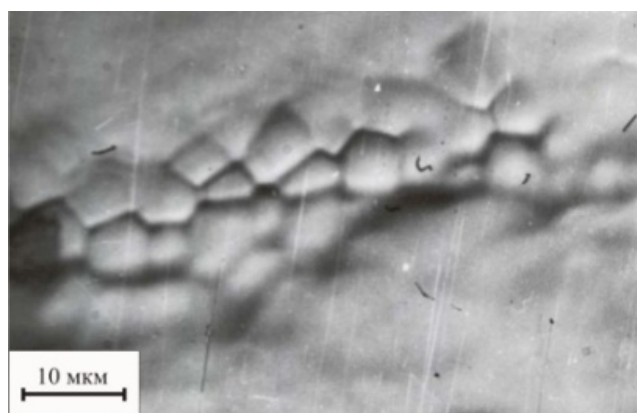


Рис. 3. Субструктура на кромке ЗТВ. Трансформаторная сталь

Библиографический список

1. **Энергетические** каналы диссипации электромагнитной энергии в дефектных проводниках. Ч. 2 / В. М. Иванов и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 1. – С. 332 – 337.
2. **Кочергин, С. В.** Вопросы анализа и моделирования развития электроэнергетических систем / С. В. Кочергин, А. Н. Кагдин, А. В. Кобелев // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : материалы Междунар. конф. с элементами научн. школы // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. Специальный выпуск. – 2014. – № 52. – С. 83 – 86.

УПРОЧНЯЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА В ЗОНАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ

Тамбовский государственный технический университет

Изготовление проводников различных форм и сечений связано с наличием не только структурных дефектов, но и технологических, самым распространенным из которых является отверстие или непроводящее включение круглой или овальной формы. Известно, что отверстия в пластине, нагруженной внешними механическими усилиями, создают концентрацию напряжений, а количественная оценка определяется коэффициентом концентрации. Коэффициент концентрации показывает отношение напряжений на кромке отверстия к средним напряжениям в том участке пластины, где действие концентратора не сказывается. Так, для круглого отверстия в механическом поле напряжений этот коэффициент равен трем. Для более сложных форм отверстий и их ансамблей коэффициент концентрации механических напряжений достигает десяти.

Проводник, испытывающий повышенную концентрацию электромагнитной энергии в зонах технологических отверстий (ЗТО), подвержен изменению структуры по механизмам фазовых превращений и рекристаллизации. В результате ЗТО упрочняется, о чем свидетельствуют картины теплового поля, электродинамических усилий и распределение микротвердости. Преимущество теплового поля вызвано стационарными токами в основном в рабочих режимах, поэтому небольшие температурные градиенты не могут дать большой степени упрочнения ЗТО из-за рекристаллизационных механизмов, поэтому размер зерен уменьшается незначительно. В кратковременных режимах токовая интенсивность повышается, растут температурные градиенты, создающие условия для фазовых превращений. В совокупности с электродинамическими усилиями ЗТО не только сильно нагревается, но и значительно деформируется с образованием субструктурных зерен, степень упрочнения которых значительно больше матрицы. При очень коротких импульсах в режимах короткого замыкания тепловые волны не успевают за электромагнитными, процесс диффузионного нагрева практически отсутствует. В этом случае доминирующим механизмом упрочнения является электродинамический, который зачастую приводит к зарождению микротрещин и последующему разрушению.

В настоящее время хорошо известны все предельные значения токов в проводниках, вызывающих стационарное тепловое разрушение. С другой стороны, распределение электромагнитной энергии по сечению проводника неравномерное и зависит от многих причин. Одна из них заключается в изменении геометрии проводника из-за наличия технологических отверстий. Чаще всего это случается с силовыми шинами распределительных устройств низкого напряжения на трансформаторных подстанциях и подводящих шинах силовых электротехнических установок. Повышение токовой интенсивности при этом вызывает различные степени упрочнения ЗТО в зависимости от размеров отверстий и шин, но не должны превышать критические значения параметров тока.

Таким образом, чтобы оценить надежную и долговечную работу шинопроводов с технологическими отверстиями в силовых электротехнических установках, необходимо

знать степень усиления всех полей на кромках отверстий, большая концентрация которых может привести к авариям.

Библиографический список

1. **Энергетические** каналы диссипации электромагнитной энергии в дефектных проводниках. Ч. 2 / В. М. Иванов и др. // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 179 – 187.
2. **Критерии** надежности электромагнитного разрушения шинопроводов / В. М. Иванов и др. // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23, № 1. – С. 80 – 88.
3. **Энергетические** каналы диссипации электромагнитной энергии в дефектных проводниках. Ч. 2 / В. М. Иванов и др. // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 332 – 337.

В. Н. Кагдин, М. Ю. Высокая, А. Х. С. Садун, Хельвани Мажд

ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В БЫТОВОМ СЕКТОРЕ

Тамбовский государственный технический университет

В последнее время все чаще звучит проблема относительно большего потребления энергоресурсов, в частности, электроэнергии. В России большая часть систем электро-снабжения проектировалась и создавалась еще в СССР под те задачи и нагрузки, которые были необходимы на тот момент. Сейчас эти сети работают с явной перегрузкой ввиду увеличения электропотребителей.

Энергетика страны нуждается в глубокой модернизации. При этом увеличение выработки электроэнергии является далеко не единственной из проблем. Одним из важнейших факторов является доставка электрической энергии до потребителя. Важно понимать, что модернизацию низковольтных электрических сетей, учитывая их количество и протяженность, невозможно осуществить в короткие сроки. В настоящее время быстрым и верным решением может служить экономия. В данный момент рассмотрим бытовой сектор, который отличается наличием большого количества бытовой и микро-процессорной техники.

Бытовые электрические потребители, находясь в режиме ожидания, потребляют электричество в незначительных количествах (1...10 Вт·ч), но учитывая тот факт, что этих устройств достаточно много и в таком режиме они находятся большую часть времени, нежели во включенном состоянии, набегает довольно серьезная цифра.

Произведем расчет годового потребления, а также годовых потерь электроэнергии по формулам:

$$W_{\text{потр}} = P_n t_p, \quad (1)$$

где $W_{\text{потр}}$ – потребленная мощность, кВт·ч; P_n – номинальная мощность электроприемника, кВт; t_p – время работы электроприемника, ч.

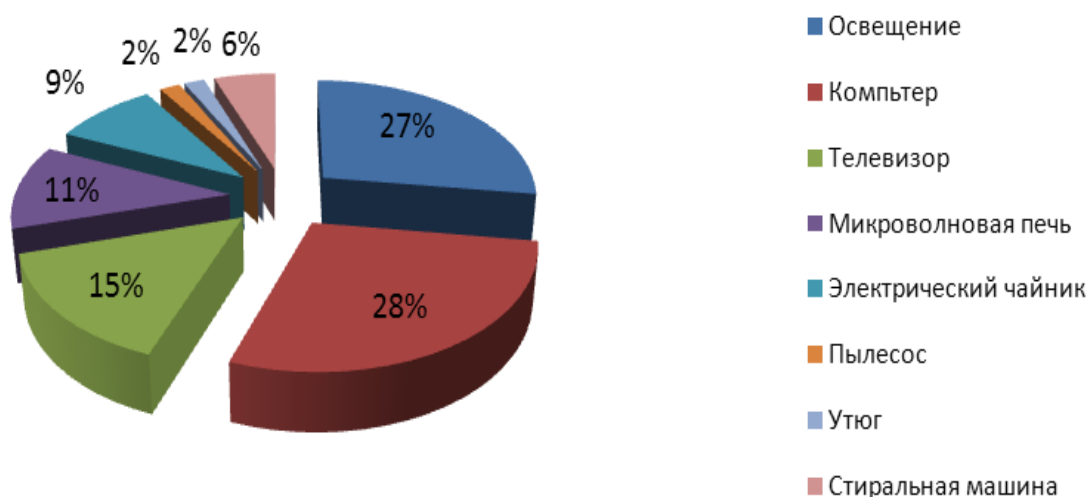


Рис. 1. Среднее потребление электроэнергии

Так, например, компьютер или телевизор в течение суток работает около 3-4 часов, остальное же время (19 – 20 ч) находится в режиме ожидания. Потребление электроэнергии приборов приведены на рис. 1.

Для расчета потерь электрической энергии воспользуемся формулой (2):

$$W_{\text{пот}} = P_{\text{po}} t_{\text{po}}, \quad (2)$$

где $W_{\text{пот}}$ – потери электроэнергии, кВт·ч; P_{po} – мощность режима ожидания электроприемника, кВт; t_{po} – время режима ожидания электроприемника, ч.

Так, например, тот же телевизор за сутки в режиме ожидания может потребить около 105 Вт·ч, соответственно в месяц – 3,25 кВт·ч. Проанализировав подобные результаты остальной бытовой техники можно сделать вывод, что техника в режиме ожидания может потреблять до 20% от среднемесячного потребления электрической энергии. Отключение техники от сети питания в то время, когда человек ей не пользуется может существенно снизить нагрузку на электрические сети, а также сохранить часть средств потребителя в денежном эквиваленте.

Библиографический список

1. **Кагдин, А. Н.** Прибор для мониторинга и экономии электрической энергии / А. Н. Кагдин, С. В. Кочергин, К. И. Терехов // Современные предпосылки развития инновационной экономики : материалы II-й Международной научно-практической конференции / под общ. ред. В. М. Балаковой – Тамбов. – 2014. – С. 29 – 31.
2. **Энергетические** каналы диссипации электромагнитной энергии в дефектных проводниках. Ч. 1 / В. М. Иванов и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 1. – С. 149 – 155.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКОВОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В ШИНОПРОВОДАХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Тамбовский государственный технический университет

В научно-исследовательских экспериментах чаще всего сталкиваются с моделированием физических явлений и применением теории подобия, которое означает взаимно-однозначное соответствие между двумя объектами, при котором функции перехода от параметров, характеризующих один из объектов, к другим параметрам известны, а математические описания этих объектов могут быть преобразованы в тождественные. Электростатическое поле, постоянное магнитное поле, электрическое поле тока в проводящей среде описываются операторным уравнением Лапласа, поэтому каждое из этих полей может служить математической моделью для всех остальных.

Измерение токовой интенсивности проводили на металлических пластинах из нержавеющей стали, поверхность которых представляла мелкую сетку с размером ячейки, равной расстоянию между электродами зонда.

По результатам измерения токовой интенсивности в опытах по электромагнитному моделированию и критериям разрушения по механическому и тепловому механизмам приведены некоторые расчеты для системы шин в электрических сетях низкого напряжения, работающих в различных режимах. В медных шинах прямоугольного сечения критическая плотность тока для электродинамического механизма равна $1,4 \cdot 10^7$ А/м², а для теплового механизма – 10^8 А/м².

Расчеты показывают, что появление опасных электродинамических усилий для медных проводников начинаются со значений токов симметричных коротких замыканий на эллиптических неоднородностях и возрастают с увеличением токовой интенсивности. Очевидно, что более жесткие режимы увеличивают вероятность разрушения проводников по механическому критерию. Тем не менее, полного деформирования проводника не наблюдается из-за локальности действия электродинамических усилий в местах наибольшей токовой интенсивности.

Начало разрушения проводника в локальной зоне повышенной токовой интенсивности по тепловому механизму для медных шин начинается при симметричных коротких замыканиях с острых вырезов, а для шин из алюминия – с тупых. Далее все режимы с повышенными значениями токов считаются опасными.

Таблица 1

Критерий Материал проводника	Механический	Тепловой
	Механический	Тепловой
Медь	$1,4 \cdot 10^7$	10^8
Алюминий	$0,7 \cdot 10^7$	$0,5 \cdot 10^8$

Таким образом, найдены границы токовых режимов, в которых проводники с различными геометрическими неоднородностями подвергаются либо локальному пластическому деформированию активных по токовой интенсивности областей, либо локальному плавлению этих зон. Поэтому в местах повышенной активности тока необходимо увеличивать площадь поперечного сечения проводника или ликвидировать геометрическую неоднородность.

Библиографический список

1. **Токовая** интенсивность в шинопроводах с геометрическими неоднородностями / А. В. Кобелев и др. // Тезисы докладов Третьей Международной студенческой научной конференции. – Тамбов : – Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – С. 88 – 90.
2. **Критерии** надежности электромагнитного разрушения шинопроводов / В. М. Иванов и др. // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23, № 1. – С. 80 – 88.
3. **Энергетические** каналы диссипации электромагнитной энергии в дефектных проводниках. Ч. 2 / В. М. Иванов и др. // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 332 – 337.

А. В. Кобелев, А. Н. Кагдин, А. С. Ступников, М. Н. Решетов

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ТОКОВОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА РАЗРУШЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

Тамбовский государственный технический университет

В работе используются эффекты усиления электромагнитных полей на геометрических неоднородностях в проводниках и их взаимодействие с собственным магнитным полем. В результате взаимодействия возникают механические напряжения электромагнитного происхождения, которые создают локальные участки повышенной напряженности электромагнитных, силовых и температурных полей.

Увеличение пропускной способности шинопроводов, кратковременная работа электрических сетей низкого напряжения в аварийных и послеаварийных режимах требует оценки критических потоков электромагнитной энергии, приводящих металлические проводники в состояние метастабильного равновесия. Проводник, испытывающий повышенную токовую интенсивность, может превратиться в жидкое состояние и разрушиться по термомеханическому механизму, а может и не успеть превратиться в жидкость, если скорость нарастания электромагнитной энергии больше скорости термической диффузии. В этом случае проводник разрушается взрывом от резкого возрастания на него пондеромоторного давления. Действительно, при токовой рабочей нагрузке на электрические сети распределение электрического поля относительно равномерное, и характер изменения магнитного поля такой же. Поэтому воздействие электромагнитного поля на проводники стабильное, а работа электрической сети устойчивая.

В настоящее время известны все предельные значения токов в проводниках, вызывающих стационарное тепловое разрушение. С другой стороны, распределение электромагнитной энергии по сечению проводника неравномерное и зависит от многих причин. Одна из них заключается в резком изменении геометрии проводника. Чаще

всего это случается с силовыми шинами распределительных устройств низкого напряжения на трансформаторных подстанциях и подводящих шинах силовых электротехнических установок. Кроме того, повысить токовую интенсивность могут различные дефекты структурного и технологического характера. Такие неоднородности вызывают концентрацию электромагнитной энергии достаточной плотности, чтобы расплавить или испарить металлический проводник за короткое время, сравнимое с временем распространения волны плавления или испарения.

Разница плотностей электромагнитной энергии в соседних элементарных объемах проводника или на поверхности вызывает появление электродинамических усилий, а протекающий ток различной интенсивности – неравномерный нагрев. Неравномерный разогрев в свою очередь вызывает появление термических напряжений. Эти вторичные эффекты могут оказать существенное влияние на состояние проводников.

Проанализировано напряженное состояние в цилиндрическом проводнике, помещенном в аксиальное магнитное поле и установлены аналогичные закономерности при аксиальном протекании токов короткого замыкания по проводнику. Расчеты можно рекомендовать в качестве первого приближения к рассмотрению факторов, действующих на механическое поведение металлов в электромагнитном поле.

Таким образом, формирование разрушительной электромагнитной энергии в проводнике может осуществляться либо резким изменением геометрии проводника, либо наличием в проводнике опасных дефектов, либо априори мощным импульсным токовым воздействием. Волновые процессы разрушительного характера *in pleno* могут возникать в электрических сетях при резком повышении токов и перенапряжениях.

Библиографический список

1. **Критерии** надежности электромагнитного разрушения шинопроводов / В. М. Иванов и др. // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23, № 1. – С. 80 – 88.
2. **Энергетические** каналы диссипации электромагнитной энергии в дефектных проводниках. Ч. 2 / В. М. Иванов и др. // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 332 – 337.
3. **Разработка** электрического саморегулируемого позисторного подогревателя грунта / В. Ф. Калинин и др. // Вестник Мичурин. гос. аграр. университета. – 2017. – № 1. – С. 163 – 169.

Р. Е. Ковергин, Р. Ю. Курносов, В. Н. Шамкин

О ЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ДЕСТАБИЛИЗАЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПРИ ИЗБЫТОЧНОСТИ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Тамбовский государственный технический университет

В статье [1] изложены основы теории энергосберегающей дестабилизационной оптимизации сложных технологических объектов, работающих на интервале времени $[0; T]$ в условиях переменной производительности.

Ниже приводится постановка задачи, заявленной в названии статьи, для случая двухуровневого изменения возмущающего воздействия, в качестве которого выступает производительность.

Выполняются следующие условия:

– возмущающее воздействие $f(t)$ считается периодическим с периодом T и двухуровневым, т.е.

$$f(t) = f(t + T), \quad f(t) = f(f_1, f_2, t_1);$$

– управляющее воздействие $u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t))$ является кусочно-непрерывной вектор-функцией;

– подынтегральная функция $Q(u(t), f(t))$ в функционале, характеризующем качество управления объектом на интервале времени $[0; T]$, в любой момент времени t может быть представлена в виде семейства параметрических n -мерных плоскостей

$$Q(u(t), f(t)) = a(f(t)) + \sum_{i=1}^n b_i(f(t))u_i(t),$$

где коэффициенты $a(f(t))$, $b_i(f(t))$ ($i = \overline{1, n}$) являются функциями значений воздействия $f(t)$ в соответствующий момент времени;

– функционал $\mu(u^t, f^t)$ – скалярный, зависящий от векторного управления $u^t = (u_1^t, u_2^t, \dots, u_n^t)$ и характеризующий меру (показатель) нарушения на интервале $[0, t]$ балансовых соотношений в объекте;

– функция $\varphi(u(t), f(t))$ под знаком интеграла, характеризующего эффект дестабилизации режима, может быть представлена в любой момент времени t семейством параметрических n -мерных плоскостей:

$$\varphi(u(t), f(t)) = \alpha(f(t)) + \sum_{i=1}^n \beta_i(f(t))u_i(t), \quad (1)$$

где коэффициенты $\alpha(f(t))$, $\beta_i(f(t))$, ($i = \overline{1, n}$) являются функциями значений воздействия $f(t)$ в соответствующий момент времени;

– задача стабилизации технологических параметров объекта разрешима во всей области F изменения возмущающих воздействий, т.е. для любого $f \in F$ существует вектор $\overset{\circ}{u}$, однозначно зависящий от f , при котором

$$\varphi\left(\overset{\circ}{u}(t), f(t)\right) = 0, \quad (2)$$

причем выполняются ограничения вида

$$u^n f(t) \leq \overset{\circ}{u}(t) \leq u^n f(t).$$

Значение $\overset{\circ}{u}(t)$ получается путем решения задачи оптимизации технологического режима при заданном $f(t)$ и выполнении (2).

В соответствии с (1), (2) при стабилизирующем управлении $\overset{\circ}{u}(t)$ справедливо равенство

$$\varphi\left(\overset{\circ}{u}(t), f(t)\right) = \alpha(f(t)) + \sum_{i=1}^n \beta_i(f(t))u_i(t) = 0. \quad (3)$$

Введя обозначение $\omega_i(t) = u_i(t) - \overset{\circ}{u}_i(t) (i = \overline{1, n})$ и используя равенство (3), вместо (1) можно записать выражение

$$\varphi(\omega(t), f(t)) = \sum_{i=1}^n \beta_i(f(t))\omega_i(t).$$

С учетом сказанного задача дестабилизационной оптимизации технологического объекта с избыточными управляющими воздействиями формулируется следующим образом.

Найти для заданной функции $f(t) = (f_1, f_2, t_1)$ оптимальное управление $\omega^*(t) = \omega_1^*(t), \dots, \omega_n^*(t)$ на $[0, T]$, и начальное состояние $\mu^*(0)$, при которых принимает минимальное значение функционал

$$I(f, \omega) = \int_0^T \left[\alpha(f(t)) + \sum_{i=1}^n \beta_i(f(t))\overset{\circ}{u}(t) + \sum_{i=1}^n \beta_i(f(t))\omega_i(t) \right] d(t),$$

и в любой момент времени t удовлетворяются соотношения:

$$\omega_i^H(t) \leq \omega_i(t) \leq \omega_i^G(t), i = \overline{1, n},$$

$$\mu^H \leq \mu(t) \leq \mu^G, \mu(0) = \mu(T),$$

$$\mu(t) = \mu(0) + \int \sum_{i=1}^n \beta_i(f(t))\omega_i(t) dt,$$

где

$$\omega_i^H(t) \leq \omega_i(t) \leq u_i^H f(t) - \overset{\circ}{u}_i f(t),$$

$$\omega_i^G(t) = \omega_i^G f(t) = u_i^G f(t) - \overset{\circ}{u}_i f(t), i = \overline{1, n}.$$

Библиографический список

1. **Shamkin, V. N.** Using destabilization control to improve the functioning of complex multidimensional technological objects on the time interval V. N. Shamkin, D. Yu. Muromtsev, A. N. Gribkov Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017 VOL. 12, No. 24, December, p. 7198 – 7217.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований, проект №17-08-00457-а.

А. А. Лансберг

МУЛЬТИКОНТАКТНАЯ СИСТЕМА МКС-4 И ПРЕИМУЩЕСТВА ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина

В конце прошлого века появилась новая концепция электрических сетей, которые называются «интеллектуальными (умными) сетями». Все оборудование интеллектуальных сетей взаимодействует между собой с использованием инновационных технологий, образуя единую «умную» систему электроснабжения [1].

На основе анализа источника [2] следует вывод, что для умных сетей необходима разработка определенной структуры, которая будет включать в себя новые мультиконтактные коммутационные системы (МКС) с микроконтроллерными блоками управления (МБУ), устанавливаемые в тех точках электрической сети, где происходит связь ТП, потребителей, источников электрической энергии.

МКС устанавливаются с целью повышения надежности электроснабжения потребителей. Эти системы дают возможность разрабатывать разные варианты исполнения схем сетей, обеспечивать изменяемую в широких пределах конфигурацию сети, так как имеют независимое управление силовыми контактами. Число выводов в МКС может быть разным [2].

Одним из вариантов МКС является система с 4 выводами (МКС-4). Особенность системы в том, что она имеет 4 группы независимых контактов и 4 вывода, к которым могут присоединяться источники электроэнергии, ТП, потребители. Независимое управление контактами МКС-4 позволяет реализовывать в данном устройстве функции АВР, АПВ.

Преимущества МКС-4:

- при возникновении аварийной ситуации на одном из участков ЛЭП, которые оснащены системами дистанционного мониторинга технического состояния, происходит автоматическое управление коммутационным оборудованием сети, то есть конфигурация сети изменяется благодаря переключениям контактов МКС таким образом, чтобы изолировать поврежденный участок и обеспечить питание потребителей по резервным участкам;
- МКС-4 позволяет управлять распределением электроэнергии группам потребителей;
- появляется широкая вариативность питания потребителей от различных источников генерации электроэнергии, например, питание объектов может осуществляться только от ТП, от генератора или от обоих источников сразу;
- использование МКС позволит снизить затраты на строительство ЛЭП за счет того, что в некоторых случаях не будет требоваться строительство резервных линий [3].

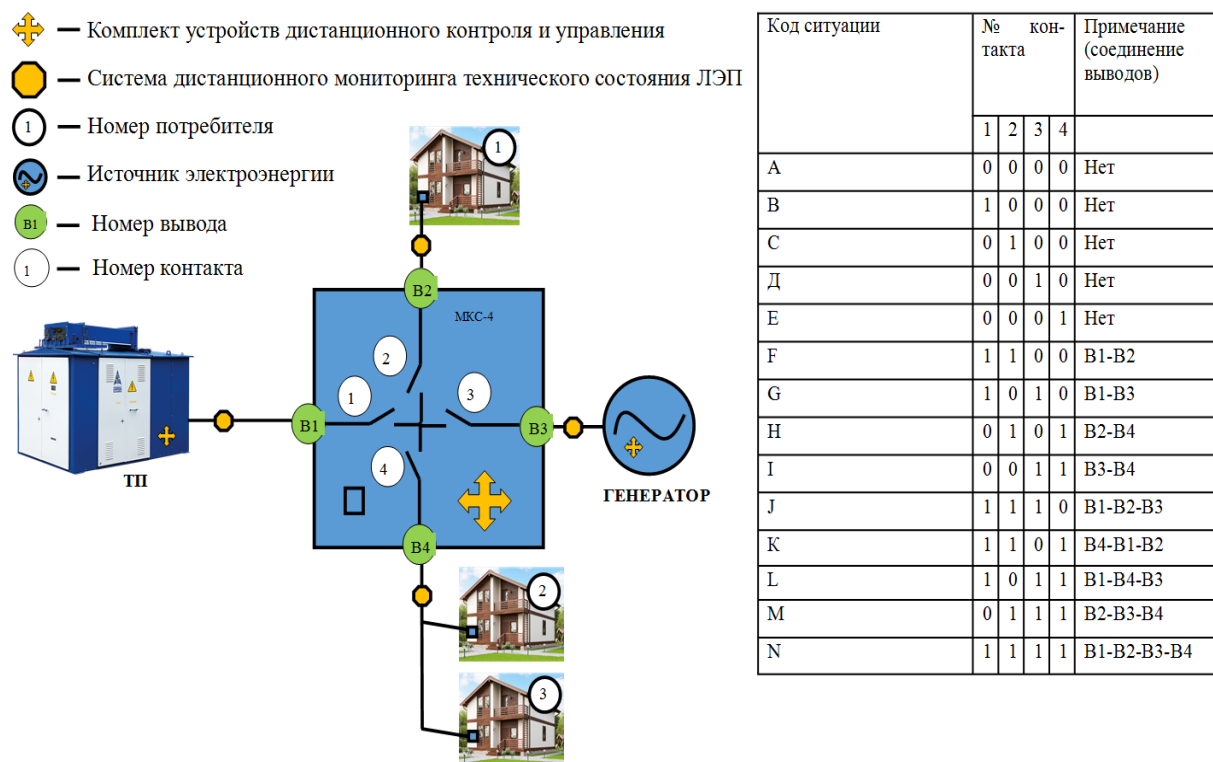


Рис. 1. Применение МКС-4 в электрической сети и кодификация режимов работы контактных групп

Библиографический список

1. **Michael T. Burr.** «Reliability demands drive automation investments,» Public Utilities Fortnightly, Technology Corridor department, Nov. 1, 2003. Электронный ресурс. Заголовки с экрана. URL : <http://www.fortnightly.com/fortnightly/2003/11/technology-corridor>. Дата обращения 01.12.2018 г.
2. **Виноградов, А. В.** Новые мультиконтактные коммутационные системы и построение на их базе структуры интеллектуальных распределительных электрических сетей / А. В. Виноградов // Агротехника и энергообеспечение. – 2018. – № 3(20). – С. 7 – 20.
3. **Виноградов, А. В.** Принципы развития электрических сетей, новый подход / А. В. Виноградов // Энергообеспечение и строительство : сборник материалов III Международной выставки-Интернет-конференции; в 2 ч. : Ч. 1. – Орел : Изд-во ООО ПФ «Картуш», 2009. – 344 с., ил. С. 111 – 117.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доц. А. В. Виноградова*

ПРОБЛЕМЫ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ПРИ НЕКАЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Тамбовский государственный технический университет

Качество электрической энергии (КЭ) – степень соответствия параметров *электрической энергии* их установленным значениям. Параметрами электрической энергии являются напряжение, частота, форма кривой электрического тока.

Отклонения напряжения от номинальных значений, колебания напряжения и частоты, искажения симметрии и синусоидальности напряжений приводят к ряду нежелательных последствий:

- рост потерь электроэнергии в электрических сетях и в электрооборудовании;
- отклонение параметров электроэнергии вызывает в оборудовании дополнительный нагрев, что приводит к сокращению сроков службы оборудования или необходимости увеличения его мощности;
- повышается погрешность измерительных приборов и приборов учета электроэнергии;

Перечисленные явления относятся к электромагнитному ущербу.

При отклонениях параметров электроэнергии возникают потери производительности оборудования на промышленных предприятиях, что характеризует технологический ущерб.

Технологический ущерб может наблюдаться как на промышленных предприятиях, так и в энергосистемах. В результате воздействия высших гармоник на системы электроснабжения могут неправильно работать асинхронные двигатели (АД), что приводит к расстройству процесса передачи энергии.

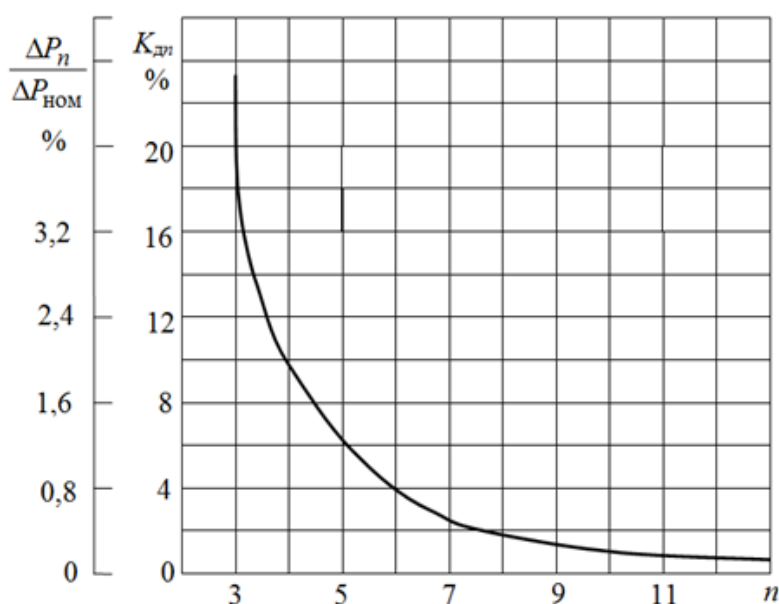


Рис. 1. Относительные потери от высших гармоник в АД

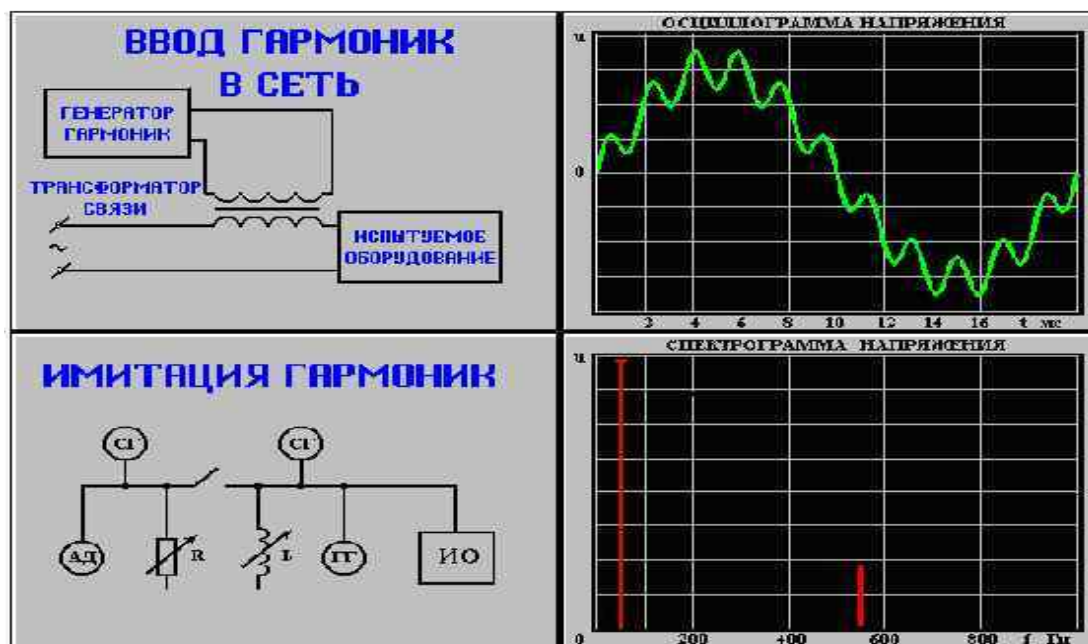


Рис. 2. Осциллограмма напряжения в бытовой электрической сети

Согласно результатам проведенных обследований напряжение обратной последовательности в промышленных сетях 6 – 10 кВ достигает 4–5%, а уровни высших гармоник напряжения 20%.

В городских сетях уровни гармоник напряжения меньше 3%, что обусловлено малым удельным весом искажающих электроприемников (ЭП) в общем потреблении. В промышленной электрической сети гармоники напряжения имеют гораздо более искаженную форму кривой потребляемого тока из-за более мощных ЭП, имеющих более высокий удельный вес искажений.

Основным параметром электроэнергетики, определяющим технологический ущерб и расход энергии в промышленных сетях, является отклонение напряжения. Этот же параметр существенно влияет и на общий расход энергии в городских сетях.

Библиографический список

1. **ГОСТ 23875–88.** Качество электрической энергии. Термины и определения.
2. **Железко, Ю. С.** Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. – М. : ЭНАС, 2009. – 456 с.
3. **Зарандия, Ж. А.** Потери энергии в электроприводах подъемно-транспортных машин / Ж. А. Зарандия // Энергосбережение и энергоэффективность в технических системах : материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбов, 10 – 12 июля 2017 г. ; Министерство образования и Российской Федерации; Российский фонд фундаментальных исследований; ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»; Т. И. Чернышова, отв. ред. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В. – 2017. – С. 314–315.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Липецкий государственный технический университет

Эксплуатационные свойства насосов определяются Q - H -характеристикой, которые приводятся в их каталогах при номинальной скорости ω_H , а также зависимостями механической мощности и КПД от подачи при постоянной скорости ω . При необходимости снижения подачи или напора регулируют скорость вращения рабочего колеса насоса вниз от номинального значения. Наиболее экономичным способом регулирования скорости турбомеханизмов является применение преобразователей частоты. При этом полезная мощность равна мощности развиваемой насосом [1]. Q - H -характеристики для скорости отличной от номинальной, получают с помощью уравнений пропорциональности:

$$\frac{Q}{Q_H} = \frac{\omega}{\omega_H}, \quad \frac{H}{H_H} = \frac{\omega^2}{\omega_H^2}, \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{Q_1^2}{Q_2^2} = const. \quad (1)$$

Используя уравнения (1), а также диапазон нахождения рабочей точки насоса на Q - H -характеристике из каталогов при номинальной скорости ω_H можно определить минимально допустимую скорость насоса $\omega_{\min}$. Определение этой скорости позволяет найти величину напряжения, подводимого к обмотке статора асинхронного двигателя, и его частоты. Появляется возможность оптимизировать энергопотребление насосной установки в периоды, когда требуется сократить подачу или напор рабочей жидкости в магистрали. Для этого используем зависимости:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}, \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{\omega_1^3}{\omega_2^3}. \quad (2)$$

Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей, приводящих в действие турбомеханизмы и питающихся от вентиляных преобразователей частоты, проводится по закону $U/f^2 = const$. Рабочие участки механических характеристик асинхронных двигателей, особенно средней и большой мощности, можно принять практически линейными. Вентиляторный момент нагрузки $M_C \sim \omega^2$, совмещенный с механическими характеристиками двигателя при номинальных напряжении и частоте и при их пониженных значениях, позволяет графически найти эти значения при номинальном кпд насоса η_H .

Используя зависимости (2) и определяя мощность приводного двигателя насоса по его номинальным напору и подаче [2], а также принимая, то, что кривая M_C отмечает на рабочих участках механических характеристик двигателя точки со скоростями n_H (на естественной характеристике) и $n_{\min}$ (на искусственной (предельной) характери-

стике, построенной при пока неизвестных значениях напряжения $U_{\min}$ и $f_{\min}$), находим минимальные значения частоты и напряжения, подводимого к двигателю:

$$f_{\min} = \frac{p}{60} \left((n_0 - n_H) \frac{n_{\min}^2}{n_H^2} + n_{\min} \right); \quad (3)$$

$$U_{\min} = f_{\min}^2 \frac{U_H}{f_H^2} = \frac{U_H}{n_0^2} \left((n_0 - n_H) \frac{n_{\min}^2}{n_H^2} + n_{\min} \right)^2. \quad (4)$$

Таким образом, предельно допустимые значения напряжения и частоты преобразователя, при которых возможна безаварийная работа насосного агрегата, зависят только от каталожных данных двигателя и рассчитанной минимальной скорости вращения насоса при заданном значении КПД. Это при необходимости позволит планировать энергоэффективный режим работы насоса или группы насосов [3].

Библиографический список

1. **Автоматизированный** электропривод промышленных установок / Г. Б. Онищенко, М. И. Аксенов, В. П. Грехов и др. ; под ред. Г. Б. Онищенко. – М. : РАСХН, 2001. – 520 с.
2. **Сацукевич, М. Ф.** Справочник электротехника / М. Ф. Сацукевич, Ф. В. Мехедько. – Минск : Беларусь, 1969. – 400 с.
3. **Мещеряков В. Н.** Энергосберегающий каскадно-частотный электропривод для турбомеханизмов нефтегазовой отрасли / В. Н. Мещеряков, Д. И. Шишлин, Д. В. Ласточкин // Булатовские чтения : II Международная научно-практическая конференция. Краснодар. – 2018. – Т. 6. – С. 218 – 220.

С. А. Медведев, А. А. Осипов, О. В. Юрьев, М. Ю. Авдеева

АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В Г. ТАМБОВЕ

Тамбовский государственный технический университет

Рассмотрено потребление электроэнергии в г. Тамбове за последний год, выполнен анализ потребления электроэнергии, имеются сезонные изменения статистических характеристик. Электроэнергетика занимается производством и передачей электроэнергии и является одной из базовых отраслей промышленности. Электроэнергетика была в нашей стране одной из наиболее развивающихся отраслей в последние лет пятьдесят, опережая по темпам развития промышленность и тяжелую индустрию.

Последние годы было снижение темпов увеличения производства электроэнергии. На данный момент электроэнергетика России находится в глубоком кризисе. Ежегодный ввод мощностей снизился до уровня 1950-х гг., оборудование устарело, большая часть нуждается в реконструкции, а часть в замене. Резкое сокращение резервов мощностей приводит к сложному положению со снабжением. Особенность экономики России – высокая по сравнению с развитыми странами энергоемкость (примерно в полтора

раза выше, чем в США), в связи с этим необходимо широко внедрять энергосберегающие технологии и технику. Однако, даже в условиях снижения энергоемкости, спецификой развития производства энергии является постоянно возрастающая потребность в ней производственной и социальной сферы. Очень важную роль электроэнергетика играет в условиях перехода к рыночной экономике, выход из экономического кризиса зависит от нее во многом.

Можно сделать вывод, что в стране необходимо применение новых технологий, позволяющих получать необходимое количество энергии в любое время года. Применение новых технологий может помочь выйти из энергетического кризиса.

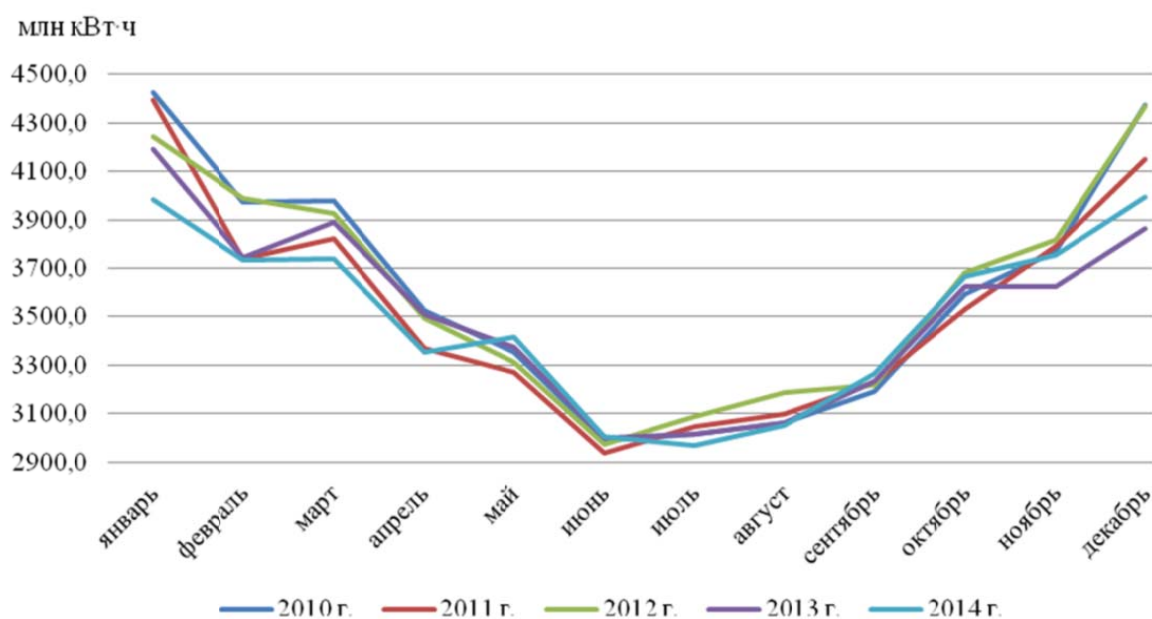


Рис. 1. Потребление электроэнергии в разное время

Библиографический список

1. **Ермилов, А. А.** Электроснабжение промышленных предприятий / А. А. Ермилов. – М. : Энергия, 1965. – 96 с.
2. **Киреева, Э. А.** Электроснабжение жилых и общественных зданий / Э. А. Киреева, С. А. Цырук. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2005. – 96 с.
3. **Решение** проблемы предоставления электрической энергии нормируемого качества для сельскохозяйственных потребителей / А. В. Кобелев и др. // Научный потенциал вуза – производству и образованию : сборник статей по материалам XIII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского государственного технологического университета. Кубанский государственный технологический университет; Армавирский механико-технологический институт; Краснодарское региональное отделение «Союз машиностроителей России». – Армавир : Изд-во : Армавирский государственный педагогический университет, 2018. – С. 99 – 102.

НАДЕЖНОСТЬ АППАРАТНОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Тамбовский государственный технический университет

При разработке и эксплуатации энергопотребляемых объектов возникает ряд факторов, влияющих на выходные данные. Вследствие этого для повышения их точности и эффективности работы в целом необходимо обеспечить надежность программных модулей, управляющих объектом. Надежность – это свойство (способность) объекта выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные характеристики в заданных пределах в течение указанного периода времени. Для управления объектом необходима разработка оптимальной программы управления, а также обеспечение ее надежности. Данное понятие целесообразно вводить для сложных промышленных комплексных энергопотребляемых объектов, то есть для объектов, в которых ошибки в программе могут привести к аварийной ситуации, а также для объектов, работающих регулярно (минимальное время простоя) [1 – 7].

На показатель надежности влияют многие факторы, в частности ошибки в программе. Среди нескольких типов ошибок выделяют синтаксические и семантические. Данные типы ошибок возникают вследствие некорректной работы программиста, а также из-за влияния следующих факторов:

- несоблюдение корректности исходных данных (несоблюдение ограничений);
- несовместимость программного и аппаратного обеспечения (обновление программы);
- нарушение целостности программных модулей (несанкционированная модификация);
- нарушение целостности аппаратного обеспечения (выход из строя полупроводников элементов);
- факторы окружающей среды (изменение температуры, напряжения, влажности воздуха, влияние электромагнитных помех и др.).

Представленные факторы влияют на выходные данные, в некоторых случаях кардинально. Вследствие этого программа управления должна реагировать и распознавать не только синтаксические, но и семантические ошибки.

Библиографический список

1. **Зырянов, Ю. Т.** Управление профилактикой в организационно-технических системах / Ю. Т. Зырянов, К. А. Малыков. – М. : АСТ-ПРЕСС КНИГА, 2005.
2. **Чернышов, Н. Г.** Разработка систем оптимального управления энергоемкими объектами с применением когнитивной графики и технологии беспроводной связи ZigBee / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 87 – 98.
3. **Чернышов, Н. Г.** Система управления удаленными динамическими объектами с использованием принципов когнитивной графики / Н. Г. Чернышов, О. А. Белоусов // Автоматизация и современные технологии. – 2010. – № 7. – С. 28 – 33.

4. **Муромцев, Ю. Л.** Математическое и программное обеспечение микропроцессорных систем энергосберегающего управления / Ю. Л. Муромцев, Н. Г. Чернышов, Л. П. Орлова // Автоматика и вычислительная техника. – 1996. – № 6. – С. 26 – 34.

5. **Чернышов, Н. Г.** Система энергосберегающего управления процессами нагрева энергоемких объектов / Н. Г. Чернышов, С. В. Артемова // Автоматика и вычислительная техника. – 2001. – № 3. – С. 25 – 33.

6. **Чернышов Н. Г.** Синтез энергосберегающего управления / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Вестник ТГТУ. – № 1. – 2015. – С. 7 – 15.

7. **Дворецкий, С. И.** Проектирование автоматизированных технических систем в условиях неопределенности / С. И. Дворецкий, Д. С. Дворецкий, Н. Г. Чернышов // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – № 4(66). – С. 21 – 28.

Т. К. Пикалова, В. И. Зацепина

ПРОБЛЕМА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Липецкий государственный технический университет

В электрических сетях при передаче электроэнергии с шин подстанции до потребителей потери неизбежны, они возникают из-за нагрева проводников, создания электромагнитных полей и других факторов. В общем случае под термином «потери электроэнергии» следует понимать технологический расход электроэнергии при ее передаче [1]. Превышение экономически обоснованного технологического расхода может говорить о проблеме, возникшей в системе электроснабжения, поэтому во избежание излишних затрат стоит установить причины, а также предпринять меры по снижению затрат на потери электроэнергии.

Общие потери электроэнергии складываются из технических и коммерческих потерь. Технические потери обусловлены физическими процессами, в том числе потери на нагрев проводников, коммерческие же потери связаны с неточностью и несовершенством приборов учета электрической энергии, а также с ее хищением. Кроме того, технические потери разделяются на потери на корону, потери холостого хода и нагрузочные потери. Наибольшие потери связаны с нагрузочными расходами, а именно: с передачей по воздушным линиям, а также с эффектом коронирования [2].

Потеря напряжения в линии зависит от ее нагрузки: чем большая мощность протекает в линии, тем больше потеря напряжения в ней, то есть в режиме наибольших нагрузок потери значительно выше, нежели в режиме наименьших нагрузок [3]. Также на потери напряжения влияет коэффициент мощности нагрузки, таким образом, его увеличение приводит к снижению потерь.

Для снижения потерь напряжения следует проводить определенные мероприятия:

- 1) организационные (включающие оптимизацию оборудования электрических сетей);
- 2) технические (включающие реконструкцию и строительство сетей);
- 3) мероприятия, способствующие совершенствованию учета электрической энергии [2].

Задача оптимизации состоит в нахождении параметров установившегося режима, при которых потери напряжения будут минимальными, а также в отключении трансформаторов в режимах малых нагрузок. Установка же компенсирующих устройств и замена проводов на провода, имеющие большее сечение, а также замена недогруженных или перегруженных трансформаторов на подстанции – являются мероприятиями техническими. Мероприятия, описанные в третьем пункте, не влияют на физические потери в сетях, а лишь упорядочивают их учет и в некоторых случаях снижают коммерческие потери. Также снизить потери электроэнергии помогает регулирование суточного графика нагрузок и снижение пиков в часы максимума [3].

Расчет потерь холостого хода, а также потерь на корону не вызывает затруднений, в отличие от расчета нагрузочных потерь, так как он связан с учетом изменения нагрузки во времени. Те методы расчета нагрузочных потерь, которые существуют на данный момент, отличаются в зависимости от необходимых для него величин. Наиболее широкоизвестным и используемым методом является метод времени максимальных потерь. В данном случае общие потери энергии при периоде времени равном одному году или 8760 ч составит:

$$\Delta W = (\Delta P_x + \Delta P_{\text{кор}}) \cdot 8760 + \Delta P_{\text{max}} \cdot \tau,$$

где ΔP_x – потери холостого хода; $\Delta P_{\text{кор}}$ – потери на корону; ΔP_{max} – максимальные нагрузочные потери; τ – время потерь.

Время потерь – время, в течение которого элемент сети, который работает с наибольшей нагрузкой, будет иметь такие же потери энергии, как и при работе по действительному графику нагрузок в течение года [4].

Используя этот или другой метод расчета, мы можем определить величину потерь электрической энергии в электрической сети, а при проведении вышеуказанных мероприятий можно ее снизить.

Библиографический список

1. **Лыкин, А. В.** Электрические системы и сети : учебное пособие / А. В. Лыкин. – М. : Университетская книга; Логос, 2008. – 254 с.
2. **Идельчик, В. И.** Электрические системы и сети : учебник для вузов / В. И. Идельчик. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
3. **Черкасова, Н. И.** Электропитающие системы и электрические сети : учебное пособие / Н. И. Черкасова. – Рубцовск : Рубцовский индустриальный институт, 2010. – 202 с.
4. **Карапетян, И. Г.** Справочник по проектированию электрических сетей / И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро ; под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 374 с.
5. **Основы** оценки безотказности систем электроснабжения промышленных предприятий [Текст] / Е. П. Зацепин, и др. – Липецк. 2018.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДА ДЛЯ ПОРТАТИВНЫХ УСТРОЙСТВ

Тамбовский государственный технический университет

Разнообразные беспроводные интерфейсы, такие как, Wi-Fi, Bluetooth и т.д. давно стал привычным атрибутом многих портативных устройств, однако современные технологии не стоят на месте, и уже появляется возможность реализации интерфейса для беспроводного заряда подобных устройств [1]. Наибольшее распространение в электротехнике получили решения с использованием беспроводной передачи электроэнергии на основе явления электромагнитной индукции [2, 3, 4].

Система беспроводной передачи электроэнергии по методу электромагнитной индукции включает несколько катушек индуктивности – катушку приемника и катушку передатчика (рис. 1). Переменный ток первичной катушки (передатчика) образует магнитное поле, которое пронизывает витки вторичной катушки (приемника), и индуцирует на ней ЭДС. Благодаря явлению электромагнитной индукции, в замкнутом контуре приемника возбуждается индукционный ток. Напряжение с приемной катушки и используется для зарядки аккумулятора устройства. Однако, по мере удаления вторичной катушки от первичной, все большая часть магнитного поля рассеивается и не достигает вторичной катушки. Взаимная индукция уменьшается, даже при относительно малых расстояниях индуктивная связь становится неэффективной [5, 6].

Взаимная индуктивность контуров, соответствие резонансных частот, добротность системы – все это влияет на качество беспроводной передачи электроэнергии от передатчика к заряжаемому устройству.

Взаимная индуктивность M определяется выражением [3]

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}, \quad (1)$$

где k – коэффициент связи между катушками, зависит от многих факторов, в т.ч. – от расстояния между катушками, соотношения диаметров катушек, смещения между их центрами и т.д.

Коэффициент качества системы Q_m определяется выражением [4, 5]

$$Q_m = k\sqrt{Q_1 Q_2}, \quad (2)$$

где Q_1 и Q_2 – добротность резонансных контуров источника и приемника.

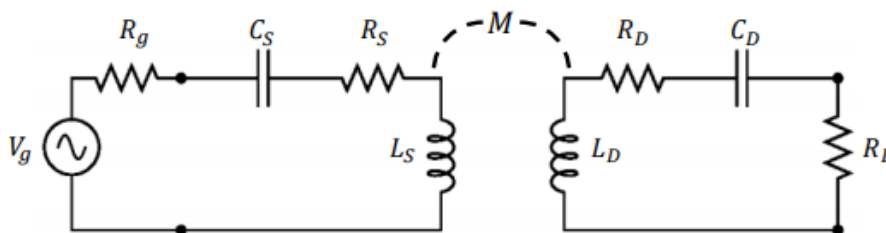


Рис. 1. Упрощенная эквивалентная схема магнитно-связанных катушек

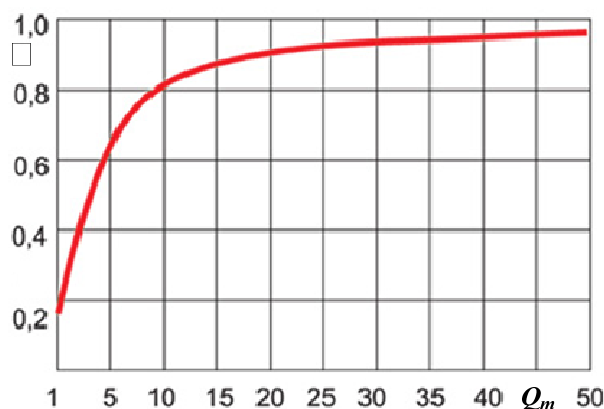


Рис. 2. График зависимости эффективности передачи энергии от коэффициента качества

Эффективность передачи энергии зависит от коэффициента качества системы [6]

$$\eta = \frac{\sqrt{1 + Q_m^2} - 1}{\sqrt{1 + Q_m^2} + 1}. \quad (3)$$

График зависимости эффективности передачи энергии от коэффициента качества системы представлен на рис. 2.

Таким образом, для повышения эффективности передачи энергии необходимо увеличивать добротность катушек и коэффициент связи между катушками, что позволит увеличить дальность беспроводной зарядки.

Библиографический список

1. **Kamil A. Grajski, Ryan Tseng and Chuck Wheatley.** Qualcomm Incorporated. Loosely-Coupled Wireless Power Transfer: Physics, Circuits, Standards [Электронный ресурс]. – IEEE, 2012.
2. **Пудовкин, А. П.** Распространение радиоволн [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк. – Тамбов : ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 180 с.
3. **Панасюк, Ю. Н.** Электромагнитные поля : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин ; Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 96 с.
4. **Пудовкин, А. П.** Основы теории антенн : учеб. пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, А. А. Иванков. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 92 с.
5. **Панасюк, Ю. Н.** Устройства сверхвысоких частот : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2015.
6. **Панасюк, Ю. Н.** Основы автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн [Электронный ресурс, мультимедиа] : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доц. Ю. Н. Панасюка*

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТНОГО ДВИЖЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Тамбовский государственный технический университет

В последнее время остро строит вопрос об увеличении энергоэффективности транспортных средств. С целью уменьшения количества затрачиваемой энергии требуется создать систему, оптимизирующую скорость и траекторию движения автомобилей на дорогах общего пользования.

Предлагаемая нами система отслеживает характер движения автомобиля и оценивает, является ли оно энергоэффективным. В случае нерационального использования топлива система предложит водителю способы уменьшения энергозатрат.

Система состоит из радиолокационного датчика и видеокамеры, оборудованной обрабатывающей системой.

Радиолокационный датчик был выбран из-за его независимости от погодных условий, времени суток и возможности отслеживать 5 автомобильных полос в радиусе до 50 м.

Видеокамера, оборудованная обрабатывающей системой, выполненной на основе нейросетевого алгоритма, используется для определения расстояния до транспортного средства и его углового положения относительно линий разметки на проезжей части.

Разработанную систему предполагается оснастить модулем кратковременного прогнозирования, основанном на фильтре Калмана. Система сравнивает полученные с этого модуля данные с реальными показаниями, полученными с датчиков [1].

Результат этого сравнения – вектор невязки, выраженный численной разницей между реальными показаниями и произведенным прогнозом на один и тот же момент времени для скорости движения, расстояния до исследуемого объекта и углового положения [2].

Далее задается допустимый предел невязок, при превышении которого система начинает считать поведение автомобиля энергозатратным и сигнализирует об этом.

Было проведено моделирование работы предложенной системы.

Путем математического моделирования были установлены предельно допустимые величины параметров для энергоэффективного движения, используемые в дальнейшем в качестве пороговых значений невязок.

Результаты моделирования представлены на графиках.

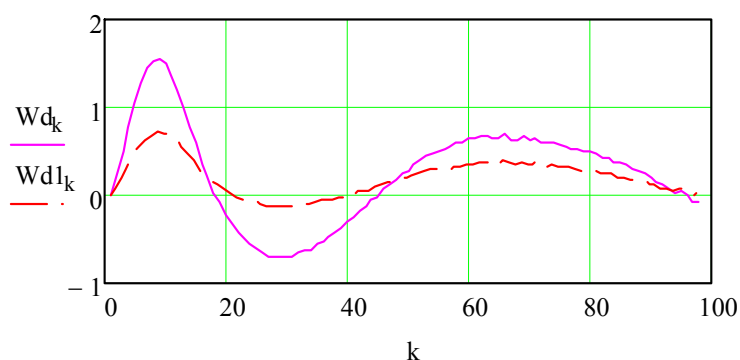


Рис. 1. Невязки по расстоянию

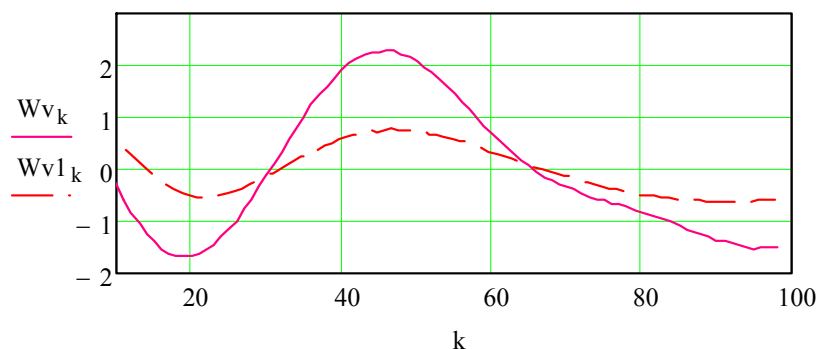


Рис. 2. Невязки по скорости

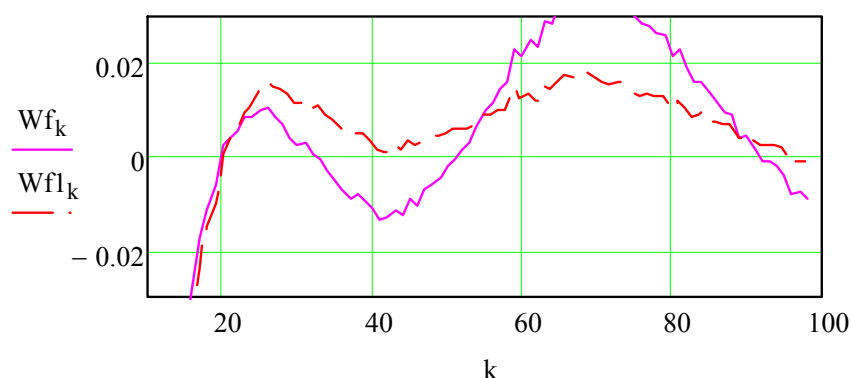


Рис. 3. Невязки по углу отклонения

Графики показывают, как система определяет, является ли поведение автомобиля энергозатратным или нет. Красная прерывистая линия отображает параметры движения автомобиля по полосе, соответствующие предельным значениям для энергоэффективного движения. Розовая линия соответствует энергозатратному поведению.

Таким образом, моделирование наглядно показывает работоспособность системы.

Библиографический список

1. **Пудовкин, А. П.** Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. **Данилов, С. Н.** Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

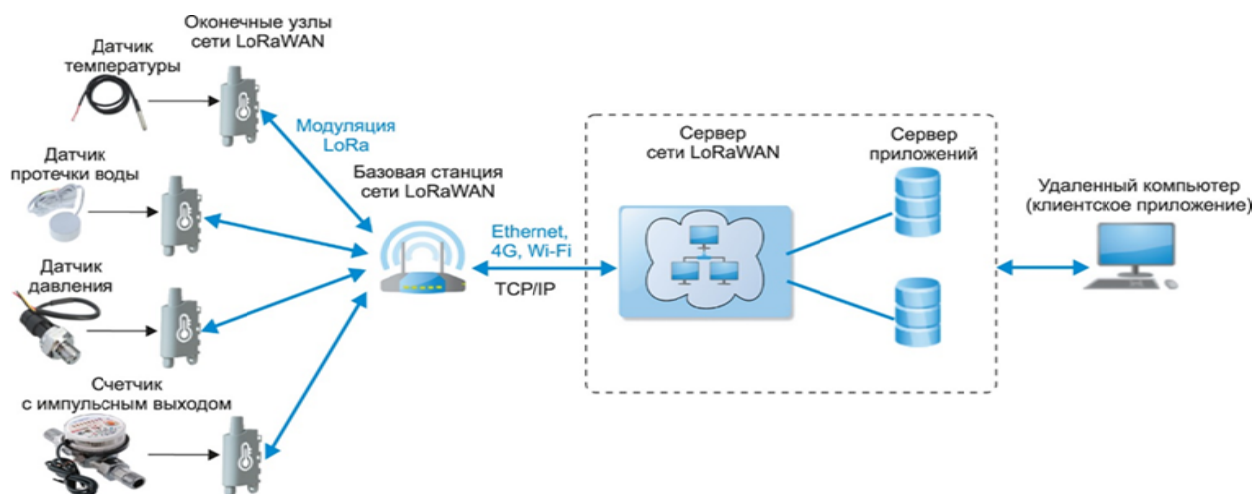
*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, проф. С. Н. Данилова*

ЭНЕРГОМОНИТОРИНГ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ СЕТИ, ПОСТРОЕННОЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ LoRaWAN

Тамбовский государственный технический университет

Эффективное управление энергетическими ресурсами на протяжении всей цепочки создания добавленной стоимости является одной из ключевых составляющих обеспечения конкурентоспособности продуктов и услуг. В условиях цифровой трансформации экономики, затрагивающей бизнес-процессы, модели взаимодействия компаний и даже различных отраслей, решение задач энергомониторинга, энергоменеджмента, диспетчеризации энергоресурсов и оперативного управления энергообъектами требует применения гибких высокопроизводительных информационных платформ для сбора, обработки и визуализации данных, позволяющих интегрировать отдельные системы и процессы функционально и территориально распределенных объектов и подсистем в единое информационное пространство [1 – 7].

IoT, или интернет вещей, – это сеть связанных через интернет объектов, способных собирать данные и обмениваться данными, поступающими со встроенных сервисов. Устройства, входящие в интернет вещей, – любые автономные устройства, подключенные к интернету, которые могут отслеживаться и/или управляться удаленно.



Библиографический список

1. **Чернышов, Н. Г.** Разработка систем оптимального управления энергоемкими объектами с применением когнитивной графики и технологии беспроводной связи ZigBee / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 87 – 98.
2. **Muromtzev, D., Chernyshov, N.** Features of creation of power saving control systems on set operation conditions. Allerton Press, Inc., New York // Automatic Control and Computer Sciences. – 2008. – V. 42, N 3. – P. 163 – 168.
3. **Чернышов, Н. Г.** Система управления удаленными динамическими объектами с использованием принципов когнитивной графики / Н. Г. Чернышов, О. А. Белоусов // Автоматизация и современные технологии. – 2010. – № 7. – С. 28 – 33.

4. **Муромцев, Ю. Л.** Математическое и программное обеспечение микропроцессорных систем энергосберегающего управления / Ю. Л. Муромцев, Н. Г. Чернышов, Л. П. Орлова // Автоматика и вычислительная техника. – 1996. – № 6. – С. 26 – 34.

5. **Чернышов, Н. Г.** Система энергосберегающего управления процессами нагрева энергоемких объектов / Н. Г. Чернышов, С. В. Артемова // Автоматика и вычислительная техника. – 2001. – № 3. – С. 25 – 33.

6. **Чернышов, Н. Г.** Синтез энергосберегающего управления / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Вестник ТГТУ. – № 1. – 2015. – С. 7 – 15.

7. **Дворецкий, С. И.** Проектирование автоматизированных технических систем в условиях неопределенности / С. И. Дворецкий, Д. С. Дворецкий, Н. Г. Чернышов // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – № 4(66). – С. 21 – 28.

*В. А. Рожков, С. Н. Черешнев,
Ахмед Рауф Абдельфаттах Абдельхафиз, С. В. Кочергин*

ВЛИЯНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ЭКОЛОГИЮ

Тамбовский государственный технический университет

Альтернативные источники энергии привлекают большой интерес в современном мире, именно их принято считать будущим энергетики. В проектах приводят аргументы в пользу возобновляемых источников энергии (ВИЭ), им приписывают снижение антропогенного воздействия на окружающую среду. Все большее обсуждение получают электростанции, использующие возобновляемые источники энергии – приливные, геотермальные, солнечные, ветровые и некоторые другие. Разрабатываются новые проекты с применением ВИЭ, сооружаются установки по преобразованию альтернативной энергии, широко применяются в промышленном и бытовом секторе. Можно с уверенностью говорить, что ВИЭ находят широкое применение взамен традиционных источников энергии на территории РФ.

Возобновляемые источники энергии имеют позитивные свойства. Одно из главенствующих преимуществ – это повсеместная распространенность большинства видов, например энергия ветра, солнца, биогаз. Один из плюсов ВИЭ – это минимальные затраты на использование традиционного топлива, которая является важным фактором при выборе места проектирования и создает дополнительные трудности и усложняет доставку или добычу сырья, тем самым увеличивает стоимость произведенной энергии.

Также, к безусловным положительным свойствам ВИЭ можно относить автономность и независимость подобных установок, которые в свою очередь могут замещать традиционные источники энергии не только в густонаселенных городах, а также удаленных населенных пунктах. Данный факт говорит о возможности подстраиваться под климатические и географические условия с меньшими потерями и затратами.

Из графика (рис. 1), видно что в течение последнего десятилетия идет стремительное увеличение доли ВИЭ и уменьшение традиционных способов добычи электрической энергии.

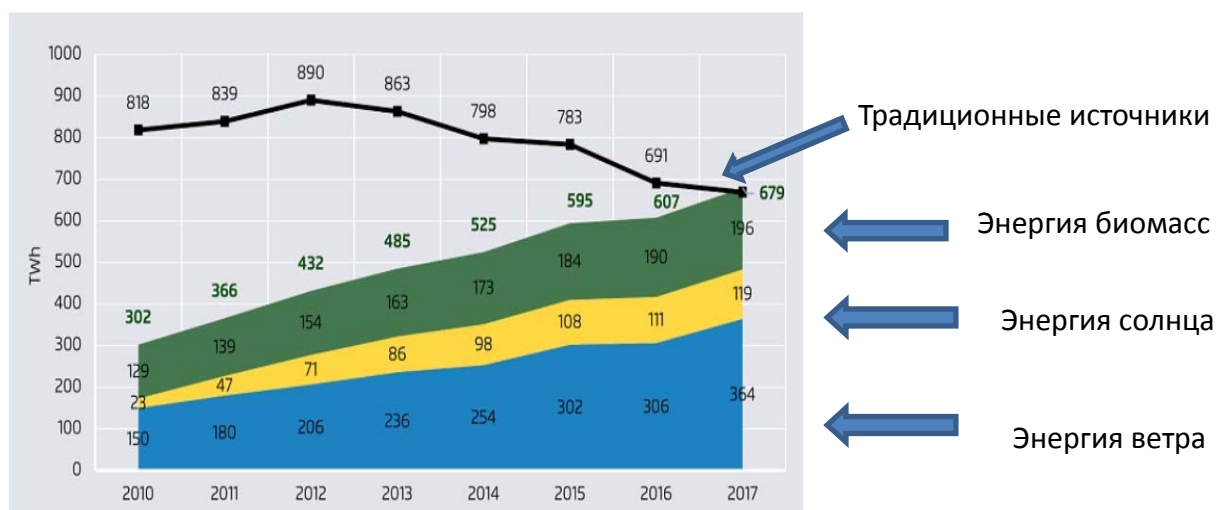


Рис. 1. График сравнения роста ВИЭ с традиционными источниками

Широкому внедрению «альтернативных» электростанций препятствуют экономические, технические и технологические условия. Применение ВИЭ имеет ряд экологических недостатков. Вопрос энергетики никогда не может стоять однозначно, с одной стороны положительные факторы могут перекрываться негативными воздействиями для иных видов и будущего Земли.

Так, ветровые электростанции являются источниками шумового загрязнения, солнечные электростанции достаточных мощностей занимают большие площади, что портит ландшафт и изымает земли из сельскохозяйственного оборота. Уже не раз подтверждаются факты, что на местах установки ветровых станций не пасется рогатый скот из-за вызванных вибраций и других факторов, которые изучают ученые.

Все минусы ВИЭ перекрываются положительным влиянием и тенденциями применения ВИЭ.

Можно сделать вывод, что внедрение новых источников энергии нужно рассматривать обращая внимание на экологию, создавать модели, которые дают возможность получения энергии как от традиционных, так и от возобновляемых источников энергии.

Библиографический список

1. **Актуальность** использования солнечной энергетики в центральной России / А. Н. Кагдин и др. // Энергетика. Проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс] : тезисы докладов Третьей Всероссийской студенческой научной конференции / под общ. ред. Т. И. Чернышовой ; Третья Всерос. студенческая науч. конф., 20–21 декабря 2017 г., Тамбов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – С. 207 – 210.
2. **Кобелев, А. В.** Проектирование систем электроснабжения объектов коммунальной и производственной инфраструктуры [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. В. Кобелев, С. В. Кочергин, Е. А. Печагин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования: ПК не ниже класса Pentium II; CD-ROM-дисковод 00,0 Mb RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана. – 100 шт. – ISBN 978-5-8265-1599-0.

**ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ
ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ
НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время для успешной эксплуатации различных типов сложных информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС) необходима достоверная и оперативная оценка их технического состояния (ТС). В процессе функционирования ИИУС изменяется их ТС, которое может изменяться от исправного до работоспособного, затем до неисправного и неработоспособного. Все эти состояния системы характеризуются ее параметрами в рассматриваемый момент времени. Для поддержания требуемого уровня надежности ИИУС на этапах эксплуатации проводят ее техническое обслуживание (ТО).

Одной из существенных проблем эксплуатации современных ИИУС является их сложность устройства, которая проявляется в применении прецизионной механики совместно с мощной аналоговой или микропроцессорной цифровой электроникой. При различных условиях эксплуатации воздействие внешних факторов может быть критично как для механических элементов ИИУС, так и для электроники, что в свою очередь обуславливает применение технической эксплуатации по состоянию (ТЭС) ИИУС.

Очевидно, что при решении задачи нахождения оптимального периода ТО при ТЭС, основные затруднения вызывает необходимость определения времени безотказной работы ИИУС. Представленные в [1, 2] подходы определения оптимального периода ТО требуют для своей реализации больших объемов как временных, так и материальных затрат, а результаты могут значительно отличаться от значений ввиду индивидуальных особенностей изделий, условий их эксплуатации, значения показателей надежности, зависящие от конструкции, внешних воздействий, принятой системы ТО и других факторов. Как показано в [3, 4], одним из способов, которым возможно решить описанный недостаток, является применение нейросетевых технологий (НСТ), основным достоинством которых является динамическое саморегулирование во времени, учитывающее воздействие внешних воздействующих факторов.

Алгоритм построения моделей определяющих параметров ИИУС на основе НТС будет основываться на нелинейных рекуррентных сетях Элмана, которые получают из многослойного перцептрона введением обратных связей, однако, связи идут не от выхода сети, а от выходов внутренних нейронов. Это позволяет учесть предысторию наблюдаемых процессов и накопить информацию для формирования адекватной модели изменения параметров во времени.

Структура интеллектуальной системы, выполняющей функцию построения моделей изменения определяющих параметров, будет иметь вид, представленный на рис. 1.

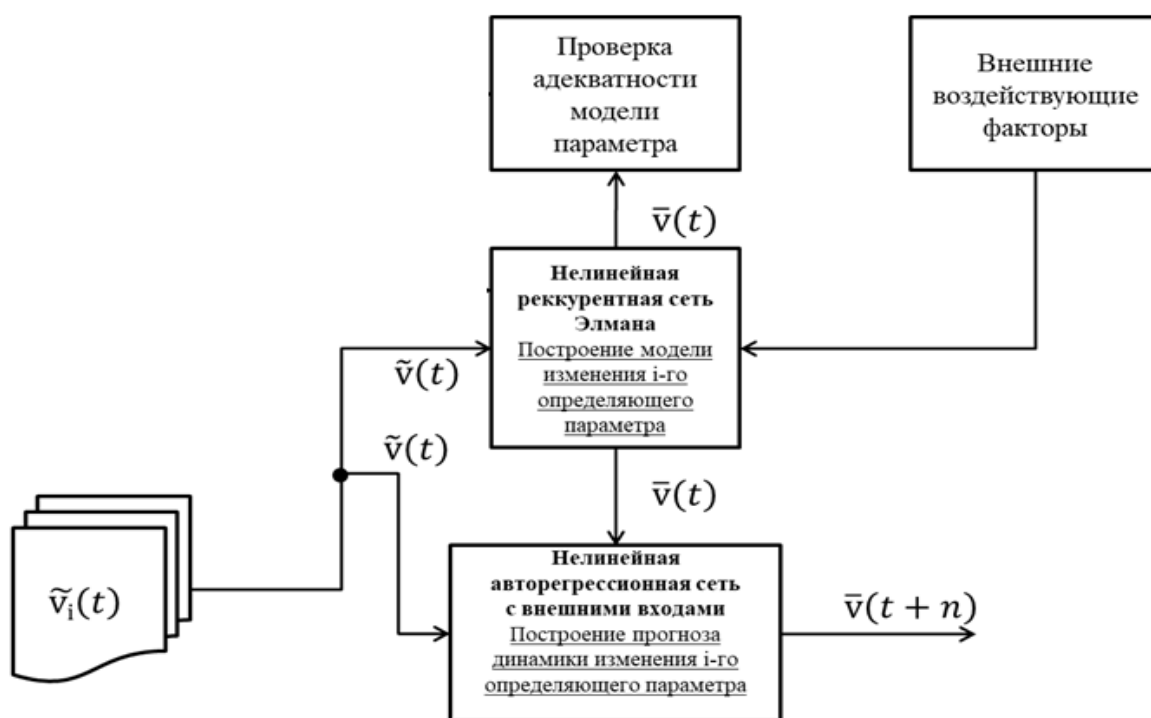


Рис. 1. Структура интеллектуальной системы построения моделей изменения определяющих параметров

В основе функционирования предлагаемой интеллектуальной системы лежит алгоритм, основанный на следующем: учитывая априорную информацию об объекте управления, нейронная рекуррентная сеть производит построение модели изменения определяющих параметров объекта, учитывая обучающую выборку значений изменений определяющих параметров объекта; затем полученная модель изменения определяющих параметров применяется в нелинейной авторегрессионной сети, результатом работы которой является прогноз изменения определяющих объект параметров на период времени.

Библиографический список

1. **Зырянов, Ю. Т.** Планирование контроля технического состояния радиотехнических систем / Ю. Т. Зырянов, Д. Н. Ледовских // Современные технологии – ключевое звено в возрождении отечественного авиастроения : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 12–13 августа 2008 г. – Казань : КГТУ им. А. Н. Туполева. – 2008. – С. 326 – 329.
2. **Чернышова, Т. И.** Информационно-аналитическая система оценки и прогнозирования метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. выпуск (52). – С. 111 – 114.
3. **Артемова, С. В.** Прогнозирование и компенсация возмущения в системах оптимального управления / С. В. Артемова, Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков // Вестник ТГТУ. – 2003. – Т. 9, № 4. – С. 632 – 637.

4. **Муромцев, Д. Ю.** Методика проектирования базы знаний для активных экспертных систем / Д. Ю. Муромцев, В. В. Ермолаев, А. Ю. Коток // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Спец. вып. № 52. – С. 92 – 95.

5. **Селиванова, З. М.** Теоретические основы построения интеллектуальных информационно-измерительных систем допускового контроля теплопроводности теплоизоляционных материалов : монография / З. М. Селиванова, К. С. Стасенко. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 200 с.

6. **Чернышов Н. Г.** Способ реализации энергосберегающего управления в технических системах / Н. Г. Чернышов // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : Тезисы докладов 2-й Международной конференции с элементами научной школы Тамбов, 22 – 24 апреля 2015 г. – С. 185 – 187.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, проф. Ю. Т. Зырянова*

Н. И. Ряшенцев, Н. А. Савилов, П. С. Дубровин, В. Ф. Калинин

ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ РОССИИ

Тамбовский государственный технический университет

Электрическая энергия является универсальным энергоносителем, который используется практически во всех сферах жизнедеятельности человека. Она тем или иным способом участвует при создании другой продукции. Поэтому в стоимость любого товара заложена и стоимость электроэнергии.

Под **качеством электрической энергии** понимается **степень соответствия параметров электрической энергии их установленным значениям** (ГОСТ 32144–2013).

Качество электроэнергии – это совокупность всех характеристик, если хотя бы одна характеристика не удовлетворит заданным значениям, а все остальные – да, то электроэнергия все равно не пригодна для дальнейшего использования.

При передаче электроэнергии от станции к потребителям, качество электроэнергии ухудшается. Включение преобразователей в электрическую сеть может приводить к несинусоидальности напряжения, а отключение и включение потребителей приводит к изменению нагрузки, вследствие чего происходят колебания напряжения и частоты.

Несимметричность нагрузки в фазах потребителей вызывает несимметрию напряжения. Эти причины, а также ряд других приводят к пагубному влиянию на качество электроэнергии, что недопустимо. Качество электроэнергии тесно связано с экономичностью производства, отклонение показателей от номинальных данных приводит к снижению коэффициента мощности, КПД, срока службы, производительности и других показателей потребителей электроэнергии. В последние годы широкое распространение получили потребители, работающие через вторичные источники питания, которые могут ухудшать качество электроэнергии в сети.

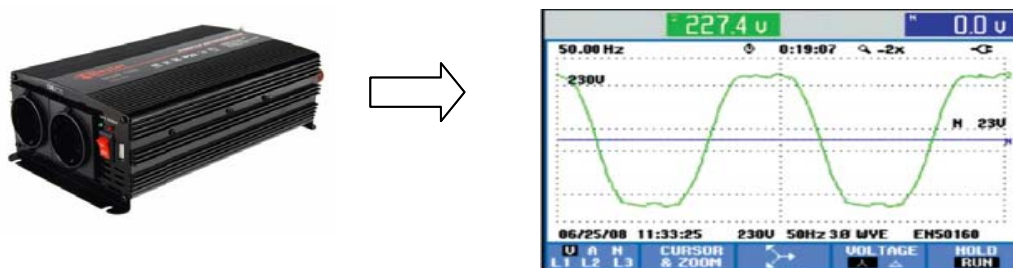


Рис. 1. Инвертор. Искажение формы синусоиды питающего напряжения при работе инвертора



Рис. 2. Влияние работы люминесцентных ламп на качество тока и напряжения электрической сети

Еще одним отражением качества электроэнергии является его влияние на конечные продукты. Неважно, какой это продукт, основным остается то, что если электроэнергия ненадлежащего качества будет поставляться, то это может серьезно отразиться на конечном продукте. Качество электроэнергии также затронуло социальные проблемы. Отклонение напряжения в осветительных сетях вызывает снижение общей освещенности, что сказывается на зрении человека. Естественного освещения в современном обществе не хватает, поэтому человек ту или иную часть времени обязательно будет пользоваться искусственными источниками света, так что это существенная проблема.

Одной из проблем электрической сети является появление высших гармоник, которые приводят не только к нарушению работы телевизионной и радиоаппаратуры, но так же в определенных ситуациях влияет на организм человека. Высокочастотные вибрации, которые вызывают высшие гармоники, приводят к различным видам заболеваний.

Можно сделать вывод, что в электроэнергетике еще много проблем, которые необходимо решать. Чтобы поднять качество электроэнергии, необходима организация не-

прерывного мониторинга показателей и качества. Нужно разработать соответствующее приборное оборудование и разработать методические основы по идентификации источников искажения.

Библиографический список

1. **Антипин, А. С.** Проблемы качества электроэнергии и способы моделирования электротехнологических установок для выявления негативных факторов и явлений возникающих при эксплуатации данного оборудования / А. С. Антипин, В. Э Фризен, М. С. Вольхен // Первая научно-техническая конференция молодых ученых Уральского Энергетического Института. – 2016 – С. 190 – 193.
2. **ГОСТ 32144–2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения – 2014. [Электронный ресурс]. – URL : <http://docs.cntd.ru/document/1200104301> (Дата обращения 17.11.2018).
3. **Борисова, Л. М.** Экономика энергетики : учебное пособие / Л. М. Борисова, Е. А. Гершанович. – Томск : Изд-во ТПУ, 2006. – 208 с.
4. **Чемоданов, Е.В.** Оценка влияния несимметрии, несинусоидальности и отклонения напряжения на работу электрооборудования предприятия агропромышленного комплекса / Е. В. Чемоданов // Вестник ЧГУ. – 2012. – № 3.
5. **Кочергин, С. В.** Вопросы анализа и моделирования развития электроэнергетических систем / С. В. Кочергин, А. Н. Кагдин, А. В. Кобелев // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : материалы Международ. конф. с элементами научн. школы // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. Специальный выпуск. – 2014. – № 52. – С. 83 – 86.

Н. А. Савилов, Н. И. Ряшенцев, А. С. Филиппов, Ж. А. Зарандия

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Тамбовский государственный технический университет

Климат Тамбовской области умеренно-континентальный, с теплым летом и холодной устойчивой морозной зимой. Среднемесячная температура воздуха самого холодного месяца – января $-10,6...11,2$ °С, среднегодовая $+4,6...5,4$ °С, теплый период, т.е. период с положительной среднесуточной температурой, длится 224 – 231 день.

Застройка Тамбовской области – это преимущественно типовые жилые здания, возведенные в 60 – 80-е годы XX века. Из-за возраста и отсутствия реконструкции этих зданий, в зданиях этого типа не всегда поддерживается комфортный температурный режим.

Для того чтобы обеспечить комфортные температурные условия применяют: кондиционеры, электрические отопительные приборы, технологии теплого пола (рис. 1).

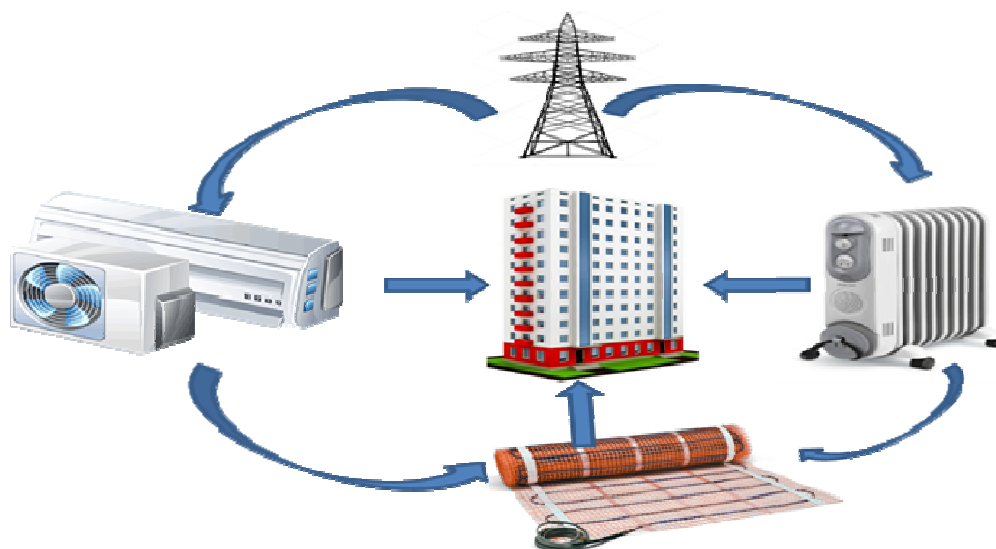


Рис. 1. Технологические устройства для создания комфортных условий в жилых помещениях , работающие от электрической сети

Для энергосбережения в зданиях подобного типа рационально использовать одну из технологий «умного дома». Экономить электроэнергию при отоплении и кондиционировании жилища позволяет установка терморегулятора, который будет автоматически регулировать потребление электроэнергии, отключая его подачу при достижении необходимой (установленной) температуры, что дополнительно повышает комфортность, предотвращая духоту в помещении. Использование контроллеров позволяет оптимизировать затраты электроэнергии на отопление и вентиляцию дома, что имеет особое значение для контроля и регулирования микроклимата.

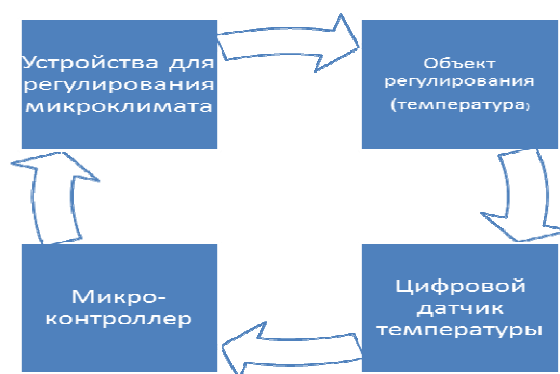


Рис. 2. Структурная схема для регулирования температуры

Программируемые терморегуляторы – устройства, представляющие собой мини-компьютер, позволяющие устанавливать дни недели, часы, временное поддержание температуры, ручную отмену и т.д.

А с развитием современных технологий термостатические устройства стали «умнее» и освободились от проводов. Такие приборы связаны с использованием различных порталов беспроводной связи, например, WiFi или Bluetooth. Самым распространенным является WiFi-подключение. В таких связях эффективность соединений увеличивается,

и снимаются проблемы, связанные с проводкой. При подключении терморегулятора к сети Интернет может обеспечиваться удаленное управление температурным режимом через смартфон, например, к приходу домой прогреть или охладить воздух в квартире.

Таким образом, можно сделать вывод, что индивидуальная система терморегуляции, концепция которой опирается на систему «Умный дом», позволяет обеспечить комфортный температурный режим в жилище с экономией электроэнергии, а так же гораздо доступнее готовой системы «Умный дом».

Библиографический список

1. **Характеристика** Тамбовской области : [Электронный ресурс] // Федеральное государственное бюджетное учреждение государственный центр агрохимической службы «Тамбовский», 2018. – URL : <http://agrohim68.ru/harakteristika-tambovskoy-oblasti/>. (дата обращения 20.11.2018).
2. **Медведева, Г. А.** Современные тенденции использования энергосберегающих технологий в жилищно-коммунальном комплексе / Г. А. Медведева, А. Э. Бирюкова // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – Т. 9, № 2. – 2017.
3. **Кочергин, С. В.** Использование нейронных сетей и фрактального моделирования для исследования сельских распределительных электрических сетей / С. В. Кочергин, А. В. Кобелев, Е. О. Федосова // Наука в центральной России. – 2017. – № 1(25). – С. 336 – 342.

Е. В. Сенцов

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ КОММУТАЦИИ И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ РП-2В ПАО «НЛМК»

Липецкий государственный технический университет

Электрическую энергию, вырабатываемую на электростанциях, необходимо передать в места ее потребления. Но энергию недостаточно передать. Ее необходимо разделить среди множества потребителей [1]. Рассматриваемый объект является звеном этой цепи – распределительной подстанцией.

От системы надежности электроснабжения предприятия зависит выполнение всей совокупности технологических процессов, поэтому модернизация и совершенствование систем электроснабжения были и остаются одними из приоритетных задач в области электроэнергетики [2].

В настоящий момент на рассматриваемой РП-2В установлены аппараты КРУ-2-10 в исполнении КВЭ-6-0,1-3кВ (комплектный шкаф с выключателем со встроенным электромагнитным приводом). Данные электромеханические аппараты имеют ряд недостатков, в том числе фактический износ электрической части (ослабленная изоляция цепей, износ обмоток, нарушение контактных групп), понижение прочности механической части, сложность восстановления необходимых характеристик аппарата, возрастание числа отказов работоспособности, истощение ремонтной базы в связи со снятием

аппарата с выпуска заводом-изготовителем. Также стоит отметить длительную эксплуатацию устройств – более 30 лет.

Принимая во внимание проведенные улучшения близлежащих РП и ГПП, решения по выбору оборудования будут ориентированы на создание общей ремонтной базы и возможной в будущем интеграции в единую сеть АСУ ТП.

К рассмотрению принимаются ВБМ-10-20/1000 УХЛ 2, предназначенные для частых коммутационных операций в ячейках КРУ, устанавливаемые в энергосистемах трехфазного тока частотой 50 Гц с изолированной или компенсированной нейтралью, а также в шкафах управления приемниками электрической энергии промышленных предприятий, завода-изготовителя «Контакт», г. Саратов.

Подобное решение имеет ряд преимуществ: качественный переход от выключателей масляного типа к выключателям вакуумного типа, создание единой ремонтной базы на данном локальной участке производства, снижение затрат на ремонт и обслуживание конкретного оборудования, повышение отказоустойчивости и надежности РП.

Также предусматривается возможность дальнейшего охвата РП-2В сетью АСУ ТП с целью сбора информации о состоянии объекта, оперативного контроля за аварийными ситуациями и т.д. Для повышения надежности системы планируется замена существующих классических электромеханических аппаратов РЗиА на современные микропроцессорные устройства, находящиеся на качественно ином уровне.

Библиографический список

1. **Кацман, М. М.** Электрические машины [Текст] : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / М. М. Кацман. – 3-е изд. испр. – М. : Высш. шк.; Издательский центр «Академия»; 2000. – 463 с.

2. **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения [Текст] : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / В. А. Андреев. – 4-е изд. перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2006. – 639 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доц. П. Н. Левина*

Д. А. Сидорова, А. В. Пронин, А. Ю. Наумова, Н. Г. Чернышов

ЗАДАЧА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВАМИ ИНДУКЦИОННОГО ОБОГРЕВА

Тамбовский государственный технический университет

Рассмотрим задачу оптимального энергосберегающего управления на множестве состояний функционирования Н процессом индукционного нагрева плит гидравлического вулканизационного пресса. Нагревательная плита в состоянии функционирования h описывается моделью в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\dot{z} = f_h(z, u, t), t \in [t_0, t_k], h \in H, \quad (1)$$

требуется из начального состояния $z(t_0) = z^0$ перевести ее в конечное $z(t_k) = z^k$ за время $\Delta t = t_k - t_0$, т.е.

$$z(t_0) = z^0 \rightarrow z(t_k) = z^k, \quad (2)$$

где $z = (z_1, z_2)^T$, t_0 – начальное время интегрального управления, t_k – конечное время интегрального управления.

На управляющие воздействие u наложено ограничение для каждого момента времени, т.е.

$$\forall t \in [t_0, t_k] \quad u(t) \in [u_n, u_b], \quad (3)$$

а так же интегральное ограничение

$$\int_{t_0}^{t_k} u^2(t) dt \leq I_{\text{доп}}, \quad (4)$$

где u_b – верхнее значение управляющего воздействия; u_n – нижнее значение управляющего воздействия; $I_{\text{доп}}$ – допустимое значение затрат энергии.

Требуется определить такое оптимальное управление $u^*(t)$, $t \in [t_0, t_k]$, которое удовлетворяет условиям и ограничениям (1) – (4) и доставляет минимум функционалу

$$I = \int_{t_0}^{t_k} u^2(t) dt. \quad (5)$$

Следовательно, микропроцессорная система оптимального энергосберегающего управления должна по массиву исходных данных для состояния функционирования h :

$$r_n = f, u_n, u_b, z^0, z^k, t_0, t_k, I_{\text{доп}} \quad (6)$$

за допустимое время Δt рассчитать оптимальные управляющие воздействия $u^*(t)$ $t \in [t_0, t_k]$, т.е. определить вид функции $u^*(t)$, если решение задачи оптимального управления существует или выдать сигнал, информирующий о невозможности ее реализации.

Применение подобных систем в промышленности позволит сократить затраты на 10 – 25% и продлить срок эксплуатации оборудования [1 – 5].

Библиографический список

1. **Чернышов, Н. Г.** Разработка систем оптимального управления энергоемкими объектами с применением когнитивной графики и технологии беспроводной связи ZigBee / Н. Г. Чернышов, С. И. Дворецкий // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 87 – 98.
2. **Muromtzev, D., Chernyshov, N.** Features of creation of power saving control systems on set operation conditions. Allerton Press, Inc., New York // Automatic Control and Computer Sciences. – 2008. – V. 42. – N 3. – P. 163 – 168.
3. **Чернышов, Н. Г.** Система управления удаленными динамическими объектами с использованием принципов когнитивной графики / Н. Г. Чернышов, О. А. Белоусов // Автоматизация и современные технологии. – 2010. – № 7. – С. 28 – 33.
4. **Муромцев, Ю. Л.** Математическое и программное обеспечение микропроцессорных систем энергосберегающего управления / Ю. Л. Муромцев, Н. Г. Чернышов, Л. П. Орлова // Автоматика и вычислительная техника. – 1996. – № 6. – С. 26 – 34.
5. **Чернышов, Н. Г.** Система энергосберегающего управления процессами нагрева энергоемких объектов / Н. Г. Чернышов, С. В. Артемова // Автоматика и вычислительная техника. – 2001. – № 3. – С. 25 – 33.

ВЛИЯНИЕ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ В ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ НА РАБОТУ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Липецкий государственный технический университет

Появление в распределительной сети провалов напряжения разной глубины оказывает существенное влияние на работу электроприводов производственных механизмов, приводя к остановке оборудования, что может повлечь за собой расстройство сложного технологического процесса, массовый брак продукции, уменьшение объемов производства.

Борьба с данным явлением является актуальной задачей для исследования.

Появление провалов напряжения классифицируется как аварийный режим работы питающей сети. Показатели ущерба от данного явления зависят от количественного значения провала напряжения и его временного промежутка.

Зачастую, появление провалов напряжения, является последствием возникновения короткого замыкания в линии электропередачи, приводящего к резкому падению напряжения у потребителей, или неконтролируемого (прямого) пуска двигателей значительной мощности, вызывающих резкое снижение напряжения в распределительной сети.

В настоящее время прослеживается тенденция использования на объектах, разного назначения частотно-регулируемых двигателей, позволяющих добиться хороших как энергетических, так и механических показателей [1, 2].

Возникновение провала напряжения в питающей сети приводит к снижению показателей напряжения в звене постоянного тока частотного преобразователя и, как следствие, вызывает отключение электропривода, за счет срабатывания защитной аппаратуры.

Для решения данной проблемы предлагается использование дополнительного источника энергии, включающегося в работу при приближении показателей напряжения к нижнему допустимому уровню, при котором электропривод еще остается в работе. В системе контроля и управления данным процессом предлагается установка нечетких регуляторов, позволяющих быстро реагировать на показатели напряжения в питающей сети, и, в зависимости от диапазона, в котором находятся значения напряжения на входе частотного преобразователя, производить необходимые корректировки показателей напряжения в звене постоянного тока, чтобы не допустить отключения электродвигателя от сети [3].

Библиографический список

1. **Синюков, А. В.** Энергосбережение на насосных станциях / А. В. Синюков, Т. В. Синюкова // Энергосбережение и энергоэффективность в технических системах : материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов: – Тамбов, 2017. – С. 235–236.
2. **Синюков, А. В.** Энергосбережение в системах управления компрессорами / А. В. Синюков, Т. В. Синюкова // Энергосбережение и энергоэффективность в техниче-

ских системах : материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов – Тамбов, 2017. – С. 339 – 340.

3. **Синюков, А. В.** Нейронные сети в электроэнергетике / А. В. Синюков, Т. В. Синюкова // Энергосбережение и энергоэффективность в технических системах : материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов, 2017. – С. 340.

Р. О. Соловьев, Д. И. Шишлин

КАСКАДНО-ЧАСТОТНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД: ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Липецкий государственный технический университет

Поиск энергоэффективных технических решений при создании новых и модернизации действующих электроприводов механизмов промышленного назначения является одной из приоритетных задач во всех отраслях экономики нашей страны. Повышение энергетических показателей электропривода на базе асинхронных двигателей с фазным ротором достигается применением их последовательного возбуждения, с использованием которого построена система каскадно-частотного электропривода [1]. Функциональная схема силовой части системы представлена на рисунке 1. Регулируемый преобразователь UZ1, связанный с питающей сетью через трансформатор TV1, работает в режиме выпрямителя; преобразователь UZ2 работает в режиме автономного инвертора; преобразователь UZ3 является нерегулируемым выпрямителем. В цепь выпрямленного тока включен сглаживающий реактор L. Асинхронный двигатель не имеет прямого включения в сеть; энергия скольжения, за исключением потерь, передается в его стартовую цепь.

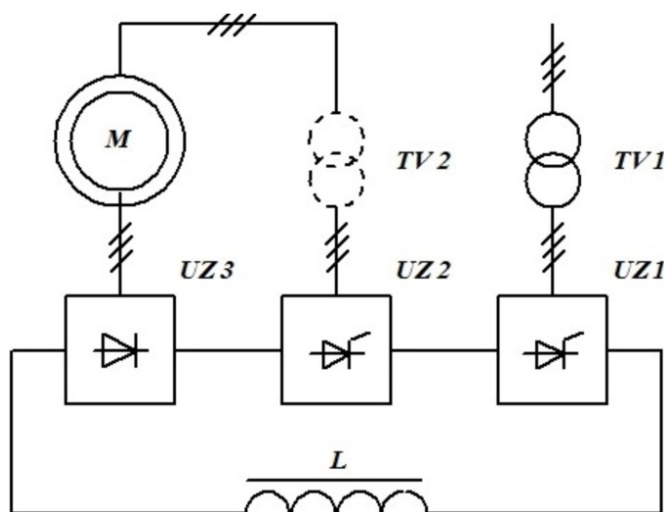


Рис. 1. Функциональная схема электропривода

Каскадно-частотный электропривод (КЧЭП) и асинхронный вентильный каскад (АВК) характеризуются полезной реализацией энергии скольжения и, как следствие, высоким КПД η_K . Однако система КЧЭП лишена недостатков, которые свойственны АВК (возможность «опрокидывания» ведомого сетью инвертора, низкий коэффициент мощности). Работа преобразователя UZ1 в выпрямительном режиме позволяет менять угол управления им в широких пределах, что приводит к существенному снижению потребления установкой реактивной мощности и росту ее коэффициента мощности [2]. Зависимость, связывающая реактивные мощности, КЧЭП $Q_{\text{ПОТР}}$ и системой АВК $Q'_{\text{ПОТР}}$ с учетом углов управления α , β и коммутации γ , имеет вид:

$$\frac{Q'_{\text{ПОТР}}}{Q_{\text{ПОТР}}} = \left[\frac{M\omega}{\eta_K Q_{\text{ПОТР}}} + \frac{\cos\left(\beta - \frac{\gamma}{2}\right)}{\sin\left(\alpha + \frac{\gamma}{2}\right)} \right] \text{tg}\varphi_{\text{ДВ}} + 1.$$

На рисунке 2 представлены зависимости энергетических показателей от скорости системы КЧЭП на базе двигателя МТ112-6.

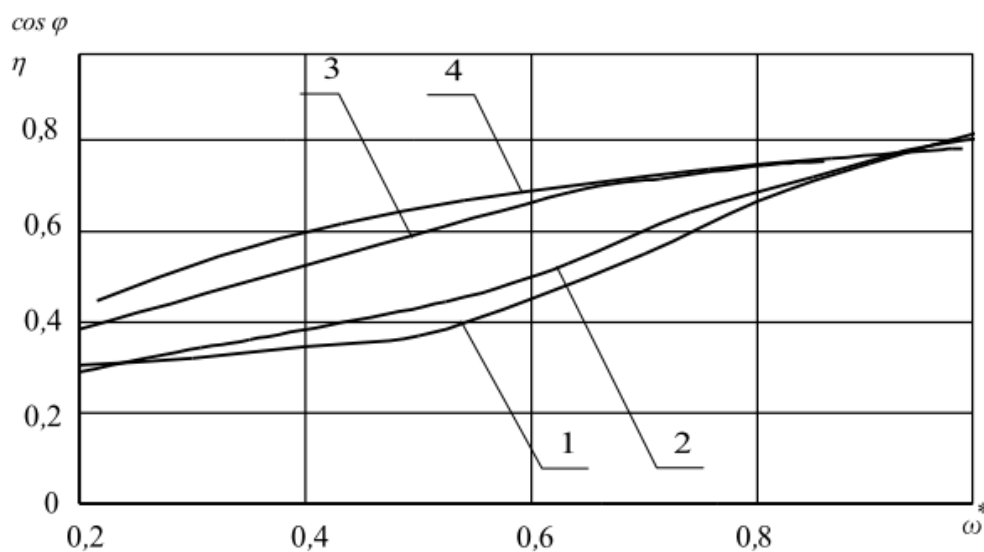


Рис. 2. Зависимости коэффициента мощности и КПД от скорости:

1, 2 – коэффициент мощности; 3, 4 – кпд;
1, 3 – эксперимент; 2, 4 – расчет

Выявлено снижение потребления системой КЧЭП реактивной мощности на 25...30% при работе на частоте вращения, близкой к номинальной, и получение коэффициента мощности электропривода на 20% выше, чем в системе АВК, что говорит об ее энергоэффективности.

Библиографический список

1. **Статические характеристики** системы асинхронного вентильного каскада с последовательным возбуждением / В. Н. Мещеряков, Д. И. Шишлин, Р. С. Рысляев, В. А. Зотов // Известия вузов. Электромеханика. – 2009. – № 2. – С. 57 – 60.
2. **Мещеряков, В. Н.** Построение математической модели системы каскадно-частотного электропривода для определения ее энергетических показателей / В. Н. Мещеряков, Д. И. Шишлин // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век : материалы XII Международной научно-практической интернет-конференции. – Орел, 2016. – С. 78 – 82.

К. А. Стоцкий, А. А. Лихицкий

ПРЕДПОСЫЛКИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО РАЗВИТИЯ

*Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова
(филиал) ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС»*

Подстанция 330 кВ «Губкин» – один из главных питающих центров в северной части Белгородской области. Она была введена в работу в 1961 году для энергообеспечения новых горнодобывающих предприятий Курской магнитной аномалии. На сегодняшний день подстанция снабжает электроэнергией четыре административных района Белгородской области с населением свыше 120 тыс. человек, крупных промышленных потребителей таких, как Лебединский и Стойленский горнообогатительные комбинаты, а также объекты РЖД. За период эксплуатации (56 лет) оборудование подстанции устарело как физически, так и морально, поэтому надежность бесперебойного электро-снабжения промышленных гигантов и населения города Губкин перестала удовлетворять современным требованиям.

Город Губкин относится к категории моногородов (в России их более 300), где (25...50)% населения связано с деятельностью градообразующего предприятия. Это несет серьезные риски – не только остановка, но и любое изменение режима работы такого предприятия (модернизация, ввод нового оборудования и т.п., требующего меньшего числа обслуживающего персонала) могут привести к негативным социальным последствиям.

С 2016 года направление «Моногорода» включено в перечень основных направлений стратегического развития России, утвержден паспорт приоритетного проекта «Комплексное развитие моногородов». По планам, уже до конца 2018 года в моногородах должно появиться 230 тыс. новых, не связанных с деятельностью градообразующих предприятий, рабочих мест, будет повышение инвестиционной привлекательности, улучшение качества городской среды.

Одно из реализуемых для этого решений – распространение на моногорода практики создания *территорий опережающего социально-экономического развития* (ТОР), которые ранее уже начали работу на Дальнем Востоке, в Кемеровской и Владимирской областях (всего более 60 ТОР в моногородах). По заявлениям правительства РФ планируется создать около 100 таких ТОР в границах моногородов на 10 лет с возможностью продления срока.

Решение о создании ТОР «Губкин» принято Правительством РФ в марте 2018 года. Запланирована реализация шести проектов: создание завода по производству керамического кирпича мощностью 60 млн шт./год, рыболовческого комплекса «Губкинская рыба», завода по переработке отработанных автомобильных шин в резиновую крошку, предприятия по переработке молока, производству сыра и молочной продукции, производству кашированной упаковки из переплетного картона, эко- и биоразлагаемой упаковки из формованной целлюлозы. Общий объем привлекаемых инвестиций – 3 млрд. руб. Губкин входит в топ-10 рейтинга наиболее перспективных моногородов России, составленного Фондом развития моногородов.

Основной центр питания города – подстанция 330 кВ «Губкин». ФСК ЕЭС в настоящий момент реализует проект комплексной реконструкции и технического перевооружения энергообъекта. Начиная с 2016 года проводится комплексная реконструкция и техническое перевооружение подстанции «Губкин». Рядом с действующей подстанцией построена новая, современная, высокотехнологичная, полностью соответствующая современным требованиям к надежности энергообеспечения потребителей. В январе 2018 года введен в работу новый автотрансформатор АТДН 200000-330/110 мощностью 200 МВА. Еще один аналогичный трансформатор был установлен годом ранее. Всего в рамках реконструкции будет введено в работу 589 МВА трансформаторной мощности. Кроме того выключатели на открытых распределительных устройствах (ОРУ) заменены на современные элегазовые GL-330. Работы выполняются поэтапно и будут завершены в 2019 – 2020 годах.

Подстанция «Губкин» включена в программу цифровизации ФСК ЕЭС – это первый энергообъект высокого класса напряжения (напряжение 330 кВ) в Центре России, на котором реализована технология телеуправления. Уже в нынешнем году на подстанции «Губкин» был успешно реализован проект телеуправления, т.е. автоматического управления работой энергообъекта по цифровым каналам связи из удаленного диспетчерского центра. После завершения реконструкции подстанция станет цифровым энергообъектом.

Библиографический список

1. URL : http://www.fsk-ees.ru/about/affiliates/mes_centre/

*Работа выполнена под руководством
доц. Н. П. Моториной*

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С РЕЗКОПЕРЕМЕННЫМ ХАРАКТЕРОМ НАГРУЗОК

Липецкий государственный технический университет

Резкопеременный характер возникновения и распространения по питающей сети негативных сетевых возмущений обусловлен, в первую очередь, случайным характером варьирования рабочих мощностей приемников, т.е. непериодическими коммутациями и отключениями различных нагрузок. Однако, характер возникновения амплитудно-фазных искажений напряжения и случайные по характеру возникновения коммутации нагрузок имеют прямую причинно-следственную связь [1].

Особенно заметно изменение нагрузки на сеть при включении мощных электродвигателей с большой кратностью пускового тока. При этом наблюдается снижение качества электроэнергии по отношению к системам электроснабжения с нормальными графиками нагрузок. Усугубляющим фактором в данном случае является то, что возникающая в какой-либо точке, негативные сетевые возмущения распространяются по всей энергосистеме.

На рисунке 1 представлено изменение потребляемой полной мощности группы двигателей, отвечающих за прокат листового металла за период 1 час. Соответственно, соединение такого типа электроприемников в группу даже при построении графиков нагрузки отдельных приемников, либо их совокупности делает характер нагрузки случайным. В этом случае для оценки надежности и повышения эффективности функционирования системы электроснабжения требуется применение аппарата классической теории вероятности. Если за модель описания процессов коммутации резкопеременных нагрузок принять импульсный поток, то это позволит описывать изменяющиеся во времени процессы возникновения возмущений в сети, к которым относятся изменение параметров качества электрической энергии, распространение негативных сетевых

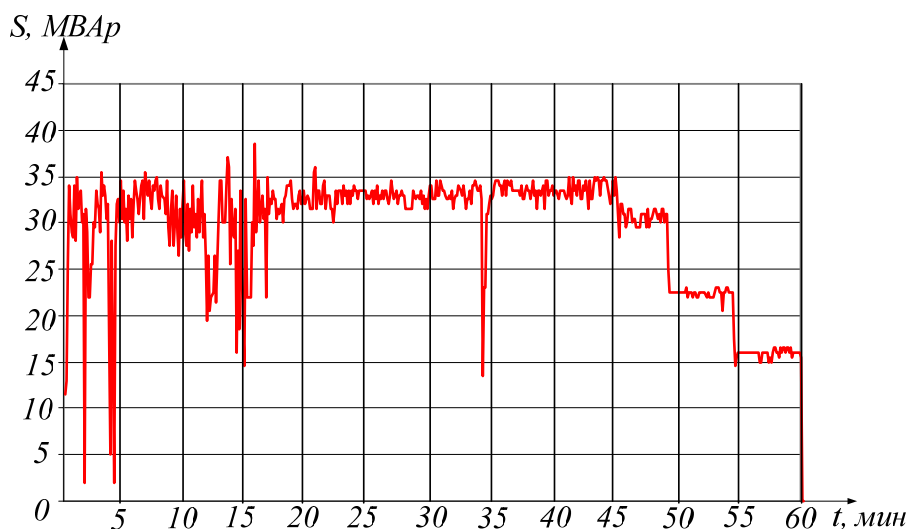


Рис. 1. График активной нагрузки резкопеременного характера

возмущений по сети, коммутации и отключение резкопеременных нагрузок и т.д. [2]. Такой поток можно представить расчетным эквивалентным потоком прямоугольных импульсов, т.к. длительности и амплитуды импульсов имеют случайный характер. Продолжительности пауз также случайны.

Чтобы произвести достаточно полное описание возникновения и распространения негативных сетевых возмущений, процессов коммутации и отключения нагрузок резкопеременного характера, возникающих при резкопеременных нагрузках, предварительно необходимо установить средние параметры потока и законы распределения основных параметров, а также изменение амплитудно-фазных параметров реальных импульсов. На основании полученных результатов целесообразна разработка мероприятий, направленных на динамическую компенсацию возмущений. Такая компенсация позволит снизить объем потребляемой реактивной мощности и добиться повышения энергосбережения промышленных потребителей.

Библиографический список

1. **Зацепина, В. И.** Рациональный анализ нагрузочных характеристик системой управления электроприемниками / В. И. Зацепина, О. Я. Шачнев, А. О. Кушникова // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2018. – № 2. – С. 3 – 12.
2. **Голубцов, Н. В.** Эффективное управление пусконаладочными процессами на электростанции с использованием ранжирования работ / Н. В. Голубцов, О. В. Федоров // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2018. – № 3–4.

А. Н. Шпиганович, С. С. Астанин

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА КАК СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Липецкий государственный технический университет

Важным аспектом систем электроснабжения в любом промышленном предприятии является система контроля и управления режимов работы. В большинстве случаев требуется обеспечение отказоустойчивости системы электроснабжения [1].

Особенно это касается современных мощных промышленных предприятий, например, таких как ПАО «НЛМК». Создание отказоустойчивой системы электроснабжения должно включать как соблюдение требуемых показателей качества электроэнергии, так и управление и защиту. Предприятия, относящиеся к потребителям первой категории, особенно требовательны к поддержанию отказоустойчивости. Перерыв в поставках электроэнергии в этом случае приведет к огромным экономическим потерям, а в некоторых случаях может стать причиной поломки дорогостоящего оборудования или создать опасную для жизни людей ситуацию.

С ростом потребляемых на предприятии мощностей повышается сложность используемых систем электроснабжения. Это влияет на применяемые системы управления и автоматики и делает их индивидуальными для каждого производства. Поэтому

результаты оценки надежности, полученные для отдельных предприятий, не могут быть распространены на другие системы. Это создает трудности в расчете отказоустойчивости. Сложность возрастает с увеличением мощности приемников, что естественно может повлиять на достоверность проводимого анализа. Оценка системы влияет на выбор дальнейшего ее развития. Снижение достоверности приведет к дополнительным затратам и может вызвать изменение качества электроэнергии. Для упрощения анализа отказоустойчивости системы предлагается условно разделить ее на уровни и производить оценку относительно отдельно взятых уровней. Такое разделение позволит снизить сложность анализа расчета крупных производственных объектов и распространить полученные результаты на аналогичные уровни других систем [2]. Результаты анализа системы позволят выявить наиболее ненадежные элементы системы и принять решения о способах сохранения отказоустойчивого состояния.

Резервирование элементов систем управления позволяет достичь более высоких показателей отказоустойчивости и проводить постоянный контроль работоспособности. Возможностей у таких систем больше, а показатель отказоустойчивости выше. Применение резервирования может быть не всегда обосновано экономически или технически. В таких ситуациях принимают решение о допустимости упрощения системы и возможности других способов поддержания ее рабочего состояния.

Работа выполнена в рамках научного проекта № 17-48-480083 при финансовой поддержке РФФИ и администрации Липецкой области.

Библиографический список

1. **Shpiganovich, A. N.**, Shpiganovich A. A., Zatsepin E. P., Astanin S. S. Estimation of electrical equipment service // EAI Endorsed Transactions on Energy Web. – 2017. – № 15. – P. 5.
2. **Shpiganovich, A. N.**, Zatsepin V. I., Shpiganovich A. A., Stepanov V. M. Power-supply systems reliability control // EAI Endorsed Transactions on Energy Web. – 2018. – № 19. – P. 10.

Р. А. Токарев, Р. О. Дементьев

СИСТЕМА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

Тамбовский государственный технический университет

Простейшие системы энергосберегающего управления (СЭУ) состоят из управляющего устройства (УУ) и объекта (О) управления. Разновидностью СЭУ является включение в схему автоматического регулятора (АР). Управляющее устройство рассчитывает оптимальную программу изменения, например, температуры, отклонения от траектории устраняются с помощью АР. Данная система используется для объектов, которые подвержены значительным возмущающим воздействиям W [1].

СЭУ с обратной связью (оптимальный регулятор). В этом случае устройство реализует алгоритм в виде синтезирующей функции, то есть УУ рассчитывает энергосбере-

гающие управляющие воздействия в каждый момент времени в зависимости от текущего значения фазовых координат и остаточного времени. Вид и параметры самой синтезирующей функции определяется значением массива исходных данных. [2]

Важной особенностью систем является то, что их анализ производится как системы с одним входом и одним выходом, т.е. это SISO – системы (Single Input Single Output).

Многие энергоемкие технологические установки имеют несколько входов и несколько выходов, при этом каждый входной сигнал влияет на группу выходных сигналов. Примером такой установки является многозонная электрическая печь, в которой управление температурой в одной зоне влияет на температуры в соседних зонах. Такие системы относятся к классу систем со многими входами и многими выходами, т.е. МИМО – систем (Multi Input Multi Output).

Все системы управления, решающие задачи энергосбережения, отличаются сложностью алгоритмического обеспечения, вместе с тем они должны использовать те же аппаратные и инструментальные средства, что и другие АСУТП.

За последние годы наметилась тенденция усложнения АСУТП и решаемых ими задач управления вследствие повышения требований к качеству ведения процессов, усложнения технологических объектов, возросших потребностей в решении интеллектуальных задач управления в реальном времени и задач планирования производства.

Представителями промышленных предприятий предъявляются жесткие требования к разработчикам систем управления, эти требования, в первую очередь, относятся к поддержке распределенных ресурсов, работе в сетевой среде и реальном времени, использовании многозадачных и многопользовательских режимов, интеграции с верхним уровнем управления, открытости и низкой цене. [3]

Математическое обеспечение СЭУ должно включать методы, необходимые для решения задач идентификации математических моделей динамики объектов управления, анализа оптимального управления, выбора стратегии реализации энергосберегающего управляющего воздействия, разработки алгоритмов синтеза оптимального управления, а также имитационного моделирования функционирования СЭУ.

В настоящее время системы управления практически не используют возможности энергосберегающего управления. Имеется большое число постановок задач энергосберегающего управления динамическими объектами, а также структурных схем систем управления.

Важным фактором достижения эффекта энергосбережения является определение оптимальных управляющих воздействий с учетом возможных изменений состояний функционирования.

Библиографический список

1. **Тюрин, И. В.** Проектирование микропроцессорных систем энергосберегающего управления сложными технологическими аппаратами / И. В. Тюрин, М. С. Кузнецова // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах. – 2016. – С. 147–148
2. **Муромцев, Д. Ю.** Синтез многофункциональных управляющих устройств / Д. Ю. Муромцев, В. В. Папин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013 – Т. 19, № 2. – С. 262 – 270.

3. **Чернышов, Н. Г.** Особенности создания систем энергосберегающего управления на множестве состояний функционирования / Н. Г. Чернышов, Д. Ю. Муромцев // Автоматика и вычислительная техника. – 2008. – № 3. – С. 74 – 82.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук доцента И. В. Тюрина*

Р. А. Токарев, Д. В. Калашников

ЗАДАЧИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ НА МНОЖЕСТВЕ СОСТОЯНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Тамбовский государственный технический университет

Важнейшей проблемой человечества является экономия энергоресурсов, потребность в которых с каждым годом возрастает.

Исследования и практические результаты показывают, что при оптимальном управлении уменьшение затрат энергии (расхода топлива) может достигать от 5 до 10% по сравнению с обычным управлением. Кроме того, в динамических режимах, характеризующихся меньшими энергетическими затратами, снижаются механические и тепловые нагрузки, что ведет к повышению долговечности и безопасности эксплуатации объектов.

Сдерживающим фактором в реализации оптимального энергосберегающего управления динамическими процессами является отсутствие алгоритмов синтеза управляющих воздействий в реальном времени, которые могут быть использованы простыми и дешевыми микропроцессорными устройствами [1, 2].

К наиболее энергоемким объектам относятся тепловые аппараты, машины с электроприводами, т.е. большинство видов технологических установок в машиностроительной, химической, металлургической, строительной и др. отраслях промышленности, а также перемещающиеся объекты и транспортные средства. Миллионы разнообразных энергоемких объектов значительную долю времени работают в динамических режимах, это позволяет снижать их энергопотребление за счет оптимального управления в различных состояниях функционирования. [3]

Эффект энергосбережения при использовании оптимального управления достигается за счет следующих факторов, в том числе:

- реализация оптимальных траекторий изменения фазовых координат на всем временном интервале управления;
- оптимальное ведение динамических режимов при всех состояниях функционирования, т.е. в случае изменения модели динамики объекта или условий (исходных данных) задачи управления оперативно (в реальном времени) находится новое решение, и реализуются энергосберегающие управляющие воздействия для существующей ситуации;

- использование оптимальной стратегии реализации энергосберегающего управления (программной, позиционной или другой) для каждого состояния функционирования;

- замена обычных автоматических регуляторов энергосберегающими, которые устраняют значительные отклонения регулируемой величины от заданного значения с минимумом затрат энергии (расхода топлива) и др.

Для создания систем энергосберегающего управления требуется решить комплекс теоретических задач, основными из них являются:

- полный анализ задач оптимального управления для типовых моделей динамики энергоемких объектов, различных видов минимизируемых функционалов и стратегий реализации управляющих воздействий, ограничений на управления и фазовые координаты, встречающиеся в реальных условиях;

- оперативный (в реальном масштабе времени) синтез энергосберегающих управляющих воздействий;

- идентификация моделей динамических режимов, в т.ч. нелинейных и с временным запаздыванием по каналам управления, пригодных для использования в системах энергосберегающего управления;

- принятие обоснованных решений при проектировании систем энергосберегающего управления, в том числе выбор вида модели динамики объекта, стратегии реализации управляющих воздействий, программно-технических средств и др.

Библиографический список

1. **Тюрин, И. В.** Принципы энергосберегающего управления сложными динамическими объектами / И. В. Тюрин, М. С. Кузнецова // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах. – 2016. – С. 149 – 151.

2. **Муромцев, Д. Ю.** Синтез многофункциональных управляющих устройств / Д. Ю. Муромцев, В. В. Папин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 2. – С. 262 – 270.

3. **Чернышов, Н. Г.** Особенности создания систем энергосберегающего управления на множестве состояний функционирования / Н. Г. Чернышов, Д. Ю. Муромцев // Автоматика и вычислительная техника. – 2008. – № 3. – С. 74 – 82.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук доц. И. В. Тюрин*

Г. Г. Уваров, Е. П. Зацепин

СТАТКОМ КАК СРЕДСТВО РЕШЕНИЯ ВОПРОСОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Липецкий государственный технический университет

Одним из подходов применения энергосберегающих технологий на предприятиях является поддержание на необходимом уровне коэффициента мощности $\cos \varphi$ [1], который зависит от наличия реактивной мощности и связан с ней следующим соотношением:

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}, \quad (1)$$

где P и Q – активная и реактивная мощности, соответственно [2].

Передача реактивной мощности Q вызывает потерю активной мощности ΔP , определяющуюся по формуле:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R, \quad (2)$$

где U – линейное напряжение; R – активное сопротивление фазы [3].

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод о том, что проводя мероприятия компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях, можно добиться снижения потерь активной мощности.

Другим фактором, влияющим на увеличение активных потерь в системах электропитания, является несимметричная нагрузка по фазам, которая вызывает появление токов обратной последовательности. В таком случае полный ток, протекающий по фазам, будет состоять не только из токов прямой, но и обратной последовательности, вызывающих добавочные потери активной мощности.

Таким образом, для решения обозначенных проблем наиболее рациональным считается применение универсального устройства, позволяющего не только компенсировать реактивную мощность, но и снижать влияние несимметричной нагрузки. И таким устройством является СТАТКОМ.

СТАТКОМ (STATCOM – static synchronous compensator) – статический синхронный компенсатор реактивной мощности, предназначенный для компенсации реактивной мощности, симметрирования нагрузок в фазах, улучшения гармонического состава тока и напряжения и поддержания напряжения на необходимом уровне. Его устройство и схема подключения к сети представлены на рис. 1 [4, 5].

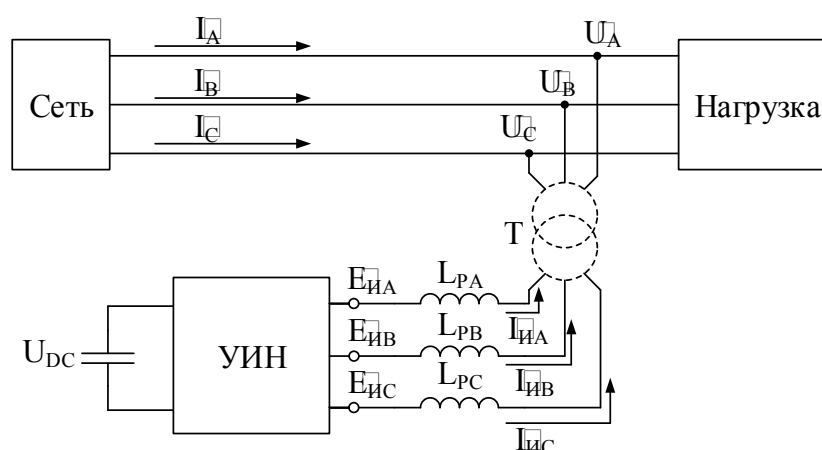


Рис. 1. Схема подключения СТАТКОМ к сети:

УИН – управляемый инвертор напряжения; I_A , I_B , I_C – сетевые токи; U_A ,

U_B , U_C – сетевые напряжения; E_{IA} , E_{IB} , E_{IC} – напряжение инвертора;

I_{IA} , I_{IB} , I_{IC} – токи инвертора; L_{PA} , L_{PB} , L_{PC} – индуктивности фазных реакторов;

T – понижающий трансформатор (может отсутствовать); U_{DC} – напряжение конденсатора

Применение такого комбинированного устройства как СТАТКОМ на промышленных предприятиях позволит рационально использовать невозобновляемые природные ресурсы, затрачиваемые на генерацию электрической энергии, а также даст экономический эффект, заключающийся в снижении платы за электроэнергию из-за отсутствия активных потерь и реактивной мощности.

Библиографический список

1. **Игнатъев, В. Н.** Советы по энергосбережению на промышленных предприятиях [Текст] / В. Н. Игнатъев // Энергосовет. – 2016. – № 2. – С. 31 – 35.
2. **Основы** теории цепей [Текст] : учебник для вузов / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
3. **Железко, Ю. С.** Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии [Текст] : руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. – М. : ЭНАС, 2009. – 456 с.
4. **Ненахов, А. И.** Разработка методик подавления колебаний напряжения и коррекции формы токов резкопеременных промышленных нагрузок с помощью быстродействующих управляемых устройств [Текст] : дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.09.03: защищена 23.06.17 / Ненахов Александр Игоревич; МЭИ. – М., 2017. – 152 с.
5. **Кукарекин, Е.А.** Устройство компенсации реактивной мощности типа D-СТАТКОМ для распределительных сетей 6–10 кВ [Текст] / Е. А. Кукарекин, К. В. Хачевский // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. – Новосибирск : АНС СибАК, 2015. – С. 219 – 224.
6. **Уваров, Г. Г.** Анализ функционирования статических компенсаторов реактивной мощности [Текст]: выпускная квалификационная работа бакалавра : 13.03.02 : защищена 02.07.18 / Уваров Геннадий Геннадьевич. – Липецк, 2018. – 74 с.
7. **Устранения** нарушения функционирования компенсирующего устройства СТАТКОМ на металлургических предприятиях [Текст] / В. И Зацепина, Е. П. Зацепин и др. // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2018. – № 1(53). – С. 29 – 35.

С. А. Уваров, А. Г. Ручьев, Е. Р. Лукашина, Е. А. Печегин

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ВЕТРОСОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

В связи с ростом цен на традиционные энергетические ресурсы, встает вопрос об использовании альтернативной энергетики в повседневной жизни. В результате исследований было выявлено, что совместное применение солнечных и ветровых установок намного эффективней, чем применение их по отдельности. Исходя из этого в энергетике появились мобильные ветросолнечные гибридные электростанции.

Применение гибридных ветросолнечных электростанций небольшой мощности – отличный вариант для частного сектора, из-за условий центральной полосы России,

1. Среднегодовая скорость ветра в Тамбовской области и вырабатываемая мощность ветрогенератором Condor Home

Расположение метеостанции	$v_{cp}(m/c) / P (Вт)$	$v_{cp} (m/c) / P (Вт)$				$v_{max} (m/c)$
		Зима	Весна	Лето	Осень	
Тамбов	3,4 474	3,7 611	3,5 517	2,9 517	3,4 474	26
Жердевка	2,8 265	3,1 360	2,9 294	2,3 147	2,8 265	21
Кирсанов	2,4 167	2,7 238	2,5 189	2,0 97	2,4 167	22
Мичуринск	2 96	2,4 167	2,0 97	1,6 49	1,9 83	26
Моршанск	2,4 167	2,7 238	2,4 167	2,0 97	2,3 147	23
Уварово	3 326	3,3 434	2,9 294	2,3 147	3,0 326	26

где количество ветряных и солнечных дней в году примерно одинаково. Если проанализировать статистику скорости ветра (табл. 1) в Тамбовской области за период 2014 года, то можно сделать вывод, что территория Тамбовской области имеет благоприятные условия по природно-климатическим показателям для использования ветрогенераторов малой и средней мощности.

Для расчета мощности, вырабатываемой в Тамбовской области, возьмем ветрогенератор Condor Home, с диаметром ветроколеса 5 м. Также проанализируем уровень солнечной инсоляции для Тамбовской области за год (рис. 1).

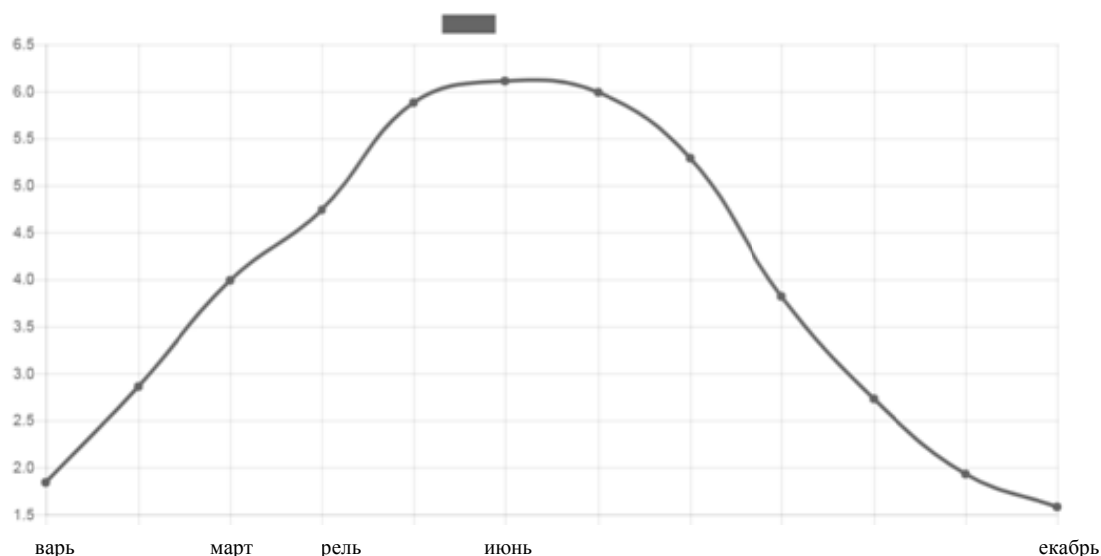


Рис. 1. График солнечной инсоляции для Тамбовской области

Можно сделать вывод, что ветрогенераторы и солнечные батареи хорошо дополняют друг друга из-за различной производительности зимой и летом, а также создают устойчивую систему.

Исходя из того, что Тамбовская область находится в зоне централизованного электроснабжения, экономически целесообразно будет использовать гибридную ветросолнечную электростанцию средней и малой мощности для резервирования сельских районов и фермерских хозяйств, где возможны проблемы с электропитанием из-за большого износа сетевой инфраструктуры. Данные мероприятия помогут снизить себестоимость производства электроэнергии и улучшить ее качество. Следовательно, используя комплексный подход к вопросам энергоэффективности и рационального использования ресурсов в Тамбовской области можно эффективно использовать гибридные ветросолнечные электростанции как альтернативный источник энергии.

Библиографический список

1. **Тарасов, А. С.** Возможности развития ветроэнергетики как альтернативного источника энергии в России / А. С. Тарасов // Технические науки – от теории к практике : материалы XXXII международной заочной научно-практической конференции. – Новосибирск : Изд. «СибАК», 2014. – № 3(28). – С. 35 – 41.
2. **Чистая** энергия ветра [Электронный ресурс]. – URL : <http://energywind.ru/recomendacii/karta-rossii/czentr/tambovskaya-oblast>
3. **Решение** проблемы предоставления электрической энергии нормируемого качества для сельскохозяйственных потребителей / А. В. Кобелев и др. // Научный потенциал вуза – производству и образованию : сборник статей по материалам XIII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского государственного технологического университета. Кубанский государственный технологический университет; Армавирский механико-технологический институт; Краснодарское региональное отделение «Союз машиностроителей России». – Армавир : Изд-во : Армавирский государственный педагогический университет (Армавир). – 2018. – С. 99 – 102.

А. Н. Хархардин

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЕКЦИОНИРУЮЩЕГО ПУНКТА С ФУНКЦИЕЙ АВР

Орловский государственный аграрный университет им. Н. В. Парихина

Качественное бесперебойное электроснабжение – одно из главных условий эффективного функционирования производства и нормальной жизнедеятельности людей. Несовершенство сельских электрических сетей в комплексе с другими причинами приво-

дит к тому, что показатели надежности электроснабжения в последние годы практически не изменяются, оставаясь низкими [1].

Одним из способов повышения надежности электроснабжения является применение секционирования и резервирования линий электропередач 0,38 кВ, которые позволяют значительно уменьшить перерывы в электроснабжении, снизить ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителям, сократить финансовые потери электросетевых и энергосбытовых компаний и повысить эффективность систем электроснабжения сельских потребителей.

Существующие на данный момент времени решения по совместному использованию средств секционирования и резервирования в ЛЭП 0,38 кВ показали себя успешно, но все же имеют ряд недостатков. Поэтому разработка нового универсального секционирующего пункта с функцией автоматического включения резерва (АВР) для ЛЭП 0,38 кВ является актуальной задачей.

При разработке данного устройства требуется уделить особое внимание выбору аппаратов для автоматизированной коммутации силовой цепи во всех режимах. В качестве коммутационных аппаратов секционирующего пункта для автоматического включения резерва чаще всего используются вакуумные контакторы, однако, на наш взгляд, наиболее рациональным является применение модульного автоматического выключателя с независимым расцепителем. Автоматический выключатель, по сравнению с вакуумным контактором, имеет компактные размеры, низкую стоимость.

Схема секционирующего пункта, собранная на автоматических выключателях, в отличие от вакуумных контакторов, не только производит переключение нагрузки между вводами, но и обеспечивает защиту по каждому вводу от токов короткого замыкания и перегрузок [4].

Для обеспечения дистанционного управления с пульта оператора в схемах АВР с автоматическими выключателями применяются независимые расцепители. С их помощью можно отключить как однофазный, так и трехфазный автомат, находящийся на определенном расстоянии. Для приведения в действие независимого расцепителя достаточно подать импульс напряжения на катушку расцепителя.

В данный момент на мировом рынке представлен огромный ассортимент продукции как отечественного, так и зарубежного производителя. Наиболее известными и рекомендовавшими себя являются такие компании как: IEK, ABB и Schneider Electric.

В таблице 1 представлены основные характеристики независимых расцепителей вышеназванных компаний.

1. Характеристика независимых расцепителей

Технические характеристики	IEK PH-47 [2]	ABB S2C-A [3]	Schneider Electric GVAS225 [5]
Номинальное рабочее напряжение	230 В	230 В	230 В
Диапазон рабочих температур	От –40 до +50 °С	От –40 до +50 °С	От –40 до +50 °С

Технические характеристики	IEK PH-47 [2]	ABB S2C-A [3]	Schneider Electric GVAS225 [5]
Диапазон рабочих напряжений	161 – 253 В	110 – 415 В (AC) 110 – 220 В (DC)	220 – 240 В
Потребляемая импульсная мощность	3 Вт	–	1,6 Вт
Механическая износостойкость	> 10000 циклов	> 10000 циклов	10000 циклов с GV3P и GV3L или 30000 циклов с GV2ME и GV2P
Степень защиты	IP20	IP20	IP20
Совместимость с авт. выкл.	BA47-29/100	S200, M200, DS200	GV2L, GV2ME, GV2P, GV3L

Таким образом, мы видим, что независимые расцепители и автоматические выключатели, выпускаемые вышеуказанными компаниями, имеют почти схожие характеристики. Однако применение независимого расцепителя серии GVAS225 в связке с автоматическими выключателями серии GV2ME или GV2P позволит обеспечить более продолжительную и надежную эксплуатацию устройств секционирования и резервирования с функцией АВР.

Библиографический список

1. **Виноградов, А. В.** Повышение надежности электроснабжения сельских потребителей посредством секционирования и резервирования линий электропередачи 0,38 кВ: монография / А. В. Виноградов, А. В. Виноградова. – Орел : ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2016. – 224 с.
2. **Группа компаний IEK.** Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.iek.ru/> (дата обращения: 07.12.2018)
3. **Группа ABB.** Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL : <https://new.abb.com/ru> (дата обращения: 07.12.2018)
4. **Энергосистемы Луджер.** Как выбрать АВР [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.esludger.com.ua/kak-vybrat-avr.html> (дата обращения: 07.12.2018)
5. **Schneider Electric.** Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.schneider-electric.ru/ru/> (дата обращения: 07.12.2018)

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доц., А. В. Виноградова (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)*

БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Липецкий государственный технический университет

С тех времен, когда человечество открывало электричество, многие ученые пытались изучить и понять явление токов, проводя многочисленные опыты и создавая новые материалы, которые обладают лучшими свойствами передачи энергии с нулевым сопротивлением. Наиболее перспективным направлением в таком научном труде является беспроводная передача электроэнергии на большие расстояния, но с минимальными затратами.

В 1820 году Андре Мари Ампером был открыт закон взаимодействия электрических токов (параллельные проводники, у которых электрические токи текут в одном направлении – притягиваются, а в противоположных – отталкиваются) [1], это положило начало будущему развития науки об магнетизме и электричестве. Чуть позже Майкл Фарадей с помощью экспертов установил, что магнитное поле, порождаемое электрическим током, способно индуцировать электрический ток в другом проводнике. Таким способ и был создан самый первый электрический трансформатор [2].

При помощи экспериментов в 1888 году Генрих Герц подтвердил существование электромагнитных волн. Его искровой передатчик с прерывателем на базе катушки Румкорфа мог производить электромагнитные волны частотой до 0,5 гигагерц, которые могли быть приняты несколькими приемниками, настроенными в резонанс с передатчиком. Приемники могли быть расположены на расстоянии до трех метров, и при помощи возникновения искры в передатчике, искры возникали и в приемниках. Вот так и были проведены первые опыты по беспроводной [3] передаче электричества с помощью электромагнитных волн [4].

Беспроводная передача энергии – это способ транспортировки, при котором не используются какие-либо проводники или сети кабелей, а ток передается на значительное расстояние до потребителя с максимальным коэффициентом полезной мощности по воздуху. Для этого применяются передатчики, приемник с потребляющим прибором, и устройства для генерации электричества. С помощью передатчиков ток рассеивает его во всех направлениях. Приемник улавливает электромагнитные волны и путем их концентрации на коротком участке проводника передает энергию на лампу или любой другой прибор определенной мощности.

Преимущества беспроводной передачи:

- электроника может быть скрыта для уменьшения опасности коррозии;
- уменьшаются расходы, связанные с поддержанием прямых соединений;
- практично при зарядке обычных электронных устройств [5];
- обеспечивает надежную передачу мощности в критически важные системы во влажной, грязной и движущейся среде [5, 6].

По рассматриваемой сети мощность может распространяться почти по всем немагнитным материалам, включая, но, не ограничиваясь ими. Это такие твердые вещества, как стекло, древесина, пластмасса, кирпич, а также газы и жидкости. Когда метал-

лический или электропроводящий материал (т.е., углеродное волокно) помещается в непосредственной близости от электромагнитного поля, объект поглощает мощность из него и в результате нагревается. Все это влияет на эффективность системы. Вот как работают индукционные печи, к примеру, неэффективная передача мощности из варочной панели создает тепло для приготовления пищи. Одним из наиболее важных способов передачи энергии является индуктивная связь. Он в основном используется для ближнего поля [7].

Технология WPT в 2007 году была испытана командой ученых Массачусетского технологического института: 60-ти ваттная лампочка была включена с расстояния двух метров. Эффективность передачи энергии составила 45 процентов [8, 9].

С тем же подходом команда российских исследователей разработала высокоэффективную систему беспроводной передачи энергии. С помощью нее можно строить помещения, где обычные мобильные телефоны и планшеты будут заряжаться автоматически, «от воздуха» [8, 9].

Делая вывод, можно сказать, что беспроводная передача энергии уже долгое время распространена и известна, но на деле не во многих сферах используется из-за технических сложностей. Но данный вид передачи энергии менее затратный и более эффективный, поэтому человечеству придется преодолеть все сложности или найти иные способы передачи электроэнергии.

Библиографический список

1. URL : <https://studall.org/>
2. **Чебарьян, А. О.** Всемирная история [Текст] : энциклопедия : в 14 т. Т. 7. Мл-Ол. / А.О. Чебарьян, В. В. Ищенко, С. Г. Кордонский. – М. : ОЛМА Медиа Групп, ОЛМА-ПРЕСС Образование, 2006. – 240 с.
3. URL : <http://elektrik.info/>
4. **Скляренко, В. М.** 100 знаменитых ученых [Текст] : монография / В. М. Скляренко, Т. Иовлева, А. Ильченко, И. Рудычева. – Харьков : ФОЛИО, 2008. – 512 с.
5. URL : <https://blogs.systweak.com/>
6. **Костин, В. Н.** Передача и распределение электроэнергии [Текст] : учебное пособие / В. Н. Костин, Е. В. Распопов, Е. А. Родченко – Санкт-Петербург, СЗТУ, 2003. – 147.
7. **Тамм, И. Е.** Основы теории электричества / И. Е. Тамм. – М. : Физматлит, 2003. – 616 с.
8. URL : <https://mydocx.ru/>
9. **Ефимова, Е.** В России разработали высокоэффективную систему беспроводной передачи энергии [Электронный ресурс] / Е. Ефимова. – Электр. дан. – М. : ВЕСТИ.RU, 2016.

ТРУДНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Тамбовский государственный технический университет

С начала XX века основой энергетики является углеводородное сырье, на сегодняшний день в мире представленное нефтью и природным газом. Они в свое время потеснили, и сейчас практически вытеснили из энергетики своих предшественников: торф, дрова и др.

Однако в последнее время в мире активно начинают использовать возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Возможно, в будущем они смогут вытеснить уже привычные на мировом рынке энергетического сырья углеводороды. Это неразрывно связано как с высокими ценами на газ и нефть, так и с истощением запасов этих природных ресурсов и еще с множеством аспектов как экономических, так и политических и даже культурных.

Однако при внедрении ВИЭ в существующую систему энергоснабжения мы столкнемся с некоторыми трудностями.

Применяемые ВИЭ имеют общие проблемы:

– необходимость приведения получаемой электроэнергии к промышленному стандарту 220 В и 50 Гц, для этого необходимо применять дорогостоящие инверторы (преобразователи электрических параметров), их стоимость достигает до 50% от стоимости всего оборудования для получения альтернативной энергии, при этом во время работы на теплообразование расходуется большая часть электроэнергии [1];



Рис. 1. Гибридная система преобразования энергии ветра

– требуется использовать аккумуляторные батареи (стоимость может достигать до 25% от стоимости всего комплекса) в связи с необходимостью аккумулировать электроэнергию при отсутствии выработки альтернативной энергии в автономных системах.

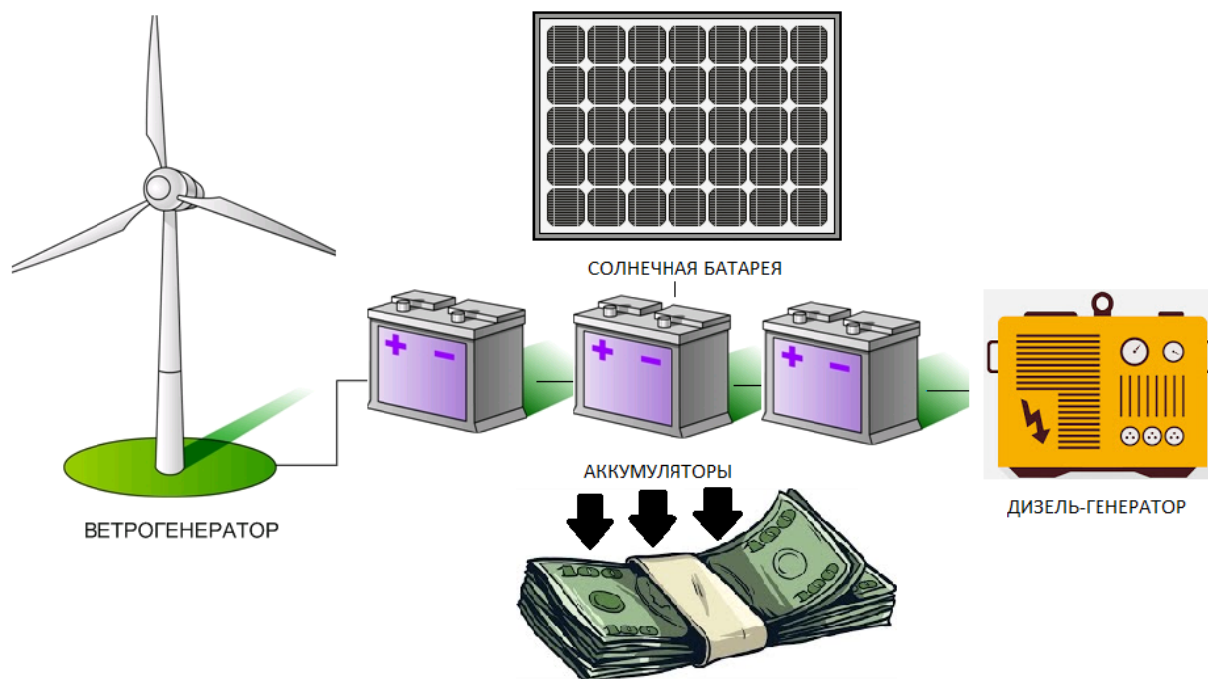


Рис. 2. Аккумуляция энергии от ВИЭ

– как правило, это нерегулируемые источники энергии, т.е. производство электроэнергии сильно зависит от интенсивности светового излучения, времени года, погодных условий, температуры окружающей среды, скорости и направления ветра и т.д., это существенно затрудняет внедрение их в существующую систему энергоснабжения и увеличивает стоимость вырабатываемой электроэнергии [2];

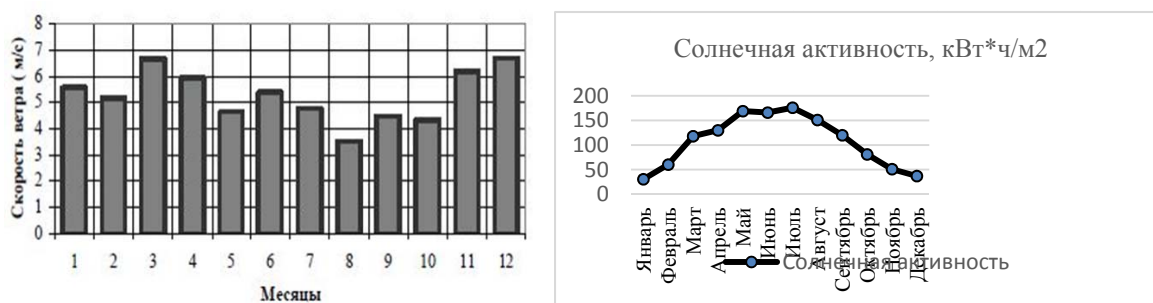


Рис. 3. Сезонное изменение скорости ветра и солнечной активности

Таким образом, можно сделать вывод, что универсального способа получения альтернативной энергии не существует. Требуется использовать несколько способов, совмещая их достоинства и недостатки. Примером такого удачного сочетания для полу-

чения небольшого количества электроэнергии может служить комплекс, состоящий из фотоэлектрических преобразователей и ветрогенератора малой мощности, работающих в связке с инвертором и аккумуляторными батареями. На сегодняшний день такой комплекс имеет высокую стоимость, однако в перспективе с увеличением стоимости невозобновляемых энергоресурсов, сможет стать альтернативой традиционным источникам энергии.

В качестве источников альтернативной энергии для снабжения электричеством энергонезависимых зданий и сооружений, самым подходящими являются ветроэнергетика, солнечная энергетика и малая гидроэнергетика, другие виды альтернативной энергетики наиболее эффективны при производстве больших количеств электроэнергии.

Библиографический список

1. **Суяков, С. А.** Проблемы интеграции ветроустановок в единую энергетическую систему России / С. А. Суяков // Инженерный вестник Дона. – 2014. № 3. – URL : <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2534>.
2. **Кобелев, А. В.** Повышение эффективности систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии : дис. канд. техн. наук : 05.09.03 / Кобелев Александр Викторович. – Тамбов, 2004. – 145 с.
3. **Кобелев, А. В.** Проектирование систем электроснабжения объектов коммунальной и производственной инфраструктуры [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.В.. Кобелев, С.В. Кочергин, Е.А. Печагин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования: ПК не ниже класса Pentium II; CD-ROM-дисковод 00,0 Mb RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана. – 100 шт. – ISBN 978-5-8265-1599-0.

В. А. Чернышов, П. С. Поляков

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕЖУРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ И СВЕТОВОЙ СТРОБОСКОПИЧЕСКОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ 10 кВ

***Орловский государственный аграрный университет
имени Н. В. Парахина***

Низкий уровень надежности и повышенный электротравматизм в настоящее время являются одной из актуальных проблем для воздушных линий электропередачи (ВЛ) напряжением 10 кВ [1]. Согласно статистике наиболее частыми видами повреждений на ВЛ 10 кВ являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) и двойные замыкания на землю (ДЗЗ), отыскание которых доставляет много трудностей персоналу оперативно-выездной бригады (ОВБ) [2].

На основании вышеизложенного, разработка простых, но вместе с тем эффективных способов и устройств, способных постоянно обеспечивать высокий уровень на-

дежности и безопасности ВЛ 10 кВ, имеет крайне важное значение, не только для распределительных электросетевых компаний, но и для предприятий АПК.

Наиболее простым и вместе с этим эффективным мероприятием в данной ситуации может являться применение на опорах ВЛ 10 кВ светотехнических приборов (см. рисунок 1), обеспечивающих возможности световой стробоскопической сигнализации ОЗЗ и дежурного освещения потенциально опасных участков ВЛ 10 кВ.

При этом ожидается, что это позволит в условиях недостаточной видимости в значительной степени повысить эффективность и безопасность процесса отыскания ОЗЗ персоналом ОВБ, а также обеспечить безопасность жизнедеятельности работников АПК. Применение дежурного освещения и стробоскопической световой сигнализации на потенциально опасных участках ВЛ 10 кВ является более выгодной альтернативой, чем применение различных указателей и индикаторов, особенно в условиях недостаточной видимости, т.к. стробоскопическое мерцание позволяет более эффективно идентифицировать ОЗЗ, а подсветка потенциально опасных участков ВЛ 10 кВ,

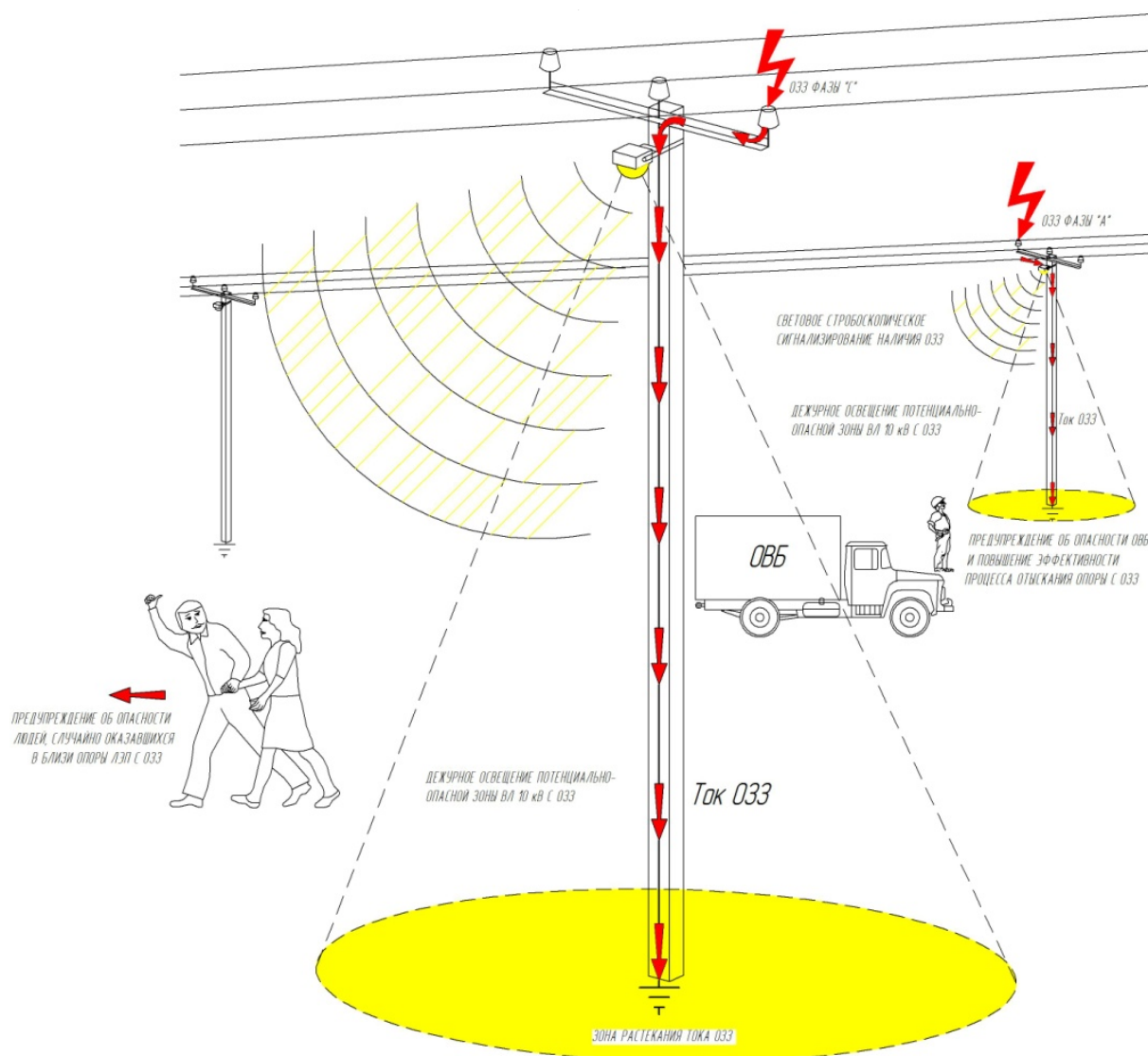


Рис. 1. Применение дежурного освещения и световой стробоскопической сигнализации на ВЛ 10 кВ

не только делает более безопасной работу персонала ОВБ, но также повышает и безопасность работников агропромышленного комплекса, выполняющих свои трудовые функции вблизи ВЛ 10 кВ (выпас и перегон скота, вспашка, посев, уборка урожая, и др.).

Таким образом, предложено и обосновано простое, но вместе с тем весьма эффективное решение проблем аварийности и травматизма на ВЛ 10 кВ, которое позволит коренным образом изменить негативное отношение обывателей и специалистов к воздушным электрическим сетям с изолированной нейтралью.

Библиографический список

1. **Глыбина, Ю. Н.** Анализ видов и количества повреждений в электрических сетях класса напряжения 6-10 кВ / Ю. Н. Глыбина, Р. П. Беликов, И. Н. Фомин // Агротехника и энергообеспечение. – 2017. – № 3(16). – С. 43 – 49.

2. **Чернышов, В. А.** Повышение электробезопасности и эффективности функционирования воздушных электрических сетей 6-10 кВ в густонаселенных сельскохозяйственных районах / В. А. Чернышов, Л. А. Чернышова // Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. – 2011. – № 3. – С. 37 – 39.

А. Н. Шпиганович, В. А. Чивиков

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ В ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Липецкий государственный технический университет

Системы электроснабжения для промышленных предприятий предназначены для обеспечения питания рабочих машин электрической энергии. В зависимости от специфики потребления электрической энергии к системам электроснабжения и их оборудованию предъявляются различные требования к надежности. В тех случаях, когда размер убытков от отказов составляет весомую часть стоимости самого электрооборудования, наиболее рациональным подходом для сокращения убытков является выполнение всестороннего структурного анализа действующей системы электроснабжения.

Для упрощения анализа предлагается рассматриваемую систему электроснабжения представлять в виде последовательного соединения отдельных уровней, при этом определяются основные параметры надежности электрооборудования. Уровень представляет отдельное оборудование системы электроснабжения. Количество уровней системы электроснабжения в зависимости от сложности может быть разным. Обычно принимают для анализа систем электроснабжения 6 уровней. Параметры надежности электрооборудования зависят от двух факторов – от базовой надежности, заложенной заводом-изготовителем электрооборудования, и условий эксплуатации. Однозначный ответ на

вопрос, какой из факторов оказывает большее влияние на безотказность электрического оборудования в процессе эксплуатации дать сложно. Заложенный заводом-изготовителем повышенный ресурс и запас прочности позволит осуществлять эксплуатацию оборудования в более жестких условиях.

Целесообразным является составление структурной схемы надежности системы электроснабжения, которая наглядным образом иллюстрирует соединение уровней системы относительно приемников электрической энергии.

Безусловно, замена электрооборудования с низкой надежностью на оборудование с более высокой надежностью, повышает безотказность всей системы в целом. Однако такой подход не всегда оправдан с экономических позиций. Не простой задачей является выбор оборудования с необходимым уровнем надежности. В то же время это оборудование должно быть относительно недорогим.

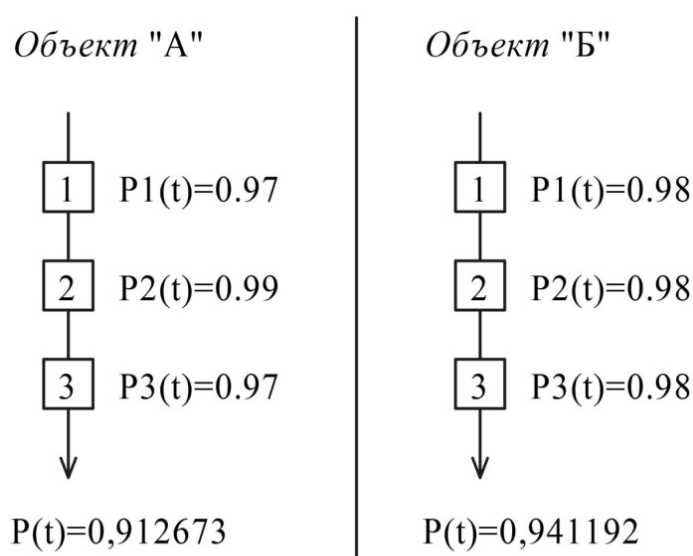


Рис. 1. К влиянию избыточной надежности отдельного уровня

На рисунке 1 приведены две структурные схемы надежности однотипных объектов. Для решения поставленных задач был выполнен анализ безотказной работы двух уровней, выполняющих одни и те же функции. Уровень «Б» обладает лучшими параметрами надежности, чем уровень «А» (рис. 1).

Для каждого уровня системы электроснабжения определяются результирующие показатели надежности. Уже это позволяет оценивать безотказность системы в целом, при подборе различных вариантов повышения надежности уровней.

В решении поставленных задач целесообразно использовать теорию случайных импульсных потоков. Именно эта теория позволяет решать задачи при воздействии на работу систем негативных возмущающих факторов, применение резервирования и осуществление ремонтно-профилактических осмотров.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и управления образования и науки Липецкой области в рамках научного проекта 17-48-480083 р_а «Оптимизация динамики и энергосбережение в электротехнических комплексах территориально-промышленных кластеров Липецкой области».

Библиографический список

1. **Шпиганович А.Н.** Случайные потоки в решении вероятностных задач электро-снабжения: учебное пособие / А. Н. Шпиганович, А. А. Шпиганович, В. И. Зацепина. – Липецк : Изд-во Липецкий государственный технический университет, 2016. – 162 с.

А. В. Шустиков, Е. А. Печагин

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПЛОСКИХ ПРОВОДНИКОВ

Тамбовский государственный технический университет

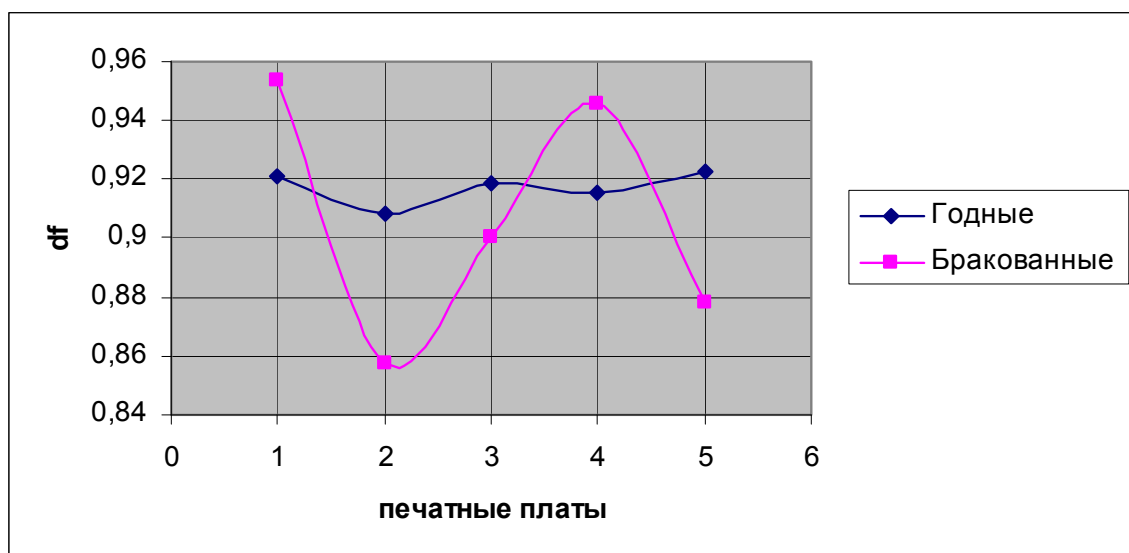
В процессе принятия решений при оценке качества продукции широко используются экспертные методы. В ряде случаев экспертные суждения могут быть сделаны с использованием расчетных или инструментальных методов [1 – 3].

Автоматизация экспертной оценки на базе ЭВМ и других технических решений обеспечивает использование таких методов исследования, которые до последнего времени не находили применения из-за большой трудоемкости в условиях ручной обработки информации. Особенностью предлагаемой работы является качественный скачок и возможность автоматизации самой процедуры экспертизы путем замены традиционных методов обработки новыми методами и приемами математической статистики. Это обстоятельство характеризуется перенесением «центра тяжести» при организации и получении экспертных оценок на вычислительные процедуры ЭВМ и сводится к замене экспертной группы машинной моделью [4]. Экспертная оценка строится на основе предпосылки о статистическом характере информации и ряда других логических предпосылок.

Опыты по получению муаровых картин магнитных полей рассеяния плоских проводников проводились на электронографе. Для исследования использовались плоские проводники, в частности, печатные платы с металлизированным отверстием [5]. Контроль всех плоских проводников осуществлялся при расположении их в колонне электронографа таким образом, чтобы пучок электронов реагировал на нормальную составляющую магнитного поля рассеяния металлизированного отверстия.

С помощью измерительно-вычислительной системы контроля качества плоских проводников, позволяющей определить фрактальную размерность муарового изображения, были исследованы годные и бракованные печатные платы. По этим данным построена гистограмма частот распределения отдельно для годных и бракованных изделий (рис. 1).

В результате выявлена регулируемая мера оценки качества печатных плат в виде фрактальной размерности муарового изображения и предложена инженерная методика



**Рис. 1. Распределение плотности вероятностей
фрактальных размерностей
муарового изображения: годных и бракованных изделий**

определения бракованных изделий по информативной характеристике поля, фрактальной размерности муарового изображения.

Установлено, что предложенный метод является решением задачи контроля качества изделий, т.к. экспериментально подтвержденная точность измерения удовлетворяет поставленным требованиям контроля.

Библиографический список

1. **Контроль качества** металлической разводки плат методом электронно-оптического муара / В. П. Иванов, Ю. В. Серкутан, А. В. Тимошин, Е. А. Печагин // Прогрессивная технология и вопросы экологии в гальванотехнике и производстве печатных плат : сб. тез. докл. Международ. конф. – Пенза, 1998. – С. 49.
2. **Измерение** магнитных полей рассеяния с помощью электронно-оптического муара / Е. А. Печагин, В. Ф. Калинин, В. М. Иванов, В. П. Иванов // Труды ТГТУ. – Тамбов, 1998. – Вып. 2. – С. 206 – 211.
3. **Siakkou, M.** Physik Der Informationspeicher / M. Siakkou; Academi-Verlag Berlin. – Berlin, 1972. – 217 s.
4. **Архангельский, А. Я.** Программирование в Delphi 5.0 / А. Я. Архангельский. – М. : ЗАО «Изд-во Бином», 2000. – 1072 с.
5. **Измерение** стационарного электрического поля методом электронно-оптического муара / В. П. Иванов, В. М. Иванов, Е. А. Печагин, Ю. В. Серкутан, А. В. Тимошин // Вестник ТГТУ. – 1999. – Т. 2. – Вып. 2. – С. 271 – 276.

АКТУАЛЬНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДАЧИ НАПРЯЖЕНИЯ С НИЗКОЙ СТОРОНЫ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

ФГБОУ ВО Орловский ГАУ

Анализ режимов работы электрических сетей показывает, что возможны ситуации, когда напряжение может быть отключено со стороны 10 кВ ТП 10/0,4 кВ. Причиной отключения могут быть повреждения ЛЭП 10 кВ, подстанции (ПС) 35 (110)/10 кВ, связанные климатическими условиями (гололед, ветер), перенапряжениями, обрывами провода и т.п. [3, 4, 5, 6]. Это могут быть и плановые отключения для обслуживания сетей 10...110 кВ. В настоящее время, в связи с недостаточно высокой надежностью распределительных электрических сетей, постоянно возрастает количество генераторов небольшой мощности, устанавливаемых в индивидуальных хозяйствах. Они используются потребителями во время перерывов в централизованном электроснабжении для питания части электроприемников. При этом далеко не всегда подключение данных генераторов осуществляется в соответствии с требованиями изолированной работы сети потребителя при использовании генератора, приведенных в нормативных документах [1]. Это приводит к появлению опасности подачи в сеть 0,4 кВ напряжения от указанных выше источников малой генерации. Это напряжение может быть трансформировано в напряжение 10 кВ на ТП 10/0,4 кВ, что приводит к значительному повышению опасности при эксплуатации сетей как 0,4 кВ, так и 10 кВ. Имеются случаи поражения людей в подобных ситуациях. Так, в декабре 2017 года произошел несчастный случай со смертельным исходом в филиале ПАО «МРСК Центра» – «Ярэнерго». Причиной гибели сотрудника компании стала внезапная подача напряжения неустановленным лицом от неустановленного источника генерации, подключенного в сеть 0,23 кВ [2]. Поэтому разработка оборудования для осуществления сигнализации и блокировки (недопущения обратной трансформации на ТП 10/0,4 кВ) в случае подачи напряжения с низкой стороны ТП, в том числе от источников, подключенных к линиям электропередачи (ЛЭП) 0,23, 0,4 кВ является актуальной задачей. Данное оборудование должно определять, с применением логических устройств, сторону, с которой подано напряжение или определять изменение направления потока мощности и на основании того, откуда подано напряжение или в какую сторону направлен поток мощности определять факты подачи напряжения в ЛЭП со стороны 0,4 кВ.

Библиографический список

1. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2004 г. № 861 «Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг...».
2. **Анализ** несчастных случаев на энергоустановках, подконтрольных органам Ростехнадзора, за 2017 год. Электронный ресурс. Заголовок с экрана. – URL : <http://dvost.gosnadzor.ru/info/accident/2017/Анализ%20несчастных%20случаев%20на%20энергоустановках.pdf> (дата обращения: 10.10.2018).

3. **Виноградов, А. В.** Анализ повреждаемости электрооборудования электрических сетей и обоснование мероприятий по повышению надежности электроснабжения потребителей / А. В. Виноградов, Р. А. Перьков // ВЕСТНИК НГИЭИ. – 2015. – № 12(55). – С. 12 – 20.

4. **Семенов, А. Е.** Сравнение показателей надежности воздушных и кабельных линий в городской и сельской местности. / А. Е. Семенов, А. О. Селезнева, А. В. Виноградов // Основные направления развития техники и технологии в АПК : материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. – Княгинино : НГИЭУ, 2015. – С. 71 – 75.

Ю. В. Яковлев, А. О. Захаров, Ж. А. Зарандия

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ И ИХ АВТОНОМНОСТЬ

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время автомобили являются одним из самых популярных и комфортных средств передвижения. Несмотря на все их преимущества, они обладают рядом недостатков, основным из которых является загрязнение окружающей среды. Поэтому в развитых странах возрос интерес к более экологически чистым и менее расточительным автомобилям, работающим на электроэнергии.

К достоинствам электромобилей можно отнести:

- снижение загрязнения окружающей среды. Работающий двигатель электромобиля не выделяет вредных газов в окружающую среду;
- снижение расходов на топливо;
- снижение шума. Электромобили способны обеспечивать тихий и плавный разгон, с более быстрым ускорением;
- надежность. Из-за меньшего количества деталей и узлов повышается надежность электромобиля и, как следствие, уменьшаются затраты на ремонт и обслуживание;
- безопасность.

Новые модели автомобилей с электротягой способны конкурировать по мощности с авто с двигателем внутреннего сгорания. Основными элементами их электрооснащения являются: электрический двигатель, контролер, аккумуляторные батареи. Однако, большим недостатком этих электромобилей является то, что они движутся только лишь за счет заряда аккумуляторных батарей, они не автономны и при зарядке создают большую нагрузку на сеть.

Россия испытывает некоторые сложности по внедрению электромобилей: малое количество заправок, климат, в зимний период холод будет негативно влиять на аккумуляторы, снижая пробег на одной зарядке в 2–3 раза.

На примере конструктивных параметров электромобиля Tesla возможно найти ряд решений этих проблем.

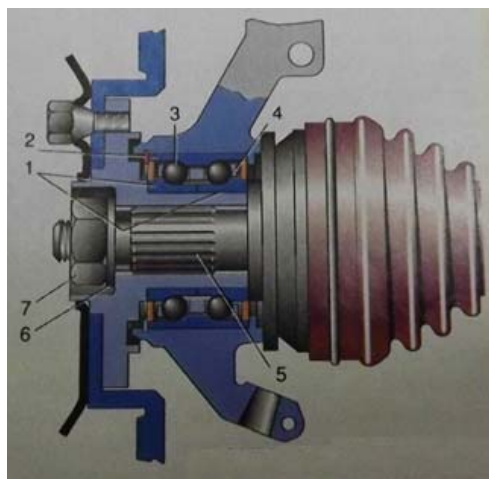


Рис. 1. Модификация конструкции ШРУСа

Как видно из рис. 1, частично изменив конструкцию ШРУСа (шарнира равных угловых скоростей) можно повысить автономность электромобиля. Для чего необходимо встроить в данный узел электропривод – генератор. При движении электромобиля будет идти заряд, и это позволит заряжать аккумуляторы.

Библиографический список

1. **Кобелев, А. В.** Преимущества цифровых устройств возбуждения синхронных двигателей / А. В. Кобелев, А. П. Трушин, М. А. Филатов // Энергосбережение и энергоэффективность в технических системах : материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбов, 10 – 12 июля 2017 г. / Министерство образования и Российской Федерации; Российский фонд фундаментальных исследований; ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»; Т. И. Чернышова, отв. ред.. – Тамбов : Изд-во Першина Р.В., 2017. – С. 349 – 350.
2. **Кочергин, С. В.** Влияние характера нагрузки на качество электрической энергии / С. В. Кочергин, А. Н. Кагдин, В. Ф. Калинин // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : материалы Междунар. конф. с элементами научн. школы // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. Специальный выпуск. – 2014. – № 52. – С. 71 – 74.

Научное электронное издание

ЭНЕРГЕТИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Материалы IV Всероссийской молодежной научной конференции

Ответственный редактор Т. И. Чернышова

Редактирование Е. С. Мордасовой

Верстка оригинал-макета И. В. Евсеевой

ISBN 978-5-8265-2004-8



Подписано к использованию 29.01.2019.

Тираж 100 шт. Заказ № 2

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.

Телефон (4752) 63-81-08, 63-81-33.

E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru

