АЛЬТЕРНАТИВНАЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

МАТЕРИАЛЫ
II Международной научно-практической конференции
(г. Воронеж, 16-18 сентября 2020 г.)

Воронеж 2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

МАТЕРИАЛЫ
II Международной научно-практической конференции
(г. Воронеж, 16-18 сентября 2020 г.)

Воронеж 2020

УДК 621.398(06)
ББК 31.232.3я4
А585

Альтернативная и интеллектуальная энергетика: материалы II Международной научно-практической конференции (г. Воронеж, 16-18 сентября 2020 г.)
А585 [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые и граф. данные (9,0 Мб). – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM): цв. – Систем. требования: ПК 500 и выше; 256 Мб ОЗУ; Windows XP; SVGA с разрешением 1024×768; Adobe Acrobat; CD-ROM дисковод; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-7731-0862-7

В сборнике представлены материалы II Международной научно-практической конференции «Альтернативная и интеллектуальная энергетика» в области водородной энергетики, солнечной энергетики, термоэлектрической энергетики, ветроэнергетики, атомной энергетики, экологии, функциональных материалов для альтернативной энергетики, энергосберегающих технологий и материалов, интеллектуальной энергетики, новых образовательных программ по энергоэффективности и альтернативной энергетике.

Материалы сборника соответствуют научному направлению «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии, электротехнические комплексы и системы управления» и перечню критических технологий Российской Федерации, утверждённому Президентом Российской Федерации.

Сборник предназначен для специалистов предприятий, работников вузов, студентов и аспирантов, обучающихся в вузах технического профиля.

УДК 621.398(06)
ББК 31.232.3я4

Редакционная коллегия:

Коновалов Д. А. – д-р техн. наук, проф. – ответственный редактор;
Сергеев А. В. – канд. техн.наук, доц. – зам. ответственного редактора;
Иевлева Е. В. – ответственный секретарь;
Калинин Ю. Е. – д-р физ.-мат. наук, проф.;
Мозговой Н. В. – д-р техн. наук, проф.;
Ряжских В. И. – д-р техн. наук, проф.;
Батаронов И. Л. – д-р физ.-мат. наук, проф.;
Коротких Д. Н. – д-р техн. наук;
Бурковский А. В. – канд. техн. наук, доц.;
Кожухов Н. Н. – канд. техн. наук, доц.;
Данилов А. Д. – д-р техн. наук, проф.;
Подвальный С. Л. – д-р техн. наук, проф.;
Попов И. И. – канд. техн. наук, доц.

Издается по решению научно-технического совета
Воронежского государственного технического университета

ISBN 978-5-7731-0862-7

© ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

STUDY THE EFFECT OF ELECTRICAL CONNECTION BETWEEN COUNTRIES ON FREQUENCY STABILITY BEHAVIOR IN SYRIA
I.M. Valeev, A.M. Alzakkar …….12
«SENTAURUSTCAD» МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХСВОЙСТВ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
Р.Алиев, М.К.Абдувохидов, Ж.Ж.Гуломов……14
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОЧИСТКИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ
Ю.Н.Зацаринная, Д.И. Амиров……16
АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ НА БАЗЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ
И.Е. Сычев, А.М. Литвиненко……18
АЛЬТЕРНАТИВА УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ В ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ
В.А. Стерлигов, Е.М. Крамченков, Т.Г. Мануковская, В.Я. Губарев, М.В. Шкатова……20
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ
М.С. Иваницкий, М.М. Султанов, Е.В. Курьянова, А.А. Константинов……22
АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН
М.М. Султанов, Е.М. Скопова, В.С. Луненко, Ю.М. Чубко……24
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДГОТОВКИ УГЛЯ
М.О. Григорьева, Ю.Н. Зацаринная……26
АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ УЗЛА РЕГУЛЯТОРА ТОКА СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ
Р.Ю. Кузьменко , А.Д. Данилов ……28
АСИНХРОННЫЙ ЧАСТОТНО-ТОКОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
В.И. Черноусов, В.А. Трубецкой, А.К. Муконин, Т.А. Сазонова, Д.А. Тонн ……30
БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ
Д.О. Рыбалко, В.Б. Фурсов, Ю.В. Писаревский, Ж.А. Ген, П.Н. Татарников……32
ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВАЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА
П.Ю. Беляков, Ю.В. Писаревский, А.В. Тикунов, А.Ю. Писаревский Т.Е. Черных……34
ВИРТУАЛЬНЫЙ ТРЕНАЖЕР ВОДОГРЕЙНОЙ КОТЕЛЬНОЙ
Е.В. Кочарян, В.В. Шапошников, А.С. Мачарашвили……36
ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ВРЕМЕНИ ВЫДЕРЖКИ ПРИ ГОРЯЧЕМ ПРЕССОВАНИИ НА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕЛЛУРИДА СВИНЦА, ЛЕГИРОВАННОГО ЙОДОМ
В.В. Бавыкин, Ю.Е. Калинин, А.В. Михайлов……38
ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОМ И КОБАЛЬТОМ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА
А.*К. Федотов, Е.Н. Подденежный, Л.А. Близнюк, В.В. Федотова, А.В. Пашкевич*……40
ВЛИЯНИЕ НЕРАСТВОРИМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЕСОРБЦИИ ДЕЙТЕРИЯ ИЗ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ МАГНИЯ
А.Н. Морозов, А.В.Звягинцева……42
ВЛИЯНИЕ СВЕТА НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК СМЕШАННЫХ ОКСИДОВ ЦИНКА И ОЛОВА
В.В. Петров, Е.М. Баян, Ю.Н. Варзарев, М.Г. Волков, В.Ю. Стороженко, А.А. Рожко, А.В. Нестеренко……44

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ СЕПАРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРОЦЕСС ДЕЭМУЛЬСАЦИИ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ В ТРУБЕ
В.Э. Зинуров, А.В. Дмитриев, И.Н. Мадышев……46
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
Н.И. Чухин, А.И. Счастливцев……48
ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В СМАРТ-ГОРОДАХ
И.Н. Мальцева, К.А. Ткачук……49
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ТИТАНАТА СТРОНЦИЯ
Е.В. Иевлева, Л.Н. Коротков, Н.А. Толстых, А.И. Бочаров……51
ДОВОДКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН КОМБИНИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ
Д. Е. Крохин, Е. В. Смоленцев, А. Ю. Дейнега……53
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КОНДЕНСАТОРНЫХ СТРУКТУР
С.А. Акулинин……55
ИНТЕГРАЦИЯ ГЕЛИОУСТАНОВОК В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ
Д.М. Чудинов, А.И. Колосов, Т.В. Щукина, А.П. Зверков……57
ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СЕТЕЙ И ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ
В.В. Сафронов, В.Ф. Барабанов, А.М. Нужный, Н.И. Гребенникова……59
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ КАНАЛОВ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ
С.Л. Подвальный, М.А. Лихотин ……61
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПРОГРАММНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОКЛАВНОЙ УСТАНОВКОЙ
Ю.В. Нефедов, А.В. Романов, В.М. Питолин, Д.А. Тонн……63
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА В НИХ
М.О. Григорьева, Ю.Н.Зацаринная……66
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В ХАОТИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ
С.Л. Подвальный, Е.М. Васильев……68
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАРТ КОХОНЕНА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ
В.Н. Мелькумов, С.Н. Кузнецов, Г.А. Кузнецова……70
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МАТРИЦЫ МЕТАЛЛГИДРИДНОГО НАКОПИТЕЛЯ ВОДОРОДА
Ю.Н. Шалимов, В.И. Кудряш, Д.Л. Шалимов……72
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ МОДУЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРНОЙ ПОДСВЕТКИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ
А.А. Воловиков, В.Л. Русинов……74
ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ С ВЕТРОЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОМ
А. М. Литвиненко, Г. В. Кудрявцев……76
ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПЛЁНОК ОКСИДА КОБАЛЬТА
В.В. Бесполудин, В.В. Поляков, В.В. Петров, А.В. Нестеренко, З.Е. Вакулов……78
ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБМОТОК БЕСКОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАНИПУЛЯТОРА В РАМКАХ ОБЩЕЙ КОНЦЕПЦИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
А.А. Агапов, В.В. Бабенко, В.М. Питолин, Ж.А. Ген, А.В. Романов……80

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАМАТЕРИАЛА С УПРАВЛЯЕМОЙ СТРУКТУРОЙ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОТРАЖАТЕЛЬНОГО ФАЗОВРАЩАТЕЛЯ
Ю.Г. Пастернак, С.М. Федоров, Е.А. Ищенко……82
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОГИДИРИДНОГО КОМПАКТА
НА ОСНОВЕ ИМС LANI4.4AL0.3FE0.3
И.А. Романов, В.И. Борзенко……84
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ
НА НАЧАЛЬНОМ УЧАСТКЕ КРУГЛОЙ ТРУБЫ
В.А. Стерлигов, Е.М. Крамченков, Т.Г. Мануковская, А.Г. Ярцев……86
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ПРИ ВНЕДРЕНИИ МАЛЫХ ГЭС
О.И. Желяскова, А.А. Смирнов, М.М. Султанов……88
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОТЕПЛОПРОВОДНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ВОДОРОДА
К.Б. Минко, М.Д. Нащекин, М.В. Минко……90
ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ И АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ
Ю.В Писаревский, В.Б. Фурсов, А.Ю. Писаревский, А.В. Тикунов П.Н.Татарников……92
МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЫСТРОЗАКАЛЕННЫХ ЛЕНТ
СОСТАВА $Fe_{67}Co_{10}Cr_3Si_5B_{15}$, ПРОШЕДШИХ ОБРАБОТКУ
В ХИМИЧЕСКИ АКТИВНОЙ СРЕДЕ
Н.А. Лю-ю, Е.А. Голыгин, Н.В. Морозова, А.А. Гаврилюк……94
МАГНИТОТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ ТВЕРДЫХ
РАСТВОРОВ Bi-Sb С ДОБАВКОЙ Gd
О.И. Марков……96
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФУЗИИ ВОДОРОДА В МЕТАЛЛАХ
С ПРИМЕСНЫМИ ЛОВУШКАМИ
А.В. Звягинцева……98
МЕТОД ДИСТАНЦИОННОЙ ФИКСАЦИИ УТЕЧЕК В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
С.А. Сазонова, С.Н. Кораблин, В.Ф. Асминин, А.В. Звягинцева……100
МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗОВАНИЯ
ГИДРИДНЫХ СТРУКТУР МЕТАЛЛОВ
Н. В. Брысенкова, Ю.Н. Шалимов, И. Л. Батаронов ……102
МЕТОД ПОЛИЛИНЕЙНЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ В РАЗРЕШЕНИИ НЕЛИНЕЙНЫХ
ЭРИДИТАРНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ
А.П. Бырдин, А.А. Сидоренко, О.А. Соколова, В.П. Шелякин……104
МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ГИБРИДНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ
РЕГИОНАЛЬНО ОБОСОБЛЕННОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
В.З. Ковалев, О.В. Архипова, А.В. Черкасова, А.О. Парамзин, Е.Д. Егорова……106
МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СЕТЕЙ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ СЕТЯМИ
ПОСТОЯННОГО ТОКА
Л.Н. Титова, В.А. Сергеев……108
МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ ПРОВОДОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ
Р.А. Фокин, В.Г. Кульков……110
МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ НЕВОДНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ
СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ В РАСШИРЕННОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР
С.В. Стаханова, И.С. Кречетов, Н.В. Свириденкова, К.Г. Статник, Р.Р. Галимзянов,
М.В. Астахов ……112
МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ
Н.В. Сердюкова, Т.Э. Шульга……114

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СМЕШЕНИЯ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ
А.А. Сатаев, В.В. Андреев, А.В. Дунцев 116
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВЫБОР ПАРМЕТРОВ СХЕМЫ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНОЙ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРА
Д.П. Шматов, К.В. Кружаев, А.А. Афанасьев, Т.А. Башарина, Т.С. Тимошинова, И.Г. Дроздов……118
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА ЧЕРЕЗ СЛОЙ НАНОНИТЕЙ КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТАЛЛСТИМУЛИРУЮЩИМ ХИМИЧЕСКИМ ТРАВЛЕНИЕМ
И.А. Шишкин, Д.А. Лизункова……120
МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО КОМПЕНСАТОРА В РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В РЕЖИМЕ РАБОТЫ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ
А.В. Макаров, Т.В. Макарова…… 122
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА И РАПСОВОГО МАСЛА В РАСПЫЛИТЕЛЕ ФОРСУНКИ
Са Бовэнь, В.А. Марков, В.Г. Камалтдинов, В.А. Неверов……..124
МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВИВШИХСЯ И ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВАСИЛЕОСТРОВСКОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УЗЛА
Ю. Н. Кондрашова, А.Ю. Турищев, А. М. Маркина……126
МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ SCAPS
А.А. Рожко, В.В. Петров, А.В. Саенко……..129
МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕМЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
Е.Г. Гашо, А.И. Киселева……..131
МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КИНЕТИКИ ТЕРМОДЕСОРБЦИИ ЦЕОЛИТОВЫХ АДСОРБЕНТОВ В ИНЕРТНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ КОЛОННЫХ АППАРАТОВ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК
А.С. Викулин, О.Н. Филимонова……..133
МНОГОАГРЕГАТНАЯ МОДУЛЬНАЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ ДЛЯ РАЙОНОВ С НИЗКИМ ВЕТРОВЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ
С.С. Доржиев, Е.Г. Базарова, М.И. Розенблюм……135
МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЗОМОРФИЗМА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИСАДКАМИ КАРБОКСИЛАТАМИ МЕДИ (II)
А.Т. Пономаренко, В.Г. Шевченко, Л.В. Ельникова……..137
МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА С РЕГУЛЯРНЫМ РЕЛЬЕФОМ ПОВЕРХНОСТИ СТРУКТУРЫ В САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ
А.В. Арсентьев, Е.Ю. Плотникова, М.Э. Харченко……..139
НАКОПИТЕЛИ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
А.В. Звягинцева , А.С. Самофалова, С.А. Сазонова……141
НОВЫЕ ПУТИ РАСШИРЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
А.А. Мирзаалимов, Р.У. Алиев, Ж.Ж. Гуломов.....143
ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 110 КВ И ВЫШЕ
В.Н. Курьянов, Е.В. Курьянова, Е.М. Скопова, Ю.В. Фирсов……...145
О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ ЯДЕРНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ГИБРИДНОГО ТИПА
Т. А. Башарина, М.Г. Гончаров, В. С. Носова, Д.П. Шматов……..147

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА УСТАНОВКИ ОБРАТНОГО ОСМОСА
М.В. Одоевцева, Д.А. Спиридонов……149
ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕГАПОЛИСОВ
Н.Ш. Чемборисова, М.Ю. Погорелец ……151
О ПРИМЕНЕНИИ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
Е.А. Бузоверов, А.З. Жук……153
ОТОПИТЕЛЬНАЯ КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ТВЕРДОТОПЛИВНАЯ ПЕЧЬ С ИНТЕНСИФИЦИРОВАННЫМ ТЕПЛООБМЕНОМ
Ю.Я. Печенегов, Р.И. Кузьмина, А.Н. Макагон ……..155
ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ И ПОТОКА ПРЯМОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ПАДАЮЩЕГО НА ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ПОМЕЩЕНИЯ
С.А. Яременко, Р.А. Шепс, А.А. Мерщиев, Д.В. Лобанов……157
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
Г.Н. Мартыненко, Н.А. Петрикеева, С.А. Горских, А.А. Горских……159
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА
В.О. Беляков, В.А. Медведев, А.К. Муконин, Д.А. Тонн, В.А. Трубецкой……161
ПРОБЛЕМЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ
Р. Алиев……163
ПРИМЕНЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
Э.А. Ахметов, Р.В. Ахметова, М.О. Григорьева……165
ПЕРЕХОД ФЕРРОМАГНЕТИК-АНТИФЕРРОМАГНЕТИК В ПЕРОВСКИТАХ ТИПА La_2MnNiO_6
Н.В. Терешко, М.В. Бушинский, О.С. Мантыцкая, Р.А. Лановский, Х.М. Виейра……167
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ И ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
Калинин Ю.Е……169
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИСПЫТАНИЙ ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ
В.И. Максименков, М.В. Молод, В.И. Федосеев……171
ПОВЫШЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДОБРОТНОСТИ МАТЕРИАЛА $Bi_2Te_{2.4}Se_{0.6}$ ПУТЕМ ТЕРМООБРАБОТКИ В ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ
В.А. Юрьев, О.А. Дежина, О.В. Жилова ……173
ПОДГОТОВКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 6 – 20 КВ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА НИЗКООМНЫЙ РЕЖИМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ
К.В. Колесникова, С.А. Косарев, Н.Н. Смотров……175
ПРЕДИКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕЖРЕМОНТНЫМ ПЕРИОДОМ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ
В.З. Ковалев, О.В. Архипова, А.В. Черкасова, А.О. Парамзин, Е.Д. Егорова……177
ПРИМЕНЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩЕГО ШАРОВОГО КРАНА ДЛЯ РЕГУЛИРОВНИЯ РАСХОДА ГАЗА НА КОТЛОАГРЕГАТЫ ТЭС
И.А. Болдырев, Н.В. Харитонов, П.Д. Меньшиков, А.А. Беокаш……179
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЭП ГЕНЕРИРУЮЩИХ СИСТЕМ
Э.К. Аракелян, И.А. Болдырев, К.В. Евсеев, Ю.А. Горбань……181

ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВКИ «КУПОЛ-СЕПАРАТОР» ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРОРЫВА УГЛЕВОДОРОДОВ В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКИХ ВОДОЁМОВ
А.С. Чиглинцева, И.А. Чиглинцев, А.А. Насыров……183
ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСАМИ ВИЭ
А.А. Смирнов, В.С. Луненко, И.А. Болдырев……185
ПРОБЛЕМЫ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РЕШЕНИЯ
Кудряш В.И., Шалимов Ю.Н., Корольков В.И……187
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ТРАНСФОРМАТОРА
А.А. Тихомиров, К.А. Яковлев……189
РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА БАЗЕ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ С ПРИВОДОМ ОТ АКТИВНО-РЕАКТИВНОЙ ТУРБИНЫ
Д.А. Базыкин, А.В. Бараков……191
РАЗРАБОТКА И ВЕРИФИКАЦИЯ СКВОЗНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРНЫХ МОДУЛЕЙ
Д.П. Шматов, К.В. Кружаев, А.А. Афанасьев, Т.А. Башарина, И.Г. Дроздов……193
РАЗРАБОТКА И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕПЛООБМЕННИКОВ С ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ «ВОЛНА»
В.В. Белая, А. А. Цынаева……195
РАЗРАБОТКА ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН
Е.Г. Гашо, А.В. Говорин, А.И. Киселев……197
РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОГО АККУМУЛЯТОРА
А.В. Хименко, О.С. Пранцуз……199
РАСЧЕТНЫЙ ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ТЕМПЕРАТУР АГРЕГАТОВ АВТОНОМНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ
Д.А. Мельник, В.В. Скорлыгин, А.С. Григорьев, О.Г. Лосев……201
РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
В.О. Беляков, В.А. Медведев, А.К. Муконин, Д.А. Тонн, В.А. Трубецкой……203
РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ РЕАКТИВНОЙ НИЗКОНАПОРНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ТУРБИНЫ
О.О. Бозаров, Р. Алиев ……205
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ЗАХОЛАЖИВАНИЯ ДЛИННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖИДКОГО ВОДОРОДА
О.В. Калядин, А.В.Сергеев……208
РАЗРАБОТКА АДАПТАЦИОННОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕМ ПОТРЕБИТЕЛЯ
Ю.А. Клименко, А.П. Преображенский……210
РАЗРАБОТКА ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
О.Г. Лосев, Д.А. Мельник, А.С. Григорьев……212
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГАРАНТИРОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЁННОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ПАРОВОЙ ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ
Ю.А. Клименко, А.П. Преображенский……214
РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АППАРАТУРЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА
И. И. Таболин, А.Д. Данилов……216

РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ *VR*-ТЕХНОЛОГИЙ
А.В. Стрижиченко, Е.Г. Зенина, Д.С. Кочергин, В.В. Ефимов……218
РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УЗЛА Г.САНКТ-ПЕТЕРБУРГА
Ю. Н. Кондрашова, А.Ю. Турищев, А. М. Маркина……220
РЕНТГЕНОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ ТВЕРДЕНИЯ В ПРИСУТСТВИИ ТЕХНОГЕННОГО КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ
Ю.В. Погорелова, К.Г. Попова, М.А. Агафонова, Д.Н. Коротких……222
САМОВОЗГОРАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ КАК ОДНА ИЗ ПРИЧИН ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ
А.М. Зайцев, О.Б. Кукина, А.В. Звягинцева, Е.В. Хорохорин……224
СИНТЕЗ ПЛЕНОК Cu_2SnS_3 ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ФОТАКТИВНОГО СЛОЯ В УСТРОЙСТВАХ ФОТОЭЛЕКТРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
А.В. Буданов, Ю.Н. Власов, Г.И. Котов, Е.В. Руднев……226
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ
В.В. Приходько, А.М. Литвиненко……228
СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫБОРА БЛИЖАЙШЕГО ВЕКТОРА И ВЕКТОРНОЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ В УПРАВЛЕНИИ ТРЕХФАЗНЫМ МНОГОУРОВНЕВЫМ ИНВЕРТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ
Н.Н. Лопаткин……229
СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ В АВИАЦИИ
А.П. Воронин, В.В. Рыжков, В.В. Самохвалов……231
СОЛЬВОТЕРМАЛЬНО-МИКРОВОЛНОВЫЙ СИНТЕЗ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ $Bi_2Te_{2.7}Se_{0.3}$, ЛЕГИРОВАННЫХ САМАРИЕМ
М.Н. Япрынцев, О.Н. Иванов, А.Е. Васильев, М.В. Жежу……233
СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНОЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ $(SnO_2/C)_n$
И.В. Бабкина, А.В. Ситников, С.Ю. Панков, В.А. Макагонов, О.И. Ремизова, Д.Н. Мосолов…235
СУШИЛКА ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ ТЕРМОЛАБИЛЬНЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ
А.Н. Борисов, В.И. Лукьяненко, Г.Н. Мартыненко, А.В. Исанова……237
ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ Mg/ZrO_2
А. Н. Смирнов, О. В. Стогней ……239
ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ДЕСОРБЦИИ ДЕЙТЕРИЯ ИЗ КОМПОЗИТОВ Ni–B
А.В. Звягинцева, А.Н. Морозов……241
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕПАДА ТЕМПЕРАТУР ДЕНЬ-НОЧЬ
В.А. Челухин, Е. В. Абрамсон……243
ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
С.М. Усачев, А.М. Усачев, Ю.Н. Артёменко……245
ТЕПЛООБМЕН ПРИ ПЛЁНОЧНОМ КИПЕНИИ НЕДОГРЕТЫХ СМЕСЕЙ ВОДА-ЭТАНОЛ
В.А. Рязанцев, М.М. Виноградов, А.Р. Забиров, П.К. Канин, В.В. Ягов……247
ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ ЗА ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД
Д.Н. Китаев, А.В. Черемисин, З.С. Гасанов, А.А. Михайлов……249
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРУКТУР SiGe, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ
Ю.М. Кузнецов, М.В. Дорохин, В.П. Лесников, А.В. Здоровейщев, И.В. Ерофеева, П.Б. Дёмина, М.С. Болдин, Е.А. Ланцев, А.А. Попов……251
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК

ОКСИДА ЦИНКА
С.Ю. Панков, В.А. Макагонов, М.А. Каширин, В.А. Фошин, О.В. Жилова, К.С. Габриельс…253
ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ МЕТАЛЛООКСИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ СПРЕЙ-ПИРОЛИЗА
В. Е. Полковников, С. И. Рембеза, Т. Г. Меньшикова……..255
УЛУЧШЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ВХОДНОГО ТОКА КОМПЕНСАЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
Е.В. Сидоренко, В.Л. Бурковский, А.С. Кожин……257
УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕЛЛУРИДА ВИСМУТА ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ n-$Bi_2Te_{2.4}Se_{0.6}$
А.А. Гребенников, А.И. Бочаров, В.А. Макагонов, О.В. Калядин, В.А. Юрьев, К.Г. Королев..259
УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ
И.А. Хайченко, В.В. Бабенко, В.М. Питолин, А.В. Романов, Т.Л. Сазонова ……261
УСТРОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В АЛЬТЕРНАТИВНОЙ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ
А.С.Багдасарян, Ю.В.Гуляев, С.А. Багдасарян, А.Ф. Белянин……263
ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРНО-НЕУСТОЙЧИВЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИНОМИАЛЬНОГО ПОДХОДА
В.И. Захватов, С.Л. Подвальный, А.В Михайлусов……266
ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ
С.Л. Подвальный, Е.М. Васильев……268
ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК СЛОЖНОГО ИНЖЕНЕРНОГО ОБЪЕКТА – БАЗОВЫЙ КОНЦЕПТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ
М.Г. Жабицкий, В.Е. Мельников, О.В. Бойко ……270
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАДИЕНТА ДАВЛЕНИЯ НА ТЕПЛООБМЕН В КАНАЛЕ КАЛОРИФЕРА КМС
Н.П. Петрова, А.А. Цынаева……272
ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ УФ ДИАПАЗОНА НА СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ АЛМАЗ – AlN
А.С. Багдасарян, С.А. Багдасарян, А.Ф. Белянин, Е.Р. Павлюкова……275
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ В СИСТЕМУ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ
И.А. Павленко, А.Н. Бабаевский……277
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ДО НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДА
А.А. Яблоков, Г.А. Филатова, А.Е. Петров, М.Р. Батманов……279
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ СИЛОВОГО ИНВЕРТОРА С БЕСКОНТАКТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА В УСЛОВИЯХ УВЕЛИЧЕНИЯ ДЛИНЫ КАБЕЛЯ ПРИ ПИТАНИИ ОТ ИСТОЧНИКА ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТИ
Т.В. Попова, О.А. Киселёва, С.А. Винокуров, Н.И. Рубцов, А.М. Щербаков ……281
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА AB5 ТИПА $LA_{0,8}CE_{0,2}NI_4CO_{0,5}MN_{0,3}AL_{0,2}$ ДЛЯ УНИФИЦИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
А.Н. Казаков, В.Ю. Бодиков, Д.В. Блинов……283
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ AZ31 И ZK60 В РЕАКЦИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА
А.*Л. Габов, Н.А. Медведева, Н.Е. Скрябина, И.Д. Саранова*……285
ЭНЕРГЕТИКА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ
Руссу А.В., Шалимов Ю.Н., Некравцев Е.Н……287

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА
А.В. Помигуев, Ю.Н. Шалимов, А.В. Руссу……..289
ЭНЕРГИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА КАК ФАКТОР
ГРАДИЕНТА ПЛОТНОСТИ ТОКА МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДАМИ
Корольков В.И., Шалимов Ю.Н., Самохвалов В.В……291
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ВЫСУШИВАНИЕ ОСАДОЧНОГО ИЛА СТОЧНЫХ ВОД
Ю.Я. Печенегов, А.В. Царюнов, Ю.А. Грачева……293
ЭЛЕКТРОПРИВОД НАМОТОЧНОГО СТАНКА С СИСТЕМОЙ ПОДЧИНЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ
А.М. Литвиненко, Д.С. Баранов, А.Е. Новиков……..295
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ БЕСКОНТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ИСТОЧНИКОМ ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТИ
С.А. Винокуров, О.А. Киселёва, А.Ю.Тимошкин , Т.В. Попова, А.М.Щербаков……..297
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С БЕСКОНТАКТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА
О.А. Киселёва, С.А. Винокуров, Т.В. Попова, А.Ю. Тимошкин, В.В. Бабенко……299
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ КЛИМАТИЗАЦИИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ БЫСТРОТРАНСФОРМИРУЮЩИХСЯ ЗДАНИЙ
В.В. Шичкин, М.Н. Жерлыкина, С.А. Яременко……301
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ АВТОНОМНОМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ОТОПЛЕНИИ
С.В. Дахин, В.В. Портнов, Н.Н. Кожухов, А.В. Муравьёв……..304
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ВЫСУШИВАНИЕ ОСАДОЧНОГО ИЛА СТОЧНЫХ ВОД
Ю.Я. Печенегов, А.В. Царюнов, Ю.А. Грачева……306
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДАРУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ
С БЕСКОНТАКТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИПИТАНИИ
ОТ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ
В.В. Бабенко[1], И.А. Хайченко, В.М. Питолин,Д.А. Тонн, Н.И. Рубцов……..308
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СХЕМЫ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ПАРОСИЛОВОГО И ПАРОГАЗОВОГО ЭНЕРГОБЛОКОВ НА ПРИМЕРЕ НЕВИННОМЫССКОЙ ГРЭС
В.В. Шапошников, Д.Н. Батько, Я.О. Михалко……310
АНАЛИЗ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ *СИСТЕМ*
М.М. Султанов, Н.В. Байдакова, А.В. Афонин, Е.М. Скопова.....312

УДК 621.316.7

STUDY THE EFFECT OF ELECTRICAL CONNECTION BETWEEN COUNTRIES ON FREQUENCY STABILITY BEHAVIOR IN SYRIA

Valeev.I.M[1], Alzakkar.A.M[2]
[1]Doctor of Technical Sciences, professor, ilgizvaleev@mail.yandex.ru.
[2]Student, ahmadalzakkar86@gmail.com
[1,2] Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Based on the importance of electrical connections to maintain the stability of the frequency achieved by the project of eight connections of Arab energy systems, the article will present a number of simulations in the Syrian network for 2018 using (PSS / E) and using this program to compare data with the results of real situations through several cases of power outages that occurred in the energy system of Syria.

Keywords: Deir Ali, electrical connection, frequency, stability.

Over the past two decades, Arab countries have spent more than 9 billion dollars on network connection projects for electric networks. To date, 13 projects have been completed. Currently, two more projects are being implemented, which should be completed in 2018. A number of connected projects that have been commissioned have reached an acceptable portion of the expected benefits.The aim of this study is to demonstrate the importance of electrical connections in maintaining frequency stability in case of an emergency in Syria.This project involves the connection of energy systems in Egypt, Iraq, Jordan, Lebanon, Libya, Palestine, Syria and Turkey, as shown in figure (1).This project is now known as (EIJLLPST), which represents the first letter of each of the eight countries [2].

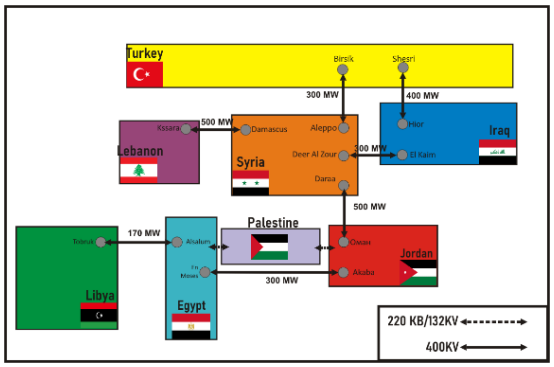


Fig.1.The Diagram of electric connections under project (EIJLLPST)

The program (PSS/E)is used by the Ministry of Electricity to analyze the work of the Syrian electricity network [5].In this study, we will explain the effect of electrical coupling in increasing frequency stability [3],[4] by comparing:

Frequency stability of an electrical system simulates a Syrian electrical system (independent network):Suppose that a malfunction at Deir Ali station for example, malfunction in the gas pipelines supplying the station - cut them off from work. This

case is represented by the program (PSS / E), and the resulting curve shown in Fig. 2, shows the frequency behavior in the event of a failure at Deir Ali station and their deviation from operation.

It is seen that the mains frequency has fallen below the value (47.5) Hz, which is the limit value and separates the equipment and digital-relay protection systems, and thus, network failure and power interruption. The frequency drop was significant due to the large proportion and increase in load from generation.

Frequency stability of the electrical system simulates the Syrian electrical system with the electrical connection{project(EIJLLPST)}: We return to the same previous parts with an electrical connection and produce with us the curve shown in Fig.3. compared with Fig.2. we find that the decrease in the frequency curve is less if the activation of the electrical connection due to the import capacities of neighboring countries contributed covering a significant part of the generation deficit resulting from the separation of Deir Ali generating station, 48.2 Hz is greater than the value at which all electrical protection is separated by 47.5 Hz. Thus, the frequency of the electrical connection is prevented from falling to undesirable values and helps to stabilize the frequency to values that exceed threshold values.

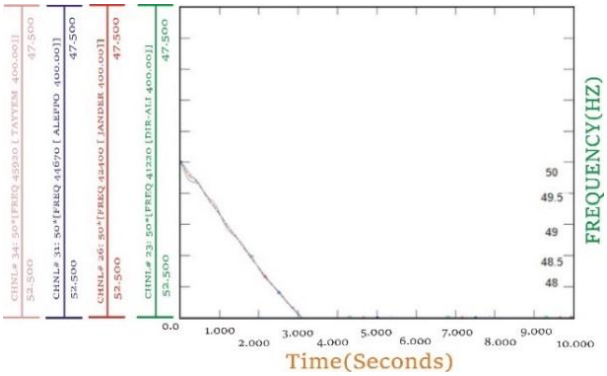


Fig.2.Frequency behavior in the event of a malfunction **without** the electrical connection

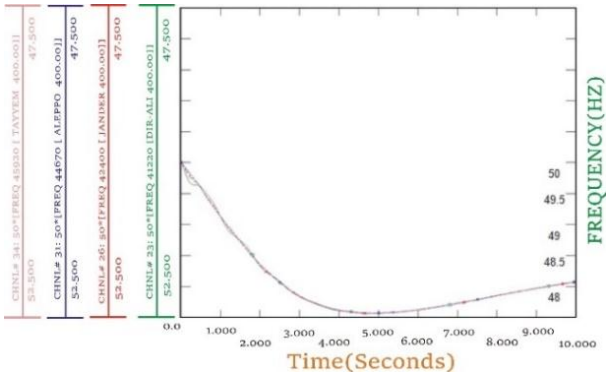


Fig.3.Frequency behavior in the event of a malfunction **with** the electrical connection

References

1. Coordination Office at the Ministry of Energy of Syria - some data on the Syrian network, 2017.

2. Electronic resource: http://www.sayedsaad.com/.

3. PrabhaKundur. Power System Stability and Control, Electric Power Research Institute, 1993, pp:1176.

4. PrabhaKundur, John Paserba, VenkatAjjarapu and GöranAndersson. Definition and Classification of Power System Stability, IEEE Transactions on power systems, 2004.

5. Huabo Shi, Xiaoyan Zhou. Stability Analysis on Power System with Large Power Source, Scientific Research, 2013.

УДК 621. 315

«SENTAURUSTCAD» МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХСВОЙСТВ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Р.Алиев[1], М.К.Абдувохидов[2], Ж.Ж.Гуломов[3]
[1]Д-р техн. наук, профессор,alievuz@yahoo.com
[2]PhDстудент, info@murodjon.uz
[3]Студент, jasurbekgulomov@yahoo.com
Андижанский государственный университет

В работе приведены и обсуждены вопросы моделирования при помощи «Sentaurus TCAD» программной системы влияния температуры на основные фотоэлектрические процессы переноса заряда в кремниевых солнечных элементах с *p-n*-переходом.

Ключевые слова: Sentaurus TCAD, кремний, солнечный элемент, солнечная батарея, температура, модель, моделирование.

Одним из наиболее значимых проблем эксплуатации солнечных элементов (СЭ) и солнечных батарей (СБ) в условиях непрерывного и прямого падения солнечного излучения является технические решения и меры предотвращения их перегрева. Следовательно, становятся актуальным исследование влияние температуры на основные фотоэлектрические параметры кремниевых СЭ. В работе с целью моделирования процессов фотоэлектрической генерации неравновесных носителей заряда и их переноса в кремниевых СЭ с *p-n*-переходом использована лицензированная программная система «Sentaurus TCAD».

Рассмотрим некоторые особенности такого метода. Sentaurus – это набор инструментов TCAD, который имитирует изготовление, эксплуатацию и надежность полупроводниковых приборов микроэлектроники и наноэлектроники. Sentaurus используют физические модели для представления этапов изготовления пластин и работы устройства, что позволяет не только изучать, но и оптимизировать конструкции и параметры новых полупроводниковых устройств. Система Sentaurus TCAD имеет многочисленные рабочие программные пакеты с широкими возможностями. В проведенном исследовании использованы SDE, SentaurusDevice, пакеты SVisual и инфраструктура SentaurusWorkbench для описания влияния температуры на солнечные элементы.

SDE – это 2D/3D редактор устройств, который строит и редактирует структуры устройств с использованием геометрических операций. Sentaurus Device - симулятор кремниевых и составных полупроводниковых приборов. Он моделирует электрические, тепловые и оптические характеристики кремниевых и составных полупроводниковых приборов в 2-х и 3-х измерениях. Он поддерживает разработку и оптимизацию современных и

функциональных полупроводниковых технологий, включая наноразмерные солнечные элементы и т.д. SVisual – это визуализация TCAD. Он предоставляет пользователям современную интерактивную 1D, 2D и 3D среду визуализации и исследования данных. Он поддерживает сценарии TCL, позволяя постобработку выходных данных для генерации новых кривых и извлеченных параметров.

Sentaurus Workbench – это полная графическая среда для создания, управления выполнением и анализа моделирования TCAD. Его интуитивно понятный графический пользовательский интерфейс позволяет пользователям перемещаться и автоматизировать типичные задачи, связанные с выполнением моделирования TCAD, такие как управление информационным потоком, включая предварительную обработку пользовательских входных файлов, параметризацию проектов, настройку и выполнение экземпляров инструмента и визуализацию результатов с помощью соответствующих средств просмотра.

Приборы Sentaurus позволяет выполнять расчеты скорости оптической генерации при различных температурах в солнечном элементе и связывает ее с электрическим моделированием. В Sentaurus Device реализовано несколько методов для вычисления скорости генерации оптических сигналов. Кроме того, использована термодинамическая модель для расчета влияния температуры на параметры кремниевого СЭ.А также, визуализированы процессы выделения тепло Джоуля, тепло Томсона, тепло Пельтье и тепло рекомбинации.

Рассмотрена модель кремниевого СЭ для трех значений температуры ($t_1 = -10^oC$, $t_2 = 27^oC$ *и* $t_3 = 70^oC$). Приведены результаты объемного моделирования конструкции СЭ, визуализации процессов оптической генерации носителей заряда, тепловыделения при переносе заряда и результирующие световые нагрузочные ВАХ кремниевых СЭ при различных температурах.

Обсуждены вопросы конструирования, предложены новые конструкции кремниевых СЭ и разработаны практические рекомендации, способствующие предотвращения перегрева СЭ и эффективному фотоэлектрическому преобразованию солнечной энергии.

Литература

1. K.Kells, General Electrothermal Semiconductor Device Simulation, Series in Microelectronics, vol. 37, Konstanz, Germany: Hartung-Gorre, 1994.

2. D.Chen et al., “Dual Energy Transport Model with Coupled Lattice and Carrier Temperatures,” in Simulation of Semiconductor Devices and Processes (SISDEP), vol. 5, Vienna, Austria, pp. 157–160, September 1993.

УДК 620.92

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОЧИСТКИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Ю.Н.Зацаринная[1], Д.И. Амиров[2]
[1]Канд. техн. наук, доцент, waysubbota@gmail.com
[2]Студент, amirowdenis@yandex.ru
[1,2] ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

В данной работе приводятся результаты решения актуальной проблемы, стоящей при эксплуатации солнечных панелей, такой как загрязнение их фронтальных поверхностей. Авторами был разработан автономный и надежный метод очистки с низким энергопотреблением и отсутствием вероятности затенения панели. В связи с отмеченными критериями была создана автоматизированная система с небольшим сроком окупаемости.

Ключевые слова: загрязнение солнечных панелей, очистка солнечных панелей, фотоэлектрическая панель, система очистки.

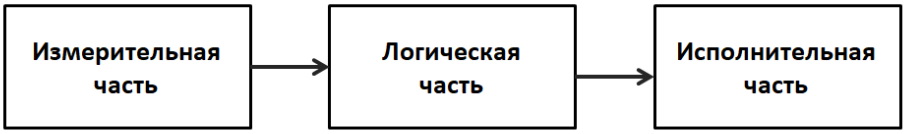
Последние несколько лет многие страны начали менять свое отношение к используемым энергетическим ресурсам. Одним из существенных предпосылок к этому стало принятие в 2015 году Парижского соглашения по климату, которое объединило усилия мировых держав по сдерживанию изменения климата на планете. Многие страны приняли новые стратегии и разработали дорожные карты по привлечению просьюмеров на возобновляемых источниках энергии. По данным Международного энергетического агентства (МЭА) [1] в Европе прогнозируется ежегодное увеличение потребления электроэнергии на 1,4% до 2030 года, разработанная ими дорожная карта 20501 направлена на сокращение выбросов парниковых газов, путем интеграции распределенных и возобновляемых источников энергии [2].

Россия тоже идет по похожему пути о чем свидетельствует принятие федерального закона № 471 от 27 декабря 2019 года «О внесении изменений в Федеральный закон Об электроэнергетике» в части развития микрогенерации». Согласно которому просьюмеры, имеющие объект микрогенерации, например, солнечную панель смогут продавать излишки выработанной электроэнергии. Энергия солнца является одним из самых перспективных направлений для домохозяйств. Однако актуальной задачей солнечной энергетики является вопрос, связанный с очисткой фронтальных поверхностей фотоэлетрических панелей (ФЭП). Проблема приводит к колоссальным экономическим потерям, по данным проведенных анализов для России цифра находится в районе 15 млн. в год. Это связано как со снижением выходной мощности, в случае отсутствия очистки.

Авторами статьи поставлена цель работы, заключающаяся в том поставлена цель разработать автономный и надежный метод очистки с низким энергопотреблением и отсутствием вероятности затенения панели. В связи с отмеченными критериями в качестве основы построения автоматизированной

системы была взята платформа Arduino, отличающаяся высокой надежностью и низким энергопотреблением, что позволит создать энергоэффективный метод очистки солнечных панелей.

Прибор для очистки солнечных панелей, выполняемый с помощью аппаратной платформы Arduino должен состоять из трех обязательных частей. Это измерительная, логическая и исполнительная части (рисунок).



Структурная схема устройства по очистке солнечной панели

Измерительная часть представляет собой совокупность аналоговых датчиков, сенсоров, переменных резисторов и резистивного делителя напряжения. К логической части относится программный комплекс, в котором записаны все уставки срабатывания, циклы, отменяющие ложную работу исполнительной части ночью, необходимый для формирования и отправки управляющих сигналов на привод.

К компонентам исполнительной части авторами был выбран двигатель постоянного тока (коллекторные двигатели), шаговые двигатели и сервоприводы. Система предполагает использование двух двигателей, перемещающихся по рельсам, расположенным в верхнем и нижнем краях солнечной панели.

В результате расчетов были выбраны двигатели постоянного тока, которые являются не только простыми в эксплуатации, но и более дешевыми, чем сервоприводы и шаговые двигатели.

В результате анализа научно-технической литературы и практических опытов было выявлено, что загрязнение поверхности солнечных панелей, приносящий экономический ущерб энергетике, является решаемой проблемой. Возможна сборка и установка автоматизированной системы по очистке уже в настоящее время, для этого требуются небольшие вложения, которые позволят сберегать большое количество электроэнергии.

Литература

1. International Energy Agency 2018 Renewables 2018 Analysys and Forecasts to 2023 (Paris: International Energy Agency).

2. Sumper A. Micro and Local Power Markets / Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, Inc., [2019] Pp.272.

УДК 004.93'1

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ НА БАЗЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

И.Е. Сычев[1], А.М. Литвиненко[2]
[1]Студент, fisio-s@yandex.ru
[2] Д-р техн. наук, профессор, litvinenko@eauts.vorstu.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе представлена система распознавания дефектов стального полотна на базе технического зрения.

Ключевые слова: техническое зрение, границы дефектов, градиентный метод.

В настоящее время для обеспечения качества и эффективности производства металла на предприятиях всё больше внедряют системы технического зрения (СТЗ). Одним из основных аспектов применения СТЗ является визуальный контроль. СТЗ следит за нарушениями технологии в производственном процессе и осуществляет специальный анализ продукции для определения ее качества [1].

При изготовлении и обработке стального полотна, а также при производстве различных конструкций в металле могут возникать дефекты. Среди всех дефектов можно различить как минимум две подгруппы: единичные(локальные) в виде пятен и пузырей; протяженные - в направлении прокатки. Например, штамповочные трещины.

Таким образом техническим требованием к СТЗ является распознавание двух типов объектов: локальных и протяженных. Это возможно осуществить за счет определения границ дефектов и определения соотношения между поперечными и продольными размерами полученного изображения. Для этого воспользуемся градиентным методом, который основан на выделении краевых точек, они малочувствительны к шумам и контрастности изображения. Точки основываются на разрывности сигнала яркости. Пространственная фильтрация - наилучший способ поиска разрывов. Скользящая маска фильтра переносится от пикселя к пикселю.

С помощью дискретных аналогов производных первого и второго порядков обнаруживаются перепады яркости. Алгоритмы выделения контуров являются модификациями дифференцирования двумерного поля по разным направлениям области [2].

Структура обработки информации в СТЗ, выглядит так:

1) в аппаратуре происходит преобразование свойств объекта в сигналы;

2) обработка - превращение сигнала в информацию для планирования и выполнения целевой функции.

Реализация данной системы производится на базе камеры A4Tech и микроконтроллера ATmega32.

Литература

1. Системы технического зрения: (Принцип. основы, аппарат. и мат. обеспечение) / Под общ. ред. А. Н. Писаревского, А. Ф. Чернявского. - Л. : Машиностроение : Ленингр. отд-ние, 1988. - 423 с.

2. Бехтин Ю. С. Теоретические основы цифровой обработки изображений встраиваемых оптикоэлектронных систем / Ю. С. Бехтин, С. Г. Емельянов, Д. В. Титов. - Москва : Аргамак-Медиа, 2016. - 296 с.

УДК 697.34

АЛЬТЕРНАТИВА УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ В ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

В.А. Стерлигов[1], Е.М. Крамченков[2], Т.Г. Мануковская[3], В.Я. Губарев[4], М.В. Шкатова[5]
[1]Канд. техн. наук, доцент, kram-stu@yandex.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, kram_lipetsk@rambler.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, kafpte@rambler.ru
[4]Канд. техн. наук, профессор, kafpte@rambler.ru
[5]Старший преподаватель, ya.shkatovamaria@ya.ru
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования
«Липецкий государственный технический университет», Россия

В работе приводится анализ эксплуатации гидродинамических стабилизаторов. На кафедре промышленной теплоэнергетики Липецкого государственного технического университета разработаны несколько конструкций гидравлических стабилизаторов расхода, которые можно будет использовать для создания интеллектуальных тепловых сетей, путем стабилизации гидродинамических параметров теплоносителя на вводах в здания при условиях полной автоматизации тепловых пунктов, аварийных и ремонтных ситуациях в водяных тепловых сетях.

Ключевые слова: интеллектуальные тепловые сети, гидродинамические стабилизаторы, автоматизация, цифровые технологии.

Для поселений, застроенных и застраиваемых многоквартирными жилыми домами (МКД) средней и высокой этажности, несомненно, как по экономическим показателям, так и по условиям обеспечения комфорта населения предпочтительнее централизованное теплоснабжение.

В централизованных системах теплоснабжения тепловые сети являются наиболее непредсказуемым и слабоуправляемым элементом системы, так как работают они в течение года при разных гидравлических и тепловых режимах, и непрерывно подвержены колебаниям температуры и, как следствие, механическим воздействиям в результате расширения и сжатия трубопроводов. С одной стороны, они являются тем звеном системы, которое в настоящее время наименее управляемо и предсказуемо, а с другой, элементом системы, формирующим надежность, бесперебойность подачи теплоты потребителям.

Иметь сети, в которых механические процессы, процессы теплопередачи и гидродинамики находились бы в оперативном управлении крайне привлекательно. Идея создания интеллектуальных тепловых сетей способствовала бы существенному повышению надежности теплоснабжения.

При работе сетей важно иметь стабильный гидравлический режим, который поддерживает подачу потребителям требуемого количества теплоты. Большинство так называемых «перетопов» и «недотопов» в МКД связано именно с гидравлическим режимом тепловых сетей и они в конечном итоге формируют параметры температуры и давления на вводах в здания и в самих системах теплопотребления [1, 2].

При современных тенденциях цифровизации технологических процессов в различных отраслях техники и промышленности цифровизация систем теплоснабжения, а в частности, тепловых сетей, бесспорно необходима.

Наиболее эффективным для поддержания заданного гидравлического режима или создания любого другого в автоматическом варианте, конечно же, является оснащение сетей регулирующей арматурой с регулируемым электроприводом и обеспечение управления и передачи информации с помощью цифровых технологий.

На наш взгляд, для целей поддержания стабильности гидравлического режима в сетях наиболее предпочтительны несопоставимые по цене с механическими регуляторами гидравлические стабилизаторы расхода. На кафедре промышленной теплоэнергетики Липецкого государственного технического университета разработаны несколько конструкций гидравлических стабилизаторов расхода.

Особенностью гидродинамических стабилизаторов расхода сетевой воды является то, что возмущающие воздействия на сеть, как то работа автоматизированных пунктов, отключение отдельных ветвей сетей на ремонт или ликвидацию аварий не сказываются на поддержании постоянства расхода воды за стабилизатором [1].

Опыт эксплуатации гидродинамических стабилизаторов позволяет рекомендовать их для целей созданий интеллектуальных тепловых сетей, путем стабилизации гидродинамических параметров теплоносителя на вводах в здания при условиях полной автоматизации тепловых пунктов, аварийных и ремонтных ситуациях в водяных тепловых сетях.

Литература

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Изд-во МЭИ, 2001.

2. Стерлигов В.А., Мануковская Т.Г., Логинов В.В., Ермаков О.Н., Крамченков Е.М. Способ снабжения тепловой энергией потребителей в централизованных системах. Патент на изобр. КИ №2334173 С1, Р24Б 3/02 (2006.01).

УДК 621.311.22

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

М.С. Иваницкий[1], М.М. Султанов[2], Е.В. Курьянова[3], А.А. Константинов[4]
[1]Канд. техн. наук, доцент, mseiv@yandex.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, sultanov_mm@mail.ru
[3]Аспирант, vek.077@rambler.ru
[4]Старший преподаватель, 88_slam_88@mail.ru
[1,2,3,4]Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском

В данной работе проводится анализ механизмов управления природоохранной деятельностью энергетических предприятий. Представлены основные направления реализации направления защиты окружающей среды от негативного влияния объектов теплоэнергетики в соответствии с требованиями нового российского природоохранного законодательства.

Ключевые слова: наилучшие доступные технологии, комплексное экологическое разрешение.

В результате горения органического топлива в котлах образуются вредные (загрязняющие) вещества, обладающие негативным воздействием на окружающую среду. Согласно [1] в зависимости от вида сжигаемого топлива установлены основные маркерные вещества, загрязняющие атмосферу: оксиды азота, диоксид серы, монооксид углерода и твердые (золовые) частицы. Некоторые из них обладают суммирующими токсическими свойствами при взаимодействии в газовом потоке или непосредственно в атмосфере с другими веществами.

Новое экологическое законодательство [1−3] устанавливает принципы природоохранной политики государства, которые в зависимости от степени негативного воздействия на окружающую среду разделяют все предприятия отраслей промышленности на 4 категории: предполагают реализацию наилучших доступных технологий (НДТ); систематизацию данных о выбросах в окружающую среду для сбора сведений в рамках государственного экологического мониторинга.

Для эффективного внедрения принципиально нового природоохранного законодательства на отечественных ТЭС разработаны положения по организации непрерывного контроля и учета вредных выбросов ТЭС и малых котельных в атмосферу [3].

В целях практической реализации экологического законодательства на ТЭС, относящихся к I и II категориям, определен переходный период до 2024 года, предполагающий возможность проведения предварительной оценки возможности выполнения топливосжигающими установками энергетических предприятий технологических нормативов выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферу.

В рамках реализации отечественного природоохранного законодательства предприятия I категории обязаны получить комплексное экологическое разрешение (КЭР), которое будет включать в себя новые принципы установления технологических и нормированных показателей выбросов [2].

Литература

1. ИТС 38-2017 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии. – Введ. 2018-07-01. – М. : Росстандарт, 2017.

2. Федеральный закон РФ от 21.07.2014 № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. – № 30. – 2014. – пункт 4220.

3. ПНСТ 187-2017 «Наилучшие доступные технологии. Автоматические системы непрерывного контроля и учета выбросов вредных (загрязняющих) веществ тепловых электростанций в атмосферный воздух. Основные требования». – М.: Стандартинформ, 2017.

УДК 621.165

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН

М.М. Султанов[1], Е.М. Скопова[2], В.С. Луненко[3], Ю.М. Чубко [4]
[1]Канд. техн. наук, доцент, sultanov_mm@mail.ru
[2]Инженер, skopova.eva@mail.ru
[3]Аспирант, kuponosovavalentina@mail.ru
[4]Доцент, y_chubko@mail.ru
[1,2,4]Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском
[3]ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

В данной работе приводятся результаты анализа дефектов систем регулирования паровых турбин и даны рекомендации по устранению и предотвращению появления неплановых простоев в связи с аварийным остановом турбоагрегатов.

Ключевые слова: система регулирования, надежность, дефекты, паровая турбина.

Вопросы обеспечения надежности и безопасности функционирования сложных технических систем являются актуальными при эксплуатации энергетического оборудования тепловых электрических станций (ТЭС). В современных условиях, когда большая часть оборудования отечественного теплоэнергетического комплекса превысила нормативный срок службы, важно обеспечить безопасную и эффективную работу генерирующих предприятий. При управлении режимами эксплуатации и ремонта необходимо учитывать фактический уровень надежности энергетического оборудования с учетом воздействия реальных эксплуатационных факторов [1].

В работе выполнен обобщенный статистический анализ дефектов и повреждений за последние 15 лет в системах регулирования паровых турбин типов Т (теплофикационные) и ПТ (промышленно-теплофикационные), установленной мощностью от 50 до 135 МВт. На основании статистических данных определены основные показатели надежности, необходимые для планирования ремонтно-эксплуатационной деятельности энергетического оборудования предприятия [2].

В результате расчетного исследования выявлены основные причинно-следственные связи возникающих дефектов, приводящих к аварийному останову турбин типов ПТ-61(65)-115(130)/13, Т-48(50)-115(130), Т-97(100)-115(130) и ПТ-133(135)-115(130)/15. Установлено, что в подавляющем большинстве случаев, неисправности возникают в результате нарушений при эксплуатации оборудования, дефектов монтажа после окончания текущих и капитальных ремонтов, а также физического и морального износа агрегатов и узлов.

Современные требования к надежности и безопасности объектов энергетики вынуждают предприятия снижать количество неплановых простоев оборудования, вызванных аварийными остановами [3]. Модернизация и реконструкция оборудования, снабжение высокоточными датчиками и приборами контроля параметров работы агрегатов ТЭС позволят посредством мониторинга точно и своевременно определить текущее состояние объектов. Интегрируя задачи мониторинга с облачными технологиями, осуществляющими сбор, обработку, хранение и передачу информации в реальном времени с минимальной задержкой, в работе предлагается для качественной организации и проведения ремонтной кампании использовать алгоритмизацию расчета показателей надежности действующего оборудования и их прогнозирование, что позволит оптимизировать объемы и сроки выполнения ремонтных работ, осуществлять качественный выбор режимов эксплуатации и прогнозирование наработки энергетических агрегатов тепловых электростанций.

Литература

1. Султанов, М.М., Баландин, О.И., Скопова, Е.М. Повышение эффективности эксплуатации энергетического оборудования генерирующих систем: учебное пособие / М.М. Султанов, О.И. Баландин, Е.М. Скопова. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2018. – 85 с.

2. Султанов, М. М. Оценка надежности, продление ресурса и оптимизация ремонта оборудования ТЭС и энергетических систем: Учебное пособие / М. М. Султанов. – Волжский : Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2016. – 100 с.

3. Труханов В.М., Султанов М.М., Скопова Е.М. Статистическая оценка уровня надежности энергетического оборудования ТЭЦ в процессе серийного производства и эксплуатации // Энергосбережение и водоподготовка. – 2018. – № 5 (115). – С. 16 – 25.

УДК 662.66, 662.642

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДГОТОВКИ УГЛЯ

М.О. Григорьева[1], Ю.Н. Зацаринная[2]
[1]Студент, grigoreva.m.o.703@gmail.com
[2]Канд. техн. наук, доцент, waysubbota@gmail.com
[1,2] ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Россия

В работе проведен тепловой и термодинамический расчеты замкнутых и разомкнутых индивидуальных систем подготовки угля на ТЭС с разными типами мельниц, который выявил возможности повышения эффективности технологической схемы путем утилизации теплоты отводимых от системы потоков, что позволит повысить термодинамический КПД

Ключевые слова: уголь, топливо, эксергетический КПД, системы подготовки угля на ТЭС.

Основными преимуществами применения твердого топлива в качестве одного из основных энергоносителей является его широкое распространение, удобство и простота хранения, низкая стоимость [1].

Однако твердое топливо требует сложной и дорогостоящей подготовки к сжиганию. Несмотря на большое количество научных разработок, направленных на повышение эффективности отдельных элементов систем подготовки топлива, оценка эффективности их работы в основном производится экспериментально или в результате промышленных испытаний [2]. Системы пылеприготовления топлива делятся на два типа: центральные и индивидуальные.

Центральные системы подготовки угольной пыли могут работать в режиме несвязанном с работой парогенераторов тепловых станций, так как они могут готовить пыль сразу для нескольких парогенераторов.

Индивидуальные же системы пылеприготовления жестко связаны с конкретным парогенератором и служат для подготовки пыли для одного парогенератора. Для отечественных электростанций преобладающими являются индивидуальные системы с промежуточным бункером пыли, оборудованные шаровыми барабанными или молотковыми мельницами, что объясняется особенностью углей сжигаемых в России (высокое содержание золы и влаги) [3].

Анализ эффективности работы системы пылеприготовления производился из анализа термодинамических параметров систем, а именно, потоков эксергии, которые подводились и отводились от нее. Проводилась оценка термодинамической эффективности замкнутых и разомкнутых систем в несколько этапов: были произведены тепловые балансы систем пылеприготовления, осуществлен аэродинамический расчет пылеприготовительного тракта, рассчитаны термодинамические параметры выходящих и входящих потоков системы подготовки топлива, внутренние потери эксергии во всех

элементах систем и общий эксергетический коэффициент полезного действия систем пылеприготовления. Результаты расчета представлены в таблице.

Результаты расчета эксергетического КПД для различных типов систем подготовки топлива

Вид системы пылеприготовления	Эксергетический КПД системы, %
Индивидуальная система пылеприготовления, оборудованная шаровой барабанной мельницей (ШБМ): - разомкнутая с сушкой воздухом	19,5
- разомкнутая с сушкой продуктами сгорания	11,6
- замкнутая с сушкой воздухом	31,4
- замкнутая с сушкой продуктами сгорания	42,2
Индивидуальная система пылеприготовления, оборудованная среднеходной мельницей (СМ): - разомкнутая с сушкой воздухом	16,7
Индивидуальная система пылеприготовления, оборудованная молотковой мельницей (ММ): - разомкнутая с сушкой воздухом	22

Из результатов расчетов можно сделать вывод о несовершенстве системы подготовки топлива к сжиганию. Из таблицы видно, что у систем пылеприготовления, где используются молотковые и среднеходные мельницы, коэффициент полезного действий имеет небольшие отличия, заметно выше КПД у систем подготовки угля с шаровыми барабанными мельницами, что объясняется тем, что сушильный агент за мельницей у ШБМ имеет более высокую температуру, чем у систем с СМ и ММ, ввиду большего нормативного расхода сушильного агента через мельничную установку. Причем, у систем, с продуктами сгорания в качестве сушильного агента, КПД выше, чем у систем с сушкой воздухом, т.к. температура продуктов сгорания и готовой угольной пыли выше, чем у воздуха после сушки.

Литература

1. Плакиткина Л. С. Анализ и перспективы развития угольной промышленности основных стран мира, СНГ и России в период до 2030 г. – М.: Научно-производственная компания «Гемос Лимитед», 2013. – 415 с.

2. Dincer I, Midilli A. and Kucuk H. Progress in Exergy, Energy, and the Environment. – Springer International Publishing, 2014. – p.145-56.

3. Мингалеева Г. Р., Зацаринная Ю. Н., Цышевский Р. В. Анализ эффективности индивидуальной системы пылеприготовления на ТЭС. // Труды V Международного Симпозиума «Ресурсоэффективность и энергосбережение» – Казань. –2004. с 92-94.

УДК 629.78+681.518

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ УЗЛА РЕГУЛЯТОРА ТОКА СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Р.Ю. Кузьменко[1] , А.Д. Данилов[2]
[1]Аспирант, kuzromik7@yandex.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, danilov-ad@yandex.ru
[1,2]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В докладе представлены результаты разработки аппаратно-программного модуля, входящего в систему диагностики и контроля, предназначенного для предварительной наземной отработки узла регулятора тока перед установкой его в энергосистему космического аппарата.

Ключевые слова: аппаратно-программный модуль, система диагностики и контроля, контрольно-проверочная аппаратура, регулятор тока, энергосистема космического аппарата.

Устройством, обеспечивающим стабильное напряжение на нагрузке системы энергоснабжения (СЭС) при нахождении космического аппарата (КА) на Солнце и позволяющим заряжать аккумуляторные батареи (АБ) для накопления энергии, является блок регулятора тока (РТ) [1]. Данный блок является одним из главных узлов СЭС КА и обеспечение его высокой функциональной надёжностью позволит увеличить срок активной эксплуатации космической станции.

Для решения поставленной задачи был разработан аппаратно-программный модуль (АПМ), предназначенный для осуществления многофункциональных проверок и испытаний блока РТ на стадии проведения регулировочных, приёмосдаточных работ в процессе производства узла, а также перед ёго установкой в комплексный стенд испытаний (КСИ), имитирующий СЭС КА [2], [3]. В качестве диагностируемого блока РТ рассматривается узел, входящий в перспективный энергетический модуль российского сегмента МКС. Солнечные батареи (СБ) данного модуля должны обеспечивать энергией высоковольтную питающую шину 120 В. Количество блоков РТ в СЭС – 12 штук [1].

Основные функции АПМ:

– проверка сопротивления изоляции силовых токоведущих цепей РТ;

– возможность выполнения управления по заданному алгоритму испытаний всеми техническими средствами, входящими в состав контрольно-проверочной аппаратуры блока РТ;

– осуществлять постоянную диагностику и контроль цифровой телеметрической информации, поступающей не только с РТ, но и со вспомогательных устройств, входящих в КПА (имитатора СБ и электронной нагрузки);

– при возникновении незапланированной аварийной ситуации проводить отключение подачи энергии с имитатора СБ с последующим анализом причины возникновения неисправности.

Структура автоматизированного АПМ, входящего в состав КПА:

– устройство ввода-вывода информации;
– силовой узел имитатора СБ;
– электронная нагрузка;
– ПЭВМ.

Устройство ввода-вывода информации представляет собой узел, преобразующий аналоговые сигналы датчиков КПА в цифровую форму (ток на входе РТ, напряжение на входе РТ, напряжение на выходе РТ, ток на выходе РТ, температура блока РТ и т.п.). Затем, по шине RS485, через преобразователь интерфейса RS485-USB цифровые сигналы поступают на ПЭВМ [3].

Источником энергии для обеспечения различных режимов работы РТ является имитатор солнечной батареи, имеющий возможность управления выходными параметрами по сети Ethernet.

Узел электронной нагрузки предназначен для управления нагрузочной характеристикой блока РТ по заданной программе с помощью сети Ethernet.

Управление всем АПМ осуществляет ПЭВМ с установленным специальным программным обеспечением. ПЭВМ осуществляет сбор всей информации по USB-каналу, проводит диагностику в режиме реального времени и выполняет управление по сети Ethernet имитатором СБ и электронной нагрузкой по заданному алгоритму испытаний [3].

Разработанный аппаратно-программный модуль позволяет автоматизировать процесс испытаний блока, что способствует уменьшению общего времени испытаний, упрощению работы оператора и ускорению поиска неисправных узлов.

Литература

1 Данилов А. Д. Тищенко А.О. Алгоритмы управления специализированными исполнительными устройствами систем электрообеспечения МКС // Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве. – 2017.– С.126-128.

2 Шурыгин Ю.А. Аппаратно-программный комплекс автоматизации процессов предстартовых испытаний систем энергообеспечения космических аппаратов / Ю.А. Шурыгин, В.Н. Мишин, Ю.А. Кремзуков // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 1. – С. 305–309.

3 Данилов А. Д. Кузьменко Р. Ю. Автоматизированная система диагностики и контроля для наземной отработки энергоузлов МКС // Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве. – 2019.– С.147-150.

УДК 621.313

АСИНХРОННЫЙ ЧАСТОТНО-ТОКОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.И. Черноусов [1,] В.А. Трубецкой [2], А.К. Муконин [3], Т.А. Сазонова[4], Д.А. Тонн [5]
[1]Магистрант, damon17887@gmail.com
[2,3] Канд. техн. наук, доцент, eayts@yandex.ru
[4]Ст. преподаватель, sazonova.tl@yandex.ru
[5]Канд. техн. наук, доцент, tonnda@yandex.ru
[1-5]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе представлены результаты исследований по совершенствованию характеристик частотно-токовых электроприводов, предназначенных для производственных механизмов специального назначения, для которых быстродействие не является главным критерием функционирования.

Ключевые слова: модуль тока статора, скольжение, асинхронный двигатель, перегрузочный манипулятор.

Рассматривается вариант частотно-токового электропривода, предназначенный для работы на массивные производственные механизмы, функционирующие в условиях медленно меняющихся управляющих и возмущающих воздействий. Примером такого объекта является перегрузочный манипулятор, осуществляющий перегрузку ядерного топлива на АЭС. Главным критерием функционирования электроприводов перегрузочной машины является не быстродействие, а плавность и точность выполнения программных движений с возможностью постоянного контроля правильности выполнения рабочих операций.

Большинство существующих вариантов частотно-токовых электроприводов построены с реализацией закона управления с поддержанием постоянства потокосцепления ротора [1,2], что отвечает критерию достижения высокого быстродействия электропривода.

В предложенном варианте электропривода, который предназначен для использования на степенях подвижности перегрузочного манипулятора, используются другие законы частотного управления, в большей степени удовлетворяющих требованиям технологии перегрузки.

При разработке данного варианта частотно-токового электропривода использовалась модель асинхронной машины в системе координат (0,1,2), связанной с вектором тока статора.

В качестве управляющих воздействий используется модуль вектора тока статора i_s и скольжение вектора тока статора относительно ротора ω_{2i}. Математическая модель асинхронного двигателя представляется в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} i_s L_m = T_r \frac{d\psi_{r1}}{dt} + \psi_{r1} + \omega_{2i} T_r \psi_{r2}; \\ 0 = T_r \frac{d\psi_{r2}}{dt} + \psi_{r2} - \omega_{2i} T_r \psi_{r1}; \\ M_э = \frac{3}{2} z_p k_r \psi_{r2} i_s \end{cases} \quad (1)$$

где L_m – индуктивность контура намагничивания; T_r – постоянная времени ротора; k_r – коэффициент электромагнитной связи; z_p – число пар полюсов; ψ_{r1}, ψ_{r2} – проекция вектора потокосцепления ротора на оси 1,2.

Анализ модели показал, что асинхронный двигатель при частотно-токовом управлении можно представить в виде объекта с параметрической обратной связью [3].

Для формирования требуемых переходных процессов используется канал управления углом между векторами тока статора и потокосцепления ротора. Тангенс угла φ задается следующим образом:

$$tg\varphi_{(s)} = \frac{\omega_{2i} T_r}{1 + T_r S}; \quad (2)$$

В течение всего процесса перегрузки контролируется величина $M_э$, которая определяется модулем тока статора.

Литература

1. Муконин А.К. Частотно-токовый электропривод / Муконин А.К., Харченко А.П., Трубецкой В.А. // Сборник трудов X Всесоюзной научно-технической конференции по проблемам автоматизированного электропривода. - М.: Энергоатомиздат. 1990. С. 266-270.

2. Шиянов А.И. Метод структурного синтеза асинхронных электроприводов с частотно-токовым управлением / Шиянов А.И. Трубецкой В.А. // 11 Всесоюзная научно-техническая конференции по проблемам автоматизированного электропривода. Тезисы докладов. - М. 1991.

3. Трубецкой В.А. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод для перегрузочного манипулятора АЭС / Трубецкой В.А., Коровин Е.Н., Разинкин К.А., Поярков Д.В.// Вестник Воронежского государственного технического университета. -2011. - Т. 7. - №12-3. - С. 23-25.

УДК 519.6

БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ

Д.О. Рыбалко[1], В.Б. Фурсов[2], Ю.В. Писаревский[3], Ж.А. Ген[4], П.Н. Татарников[5]
[1] Студент, danil.ribalko@yandex.ru
[2] Канд. техн. наук, доцент, fvb273@inbox.ru
[3] Канд. техн. наук, доцент, 2732558@mail.ru
[4] Старший преподаватель, jeannagen@mail.ru
[5]Адьюнкт, tatarnikovpavel@mail.ru
[1-4] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
[5] Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

В данной работе рассматривается возможность создания беспилотного летательного аппарата гибридного типа, с электрической силовой установкой, работающей от солнечной энергии и обеспечивающей полёт аппарата в стратосфере.

Ключевые слова: солнечные батареи, беспилотный летательный аппарат, тяговые электродвигатели, высота подъема, время полета.

В настоящее время стало возможным создание беспилотных летательных аппаратов, с электрической силовой установкой, работающей от солнечной энергии и обеспечивающей полёт аппарата в стратосфере. Новые летательные аппараты гибридного типа теоретически могут иметь неограниченное полётное время. Это беспилотные летательные аппараты на базе дирижабля и вертолета.

Конструкция электрических силовых установок, современных квадрокоптеров не позволяют получить длительное полётное время, которое, как правило не превышает 45 минут. Увеличение полётного времени достигается за счёт двигателей внутреннего сгорания и определённого количества топлива на борту. При этом неизбежно возникают ограничения по высоте полёта из-за недостатка кислорода для работы двигателя внутреннего сгорания и необходимости периодической заправки летательного аппарата, что регламентирует полетное время и также сокращает дальность полетов.

Существующие аппараты вертолётного типа в принципе не позволяют использовать альтернативные источники энергии способные исключить наличие топлива на борту. При этом электрическая силовая установка должна быть очень экономичной. Поэтому желательно иметь меньшее число электродвигателей большей мощности, чем большее число электродвигателей меньшей мощности. Минимальное количество электродвигателей два, которые обеспечивают вращение воздушных винтов сдвоенной конструкции, исключающей вращение корпуса.

Корпус летательного аппарата должен быть выполнен в виде аэростата с жёсткой оболочкой, позволяющей придать летательному аппарату более совершенную аэродинамическую форму. Аэростат позволяет разместить на своей поверхности источник электропитания, выполненный в виде солнечной

батареи. Однако подобные конструкции имеют общий недостаток, присущий всем дирижаблям - это аэростатическая неуравновешенность, которая заставляет возить с собой большое количество балласта и тем самым уменьшает полезную грузоподъёмность аппарата. Возможно, регулирование устойчивости аппарата и управление полётом осуществляется за счёт электроприводов четырёх воздушных винтов, расположенных как у классических квадрокоптеров. Воздушный винт с нерегулируемым шагом имеет достаточно высокий КПД (порядка 80%), однако этот КПД соответствует только определённой скорости винта и при других скоростях сильно падает. Все эти факторы приводят к повышенному расходу электроэнергии, что требует увеличения ёмкости аккумуляторов, необходимых для работы аппарата в ночное время, и возрастанию циклов перезарядки аккумуляторов, число которых ограничено. В результате снижается полезная нагрузка и полётное время аппарата.

Значительно экономичнее изменять положение центра тяжести летательного аппарата. Это можно выполнить двумя способами:

1) использовать секционированную оболочку аэростата и окружающий воздух в виде балласта, который будет закачиваться в баллонеты или наоборот вытесняться при помощи быстродействующих компрессоров;

2) использовать собственное оборудование летательного аппарата (например аккумуляторы) для перемещения в пространстве при помощи электроприводов.

При соответствующей форме оболочки дирижабль приобретает способность планировать и тем самым снижаются затраты энергии на его перемещение. Следует заметить, что аэростат можно заполнить смесью водорода и гелия для обеспечения большей подъёмной силы, меньшей стоимости газа и одновременно безопасности эксплуатации. Таким образом, набор высоты до примерного значения 15000 м идет наиболее экономичным способом за счет аэростатической подъёмной силы, затем основную работу выполняют воздушные винты тяговых электродвигателей, которые могут поднимать аппарат вверх на высоту до 20000 м.

Таким образом, возможно создание беспилотного летательного аппарата высота подъёма, ограниченна стратосферой, а время и дальность полета не регламентируемы.

Литература

1. Арзамацев А.А. Математические модели для инженерных расчётов летательных аппаратов мультироторного типа / А.А. Арзамацев А.А. Крючков // Вестник национального исследовательского Томского государственного университета (ТГУ). 2014. Т.19, Вып. 6. С 1821–1828.

УДК 621.548

ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВАЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

П.Ю. Беляков[1], Ю.В. Писаревский[2], А.В. Тикунов[3], А.Ю. Писаревский[4], Т.Е. Черных[5]
[1] Канд. техн. наук, доцент, belyakov@iict.ru
[2] Канд. техн. наук, доцент, 2732558@mail.ru
[3] Канд. техн. наук, доцент, tikunov_a@list.ru
[4] Канд. техн. наук, доцент, 2732558@mail.ru
[5] Ст. преподаватель, tany_ch@list.ru
[1] АНОО ВО «Международный институт компьютерных технологий»
[2-5] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе рассмотрены результаты разработки ветроэнергетической установки с вертикальным ветроколесом.

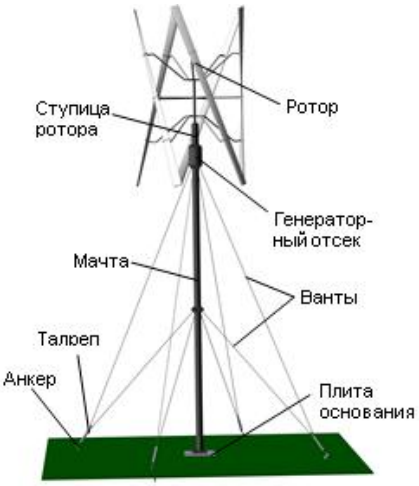
Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, ветроколесо, система управления, магнитный подвес, синхронный генератор.

На сегодняшний день на фоне непрекращающихся дискуссии об уменьшении запасов органического топлива, удорожания электрической энергии вопрос развития альтернативной энергетики является чрезвычайно актуальным. В этом направлении человечество за всю свою историю научилось использовать солнечную и ветровую энергию, а также энергию воды, биоэнергию и многие другие. Одной из наиболее развитой отраслью на в данный момент времени является ветроэнергетика, но, тем не менее, и здесь имеется ряд технических и экономических проблем, затрудняющих более широкое применение ветроэнергетических установок (ВЭУ). Решение этих вопросов возможно путем совершенствования уже имеющихся конструкций ВЭУ, а также разработках новых.

На кафедре электромеханических систем ВГТУ была предпринята попытка разработки ветроэнергетической установки, которая позволила уменьшить ее себестоимость и затраты на эксплуатацию. Данная разработка проводилась по Балтийского станкостроительного завода (г. Санкт-Петербург). Результатом разработки стала ВЭУ с вертикальной осью вращения, позволяющая применить нетрадиционные решения для генератора и подшипниковых узлов (рисунок).

Для преобразования энергии ветра в механическую энергию в установке применена специально разработанная и запатентованная ветротурбина с вертикальной осью вращения [1]. Для проверки работоспособности ВЭУ был произведен макетный образец мощностью 1,5 кВт, для которого была разработана система автоматического управления ВЭУ [2].

Как уже было отмечено выше, в ходе разработки была предложена конструкция специализированного синхронного генератора дисковой конструкции на постоянных магнитах, позволяющий наращивать мощность путем добавления модулей [3, 4].



Конструкция разработанной ВЭУ

Особо следует отметить разработку магнитных левитационных узлов принимающих на себя большую часть вертикальной нагрузки на подшипники вала ВЭУ с целью снижения механических потерь на трение и повышения долговечности [5].

Таким образом, комплекс проведённых исследований и опытно-конструкторских работ позволил сформировать перспективную концепцию вертикально-осевой ВЭУ для диапазона мощностей от 1 до 15 кВт.

Литература

1. Пат. 2470181 РФ, МПК F03D3/00 Ветряная турбина с вертикальной осью вращения/ П.Ю. Беляков, А.В. Тикунов, (РФ). - № 2010136214/06; Заявл. 27.08.2010; Опубл. 20.12.2012.

2. Электрическая часть и система управления вертикально-осевой ветроэнергетической установки / П.Ю. Беляков, Р.М. Панов, А.С. Павлов, А.В. Тикунов // Электротехнические комплексы и системы управления. 2012. № 1. С. 69–77.

3. Пат. 111365 Российская Федерация, МПК Н02Л21/24. Электрогенератор / Писаревский Ю.В., Беляков П.Ю., Писаревский А.Ю., Тикунов А.В., Черных Т. Е. № 2011133630/07; заявл. 10.08.2011; опубл. 10.12.2011.

4 Исследование торцевого синхронного генератора прямого привода для вертикально-осевой ветроэнергетической установки / Т.Е. Черных, А.С. Павлов, П.Ю. Беляков, Ю.В. Писаревский, А.В. Тикунов // Электротехнические комплексы и системы управления. 2012. № 2. С. 11–16.

5. Разработка магнитных левитационных подшипниковых узлов для использования в вертикально-осевых ветроэнергетических установках малой мощности / Писаревский Ю.В., Беляков П.Ю., Писаревский А.Ю., Тикунов А.В. // Электротехнические комплексы и системы управления. 2014. № 3. С. 53–56.

УДК 621.182, 004.94

ВИРТУАЛЬНЫЙ ТРЕНАЖЕР ВОДОГРЕЙНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

Е.В. Кочарян[1], В.В. Шапошников [2], А.С. Мачарашвили[3]
[1]Канд. техн. наук, kocha99@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, shaposhnikov.valentin@gmail.com
[3] Студент, alcer96@mail.ru
[1,2,3] ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»

Преподавателями КубГТУ разработан и апробирован виртуальный тренажер водогрейной котельной для теоретического обучения и отработки навыков действий как будущих, так и действующих инженеров-теплоэнергетиков. Приведено описание его функционала, интерефейса и алгоритма работы.

Ключевые слова: тренажер, котельная, виртуальный, котел, навыки.

В настоящее время существует достаточно много компьютерных тренажеров для обучения персонала котельных и студентов работе с теплоэнергетическим оборудованием, включая правильное поведение при аварийных ситуациях. Однако большинство таких симуляторов представлены в виде тепловых схем или плоских схематичных изображений котлов и другого вспомогательного оборудования. Такие программы позволяют повысить квалификацию обучающихся, а также получить понимание о связях между различными элементами котельной (или непосредственно котла) и их влиянии друг на друга. Однако, без перехода к максимально реальному визуальному отображению изучаемого оборудования с использованием объемных трехмерных моделей не получится добиться действительно эффективного обучения в соответствии с современными требованиями. Более того, применение такого рода симуляторов становится обязательным для ряда промышленных предприятий.

Преподавателями Кубанского государственного технологического университета был разработан специализированный виртуальный тренажер водогрейной котельной (ВТВК), соответствующий современным требованиям [1]. Тренажерный комплекс ВТВК предназначен для отработки навыков эксплуатации оборудования водогрейной котельной, а также изучения отдельных элементов и оборудования. Визуальное изображение и размещение элементов котельной идентично реальным решениям (рис. 1, 2). Это позволяет упростить и ускорить переход от теоретического изучения котельных установок и вспомогательного оборудования к практическому опыту. Расчет основных параметров работы теплоэнергетического оборудования, тепловой схемы котельной основан на математических зависимостях и принципиально совпадает с реальными характеристиками объекта, но использует определенные допущения и ограничения. Принятые допущения позволяют ускорить работу системы, что происходит с сохранением соответствия между данными, получаемыми в модели и при эксплуатации действующего объекта в реальных условиях.

Рис. 1. Фотография реальной котельной

Рис. 2. Скриншот виртуального тренажера

Разработанный виртуальный тренажер водогрейной котельной уже внедрен в учебный процесс при подготовке бакалавров и магистров по направлениям теплоэнергетика и теплотехника в Кубанском государственном технологическом университете и демонстрирует свою эффективность.

Литература

1. Кочарян Е.В., Шапошников В.В., Мачарашвили А.С.Виртуальный тренажер водогрейная котельная: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2019664785 Рос. Федерация / Роспатент. - Заявл. 31.10.2019 ; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 13.11.2019.

УДК 621.315.562

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ВРЕМЕНИ ВЫДЕРЖКИ ПРИ ГОРЯЧЕМ ПРЕССОВАНИИ НА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕЛЛУРИДА СВИНЦА, ЛЕГИРОВАННОГО ЙОДОМ

В.В. Бавыкин[1], Ю.Е. Калинин[2], А.В. Михайлов[3]
[1]Аспирант, threeroad@mail.ru
[2]Д-р физ.-мат. наук, профессор, kalinin48@mail.ru
[1,2] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж
[3]АО «Корпорация НПО «РИФ», Воронеж

В работе приводятся результаты исследований влияния давления и времени выдержки при горячем прессовании на термоэлектрические свойства теллурида свинца, легированного йодом.

Ключевые слова: горячее прессование, давление, время выдержки, термоэлектрическая добротность.

В настоящее время все больше растет потребность в автономных источниках энергии. Эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую напрямую зависит от качества материала, используемого в термоэлектрических генераторах, и определяется термоэлектрической добротностью ZT. В связи с этим, основным способом повышения КПД термоэлектрических устройств является создание новых или усовершенствование функциональных свойств уже существующих термоэлектрических материалов.

Материалы на основе теллурида свинца широко используются в производстве термоэлектрических генераторов в качестве ветвей n-типа. На сегодняшний день актуальной задачей является улучшение его термоэлектрических свойств путем внесения небольших изменений в технологию изготовления. Для этого необходимо выяснить влияние режимов горячего прессования (давления (p) и времени выдержки (t)) на термоэлектрическую добротность ZT.

Для исследований был выбран теллурид свинца, легированный йодом, с весовым содержанием PbTe + 0.023PbI_2**.** Исходными компонентами для приготовления образцов служили свинец марки С0000, теллур марки сЧ и иодид свинца чда. Синтез теллурида свинца проводили прямым сплавлением исходных компонентов в качающейся печи в вакуумированных до ~3,5×10-3 Па кварцевых ампулах по следующему технологическому режиму: начальная температура печи 550 ºС, температура синтеза 1050 ºС, время выдержки 60 минут, охлаждение с печью.

Полученный слиток измельчали в вихревой мельнице и выделяли фракцию размером 0,064<x<1 мм.

Прессование измельченного материала проводилось в два этапа:

- холодное двухстороннее прессование при комнатной температуре при давлении 200 МПа с выдержкой 30 с;
- горячее прессование в вакууме при температуре 400 ºС (давление (p) и время выдержки (t) приведены в таблице).

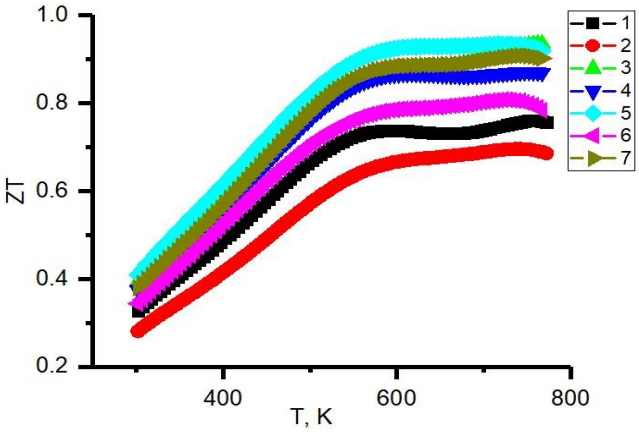
Давление и время выдержки при горячем прессовании, используемое при получении образцов

Номер образца	Давление (p), МПа	Время выдержки (t), мин
1	400	5
2	400	10
3	500	5
4	500	15
5	600	5
6	600	10
7	600	15

После горячего прессования брикеты подвергались термообработке в вакууме при температуре 550 ºС в течение 8 часов.

Теплопроводность образцов исследовали на установке Netzsch LFA467, электрическую проводимость и термоэдс — на установке Netzsch SBA458 в интервале температур 300-800 К.

Зависимость безразмерной термоэлектрической добротности ZT от температуры приведена на рисунке.



Зависимости ZT от T для теллурида свинца

Из рисунка видно, что с увеличением давления прессования безразмерная термоэлектрическая добротность ZT увеличивается, а увеличение времени выдержки приводит к ухудшению свойств материала.

Таким образом, в данной работе экспериментально определены оптимальные технологические режимы прессования теллурида свинца при температуре 400 ºС — давление p = 600 МПа и время выдержки t = 5 минут.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-48-360010)

УДК 666.3-187

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОМ И КОБАЛЬТОМ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА

А.К. Федотов[1], Е.Н. Подденежный[2], Л.А. Близнюк[3], В.В. Федотова[4], А.В. Пашкевич[5]
[1]Главный научный сотрудник, д-р физ.-мат. наук, профессор, fedotov@bsu.by
[2]Заведующая лабораторией, lyuda@physics.by
[3]Заведующий лабораторией, д-р техн. наук, профессор, podd-evgen@yandex.ru
[4]Канд. физ.-мат. наук, fedotova@phys.by
[5]Младший научный сотрудник, магистр, alexei.paschckevich@yandex.by
[1,5]НИИ ядерных проблем Белорусского государственного университета, Беларусь,
[2]Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Беларусь
[3,4]НПЦ НАНБ по материаловедению, Беларусь

В работе представлены результаты изменения структуры, электрических и термоэлектрических свойств образцов оксида цинка в результате легирования железом и кобальтом, полученных по керамической технологии. Показано, что легирование железом значительно усиливает эффект Зеебека (на 50-100 %) вследствие уменьшения концентрации электронов, тогда как относительно слабо влияют на термоэлектрический эффект.

Ключевые слова: оксид цинка, керамики, эффект Зеебека, легирование.

В настоящее время большое внимание уделяется исследованию возможностей создания термоэлектрических преобразователям (ТЭП) на основе керамических технологий, которые имеют как преимущества, так и недостатки перед традиционными генераторами электроэнергии. К преимуществам относится экологическая чистота, а также простота технологии. Однако наряду со низкой стоимостью керамических термоэлектрических материалов (КТЭМ), широкому их применению препятствует низкая эффективность преобразования, вследствие неоптимального соотношения электропроводности, теплопроводности и коэффициента Зеебека [1]. Поэтому задача разработки новых типом КТЭМ на основе легированного оксида цинка весьма актуальна в настоящее время.

В данной работе были получены КТЭМ на основе оксида цинка, которые были синтезированы на основе керамических технологий с использованием порошковых смесей из оксидов цинка (до 90 вес. %), а также оксидов железа и кобальта (до 10 вес. %) в качестве легирующих агентов. Были использованы коммерчески доступные оксиды (ZnO), а также наноструктурированные порошки оксидов, полученных методом управляемого синтеза в условиях термохимического процесса горения (ZnO, FeO, CoO) [2]. Порошковые смеси компактировались в таблетки при одноосном давлении 200 МПа и затем подвергались одностадийному спеканию при температурах 900 °С в течение 2 ч. (ZnO-FeO) [3] и 1100 °С в течение 3 ч. (ZnO-CoO) [2]. На полученных

образцах керамик изучены микроструктура, химический и фазовый состав, а также температурные зависимости удельного электросопротивления ρ в диапазоне 20 – 300 К и коэффициент термоэдс $S_{эдс}$ при комнатной температуре.

Химический состав и микроструктура определялись с помощью СЭМ с приставкой для энергие-дисперсионного рентгеновского анализа. Фазовый состав и кристаллическая структура фаз устанавливались с помощью рентгено-дифракционного анализа (РДА) и спектроскопии комбинационного рассеяния (СКР) при комнатной температуре. Данные РДА и СКР показали, что спеченные компактированные порошковые смеси из ZnO с FeO (до 10. Вес. %) имеют в своем составе твердые растворы ZnO:Fe со структурой вюрцита, а также частицы феррита $ZnFe_2O_4$. В системе ZnO-CoO вплоть до 50 вес. % CoO фиксируется только вюрцитная фаза.

Как показали эксперименты, добавление FeO и CoO в оксид цинка по разному влияет на значения ρ и $S_{эдс}$. Добавление CoO либо FeO повышает величину ρ практически пропорционально их весовому содержанию в порошковой смеси. При этом, в системе ZnO-CoO при температурах ниже 200 К в керамиках сохраняется переменная энергия активации проводимости, наблюдаемую у нелегированного оксида цинка. В то же время у легированных железом керамик сопротивление резко повышается (с энергией активации ~ 0,25 - 0,35 эВ) при охлаждении (примерно линейно в аррениусовом масштабе) и ниже 250 К перестает измеряться.

Легирование железом повышает коэффициент Зеебека при T = 300 К с 380-390 мкВ/К у образцов нелегированного ZnO до ~ 800 мкВ/К для образцов керамик с 10 вес. % FeO в исходной порошковой смеси. В случае легирования кобальтом, величина $S_{эдс}$ сначала увеличивается с 230 мкВ/К у ZnO до 400-410 мкВ/К в смесях с 2-5 вес. % CoO, а затем начинает несколько уменьшаться с ростом весового содержания CoO, достигая 350-360 мкВ/К для 50 вес. % CoO. Таким образом, добавление в поршковую смесь небольшого количества ионов переходного элемента (до 5 вес. %) всегда увеличивает коэффициент Зеебека исходного (нелегированного) вюрцита.

Литература

1. Голдсмит, Х.Дж. Эксперименты по непосредственному измерению термоэлектрической добротности / Х.Дж. Голдсмит // Термоэлектричество. – 2006. – № 1. – С. 5–15.

2. А.В. Павленок. Структура и свойства керамических композиционных материалов на основе оксида цинка / А.В. Павленок, Е.Н. Подденежный, Н.Е. Дробышевская, А.А. Бойко, А.К. Федотов, А.В. Пашкевич, К.Н. Кирильчик // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого – 2018. - № 2. - С. 50 – 57.

3. A.V. Pashkevich. Structure and electrical properties of zinc oxide base iron doped ceramics / Pashkevich AV, Fedotov AK, Kasyuk YV, Bliznyuk LA, Fedotova JA, Basov NA, Fedotov AS, Svito IA, Poddenezhny // Modern Electronic Materials – 2018 – Vol. 4(3) – P. 87–95. DOI: 10.3897/j.moem.4.3.39540

УДК 548.3: 539.25

ВЛИЯНИЕ НЕРАСТВОРИМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЕСОРБЦИИ ДЕЙТЕРИЯ ИЗ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ МАГНИЯ

А.Н. Морозов[1], А.В.Звягинцева[2]
[1]Канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, morozov@kipt.kharkov.ua
[2]Канд. физ.-мат. наук, доцент, zvygincevaav@mail.ru,
[1]Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Украина
[2] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе представлен обзор результатов исследования композитов на основе Mg, изготовленных методом плазменного распыления-напыления Mg и элементов, имеющих низкую растворимость в магнии и не формирующих двойные фазы с Mg. Выявлено, что введение таких элементов, может приводить к понижению температуры десорбции дейтерия.

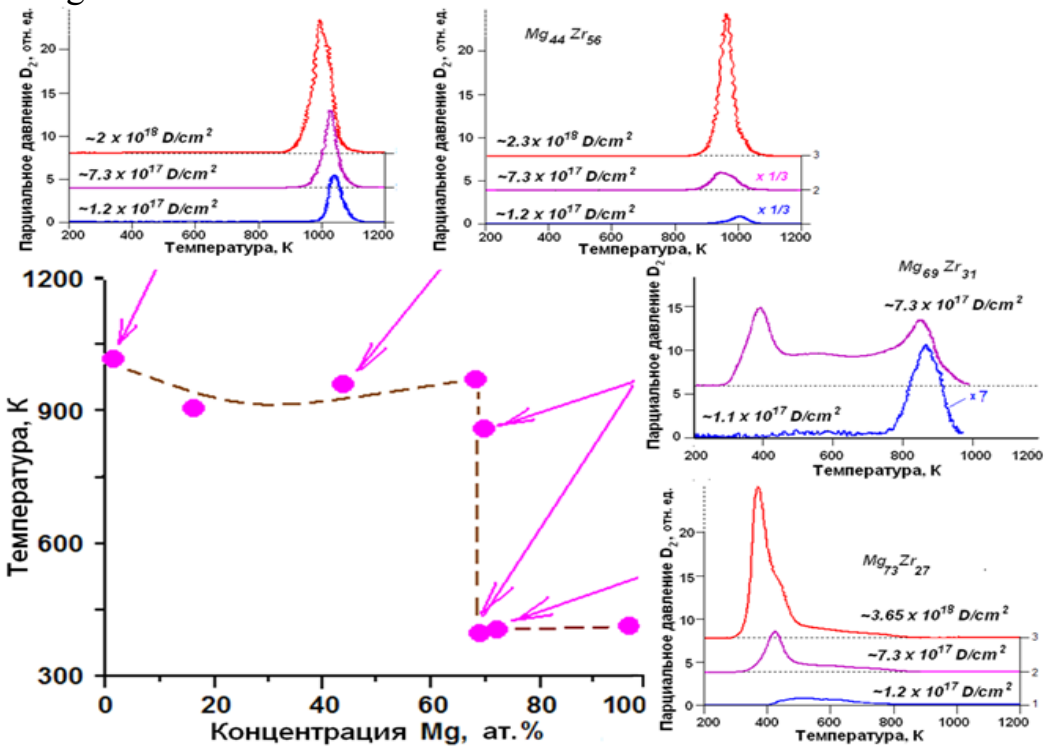
Ключевые слова: композиты на основе Mg, температуры десорбции дейтерия.

Композиты основе магния являются перспективными с точки зрения современных требований к системам металлогидридного хранения водорода (способность поглощения водорода более 5 вес.%) с низкой себестоимостью. Свидетельством значительного научного и прикладного интереса является значительный рост количества публикаций [1-2], посвященных изучению поведения водорода в композитах на основе Mg. Однако их использование сопровождается трудностями, одной из которых является высокая рабочая температура, находящаяся в пределах 500–600 К.

На современном этапе развития материаловедения особый интерес вызывают материалы в нанокристаллическом состоянии. Одним из способов получения материалов в аморфном/нанокристаллическом состоянии является введение нанообразующих компонент. На наш взгляд к нанообразующим компонентам следует отнести, прежде всего, химические элементы, имеющие низкую растворимость или вообще не взаимодействующие с компонентами создаваемых композитов.

В настоящей работе представлен обзор результатов исследования композитов на основе Mg, изготовленных методом плазменного распыления-напыления Mg и элементов, имеющих низкую растворимость в магнии и не формирующих двойные фазы с Mg (Ti, Zr, V), и изучены температурные диапазоны десорбции ионно-имплантированного дейтерия в зависимости от концентрации компонент и дозы имплантированного дейтерия. На рисунке представлены спектры термодесорбции дейтерия из Mg-Zr композитов. Видно, что структура спектров существенно зависит от состава (соотношения) компонент. На этом же рисунке приведена кривая зависимости температуры максимума десорбции дейтерия от состава композита Mg-Zr [3]. Ступенчатый вид кривой зависимости температуры максимума термоактивированного выделение дейтерия из Mg-Zr композитов свидетельствует о наличии двух

разных структурных состояний системы Mg-Zr в зависимости от соотношения компонент. Видно, что введение Zr в Mg приводит к значительному снижению температуры десорбции дейтерия (на ~400 K) в сравнении с выделением из образцов Mg.



Спектры ТДС дейтерия из композитов Mg-Zr и зависимость температуры максимума десорбции дейтерия от состава композита Mg-Zr. Доза дейтерия ~7.3×10^{17}D/см^2

Причиной снижения температуры десорбции дейтерия могут быть образующиеся в процессе изготовления и отжига нитевидные включения из атомов нерастворимого компонента, которые обеспечивают диффузию дейтерия из образца при более низкой температуре.

Полученные данные по десорбции водорода на примере композитов Mg-Zr [2], Mg-Ti [3], Mg-V [4] свидетельствуют о перспективности поиска материалов накопителей водорода, в составе которых имеются химические элементы с низкой взаимной растворимостью.

Литература

1. Shao H. Nanotechnology in Mg-based materials for hydrogen storage. Nano Energy. – 2012. – Vol.1. – pp. 590–601.

2.Yartys V.A. Magnesium based materials for hydrogen based energy storage: Past, present and future. Int J Hydrogen Energy. – 2019. – Vol.44. – pp. 7809-7859.

3. Morozov O. Metal. Deuterium desorption temperature Mg-Ti composites prepared by method of atom-by-atom mixing. IOP Conf.Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2013. – Vol.49. – 012013.

4. Neklyudov I.Metal. Threshold character of temperatures on deuterium thermal desorption in Mg-V composite grown atom-by-atom. IOP Conf.Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2012. – Vol.38. – 012061.

УДК 546.05

ВЛИЯНИЕ СВЕТА НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК СМЕШАННЫХ ОКСИДОВ ЦИНКА И ОЛОВА

В.В. Петров[1], Е.М. Баян[2], Ю.Н. Варзарев[3], М.Г. Волкова[4], В.Ю. Стороженко[5], А.А. Рожко[6], А.В. Нестеренко[7]
[1]Д-р техн. наук, профессор, vvpetrov@sfedu.ru
[2]Канд техн. наук, доцент, ekbayan@sfedu.ru
[3]Канд техн. наук, ст. преподаватель, varzarevyuv@sfedu.ru
[4]Студент, wolkowa-mg@yandex.ru
[5]Студент, viktoriastorojenko@gmail.com
[6]Аспирант, rozhko@sfedu.ru
[7]Инженер-проектировщик, nest@sfedu.ru
[1,2,3,4,5,6,7] ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Россия

В работе синтезированы наноразмерные пленки смешанных оксидов цинка и олова (IV). Установлено значительное влияние дневного света на температурные зависимости сопротивления пленок.

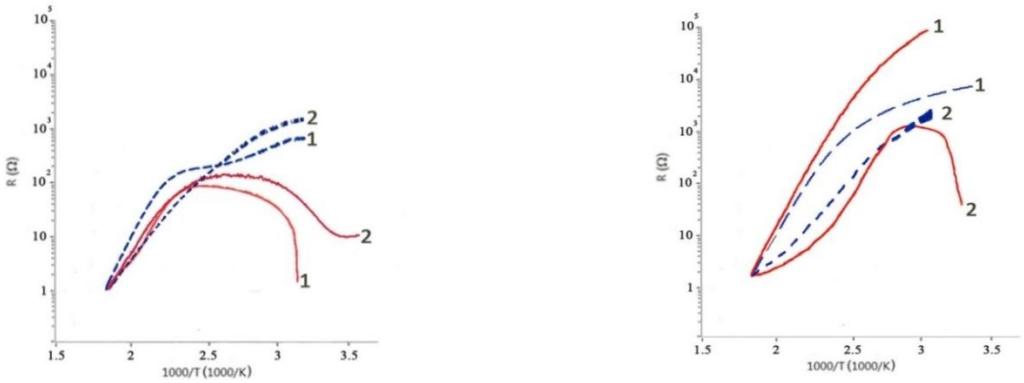
Ключевые слова: нанопленки, диоксид олова, оксид цинка.

Повышение эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую является одной из актуальных задач современности. На данный момент наиболее широко используются солнечные элементы на основе кремния, однако также применяются материалы на основе оксидов цинка, олова и индия-олова (ITO). Наноразмерные пленки оксида цинка, а также пленки на его основе, допированные различными соединениями, прозрачны, имеют низкое сопротивление, хорошо совместимы с другими активными полупроводниковыми материалами, что позволяет активно использовать их в качестве электродов в солнечных модулях [1-2]. Композитные пленки ZnO/ZnO-SnO2 также являются перспективными для солнечных элементов [3]. В зависимости от способа синтеза, получаемые материалы могут обладать различными физико-химическими свойствами [4], поэтому одним из актуальных вопросов современных исследований является оптимальный выбор метода и условий получения материалов. В рамках данной работы были изучены свойства наноразмерных оксидов цинка и олова, полученных методом низкотемпературного пиролиза.

В качестве основных прекурсоров для получения наноразмерных пленок оксидов цинка и олова (IV) использовали пентагидрат тетрахлорида олова, гексагидрат нитрата цинка и органическую кислоту, мольные соотношения цинка и олова составляли 99:1, 95:5, 5:95 и 1:99. Полученные составы органических солей растворяли в органическом растворителе, наносили на очищенные керамические подложки на основе оксида алюминия, высушивали на воздухе при 100 ^{o}C. Для изучаемых образцов наносили 3 слоя раствора прекурсоров. Термическую обработку материалов проводили при 550 ^{o}C в течение одного часа со средней скоростью нагрева 10 град/мин.

По данным сканирующей электронной микроскопии, толщина пленок составила около 90-100 нм. Рентгенофазовым анализом (РФА, дифрактометр ARLX'TRA, Thermo ARL) подтверждено, что полученные пленки содержат фазы оксида цинка и диоксида олова.

Для изучения электрофизических характеристик пленок поверх них были нанесены никелевые контакты. На рисунке представлены температурные зависимости сопротивления полученных пленок при нагреве до 300 ^{o}C и последующем охлаждении.



а) б)

Температурные зависимости сопротивления пленок ZnO SnO_2—1:99 (а) и 99:1 (б).
(1 – измерения после воздействия света, 2 – после выдержки в темноте; (—) – нагрев, (- - -) – охлаждение)

Зависимости измеряли после воздействия дневного света и после выдержки в темноте в течение 24 ч. Видно, что влияние света на сопротивление пленок в большей степени проявляется для образца с соотношением ZnO:SnO2 99:1. Нелинейность представленных зависимостей может свидетельствовать о том, что на термоактивационный механизм проводимости накладывается влияние адсорбционно-десорбционных процессов на поверхности пленок.

Таким образом, с учетом найденных эффектов синтезированные пленки оксидов цинка и олова могут быть рекомендованы для применения в функциональных элементах сенсорики и альтернативной энергетики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ №20-07-00653 А.

Литература

1. Chala S. et al. Extraction of ZnO thin film parameters for modeling a ZnO/Si solar cell // Energy. 2018. Vol. 164. pp. 871-880.

2. Petrov V.V. et al. Study of the electrophysical properties of thin films of mixed zinc and tin oxides // Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics, EExPolytech. 2019. pp. 242-243.

3. Guo Z. L. et al. Enhanced electron extraction using ZnO/ZnO-SnO2 solid double-layer photoanode thin films for efficient dye sensitized solar cells //Thin Solid Films. 2019. Vol. 684. pp. 1-8.

4. Bayan E.M., Lupeiko T.G., Pustovaya L.E., Fedorenko A.G. Effect of synthesis conditions on the photocatalytic activity of titanium dioxide nanomaterials. Nanotechnologies in Russia, 2017, Vol. 12, No. 5-6, pp. 269-275.

УДК 66.066.3

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ СЕПАРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРОЦЕСС ДЕЭМУЛЬСАЦИИ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ В ТРУБЕ

В.Э. Зинуров[1], А.В. Дмитриев[2], И.Н. Мадышев[3]
[1]Аспирант, vadd_93@mail.ru
[2]Д-р техн. наук, доцент, ieremiada@gmail.com
[3]Канд техн. наук, доцент, ilnyr_91@mail.ru
[1,2] ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
[3]ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

В данной работе приводятся результаты исследований влияния формы сепарационных элементов на процесс деэмульсации водонефтяной эмульсии в трубе. Показано, что для наиболее эффективного разделения водонефтяных эмульсий в сепараторах необходимо использовать гофрированные пластины с их расположением в устройстве под углом 45º.

Ключевые слова: водонефтяная эмульсия, деэмульсация, сепарационные элементы, нефть.

Одной из наиболее важных задач объектов нефтеподготовки является повышение качества разделения водонефтяных эмульсий. Актуальность данной задачи обусловлена тем, что по мере эксплуатации нефтяных месторождений в добываемой нефти повышается содержание концентрации воды и соответственно снижается концентрация нефти. В настоящее время концентрация пластовой воды при добыче нефти может достигать до 80-90 %.

К наиболее известным способам разделения водонефтяных эмульсий относят: отстаивание, фильтрация, центрифугирование, термическое воздействие, внутритрубная деэмульсация и др. Выбор определенного способа зависит от совокупности факторов: теплофизические параметры нефти и воды (удельный вес, динамическая вязкость и др.), концентрации компонентов водонефтяной эмульсии, требуемая производительность разделения эмульсий и др. Следует отметить, что с течением времени эксплуатации нефтяных месторождений могут изменяться параметры водонефтяных эмульсий. Поэтому практически все объекты нефтеподготовки имеют многоступенчатую схему очистки водонефтяных эмульсий. Как правило, первой ступенью очистки является отстойник или сепаратор, где процесс водонефтяных эмульсий основан на разности плотностей воды и нефти. Одним из главных недостатков используемых различных модификаций отстойников является низкая скорость разделения водонефтяных эмульсий. Повышение эффективности и скорости работы отстойников является важной задачей в нефтеперерабатывающей отрасли, так как последующие ступени очистки, включающие применение деэмульгаторов, термического воздействия и др. являются наиболее затратными в экономическом плане [1-2].

Целью работы является исследовать влияние различной формы сепарационных элементов на процесс деэмульсации водонефтяной эмульсии.

Исследования проводились на собранной лабораторной установке, включающей емкость подготовки эмульсии 1, трубчатый сепаратор 2, в который вставлялись различные виды сепарационных элементов: гофрированные пластины, располагаемых под углом 45 и 135º и перекрестные гофрированные пластины, насос 3, емкость для пробоотборника 4, жидкостный фильтр 5 и запорная арматура на линии подачи эмульсии 6.

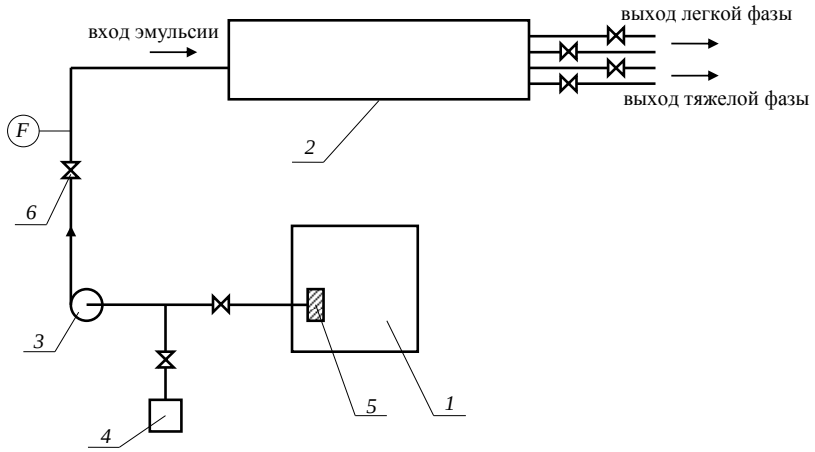


Схема экспериментальной установки: 1 – емкость с исходной эмульсией; 2 – трубчатый сепаратор; 3 – насос; 4 – емкость для пробоотборника; 5 – жидкостный фильтр; 6 – запорная арматура на линии подачи эмульсии

В ходе исследований было получено, что эффективность разделения водонефтяной эмульсии при перекрестном расположении пластин составляла в среднем 68,2 %, при движении эмульсии по гофрированным пластинам, расположенных под углом 45 и 135º составляла в среднем 81,4 и 73,5 % соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК – 616.2020.8.

Литература

1. Li, X., Shan, H., Zhang, W. & Li, B. 2020. 3D printed robust superhydrophilic and underwater superoleophobic composite membrane for high efficient oil/water separation. Sep. Purif. Technol. 237: 116324.

2. Dmitriev, A.V., Zinurov, V.E., Vinh, D. & Dmitrieva, O.S. 2019. Removal of moisture from contaminated transformer oil in rectangular separators. E3S Web Conf. 110: 01026.

УДК 620.92

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Н.И. Чухин[1], А.И. Счастливцев[2]
[1]Аспирант, chnik@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, ст. науч. сотр., h2lab@mail.ru
[1,2] Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, Москва

В работе проводится оценка применения водородно-воздушной системы аккумулирования энергии при осуществлении автономного электроснабжения небольшого населенного пункта от ветроэлектростанции.

Ключевые слова: ветроэлектростанция (ВЭС), водородная система аккумулирования энергии, воздушная система аккумулирования энергии, мощность генерации.

При выборе места для размещения ветроэлектростанций (ВЭС) необходимо ориентироваться на территории с подходящими для этого метеоусловиями, оптимально − со среднегодовыми скоростями ветра свыше 6 м/с [1]. Традиционно к благоприятным местам для размещения ВЭС относят морские побережья, возвышенности и равнины.

Но и в районах с высокими средними скоростями ветра необходимо учитывать нестабильность скорости ветра в течение суток, а так же в разные сезоны, а как следствие и неравномерный график мощности генерации ВЭС. Было решено произвести оценку применения водородно-воздушной системы аккумулирования энергии [2] при автономном электроснабжении небольшого населенного пункта на территории России в прибрежной зоне для компенсации неравномерности выработки электроэнергии от ВЭС. Такая система запасает энергию как в водороде и кислороде, так и сжатом воздухе. Выработка от ВЭС определена для конкретно выбранной модели ветроэлектроустановки на основании данных о метеонаблюдении за скоростями ветра в течение года [3]. Для наглядного сравнения характеристик эффективности аккумулирования электроэнергии аналогичный расчет был проведен для системы на основе традиционных литий-ионных аккумуляторов.

Литература

1. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. 280 с.

2. A.I. Schastlivtsev and O.V. Nazarova Hydrogen-Air Energy Storage Gas-Turbine System // Thermal Engineering, 2016, Vol. 63, No. 2, pp. 107−113.

3. NASA POWER Prediction of Worldwide Energy Resources [сайт]. URL: http://power.larc.nasa.gov/.

УДК 621.31

ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В СМАРТ-ГОРОДАХ

И.Н. Мальцева[1], К.А. Ткачук[2]
[1]Канд. техн. наук, доцент, 3724316 «mail.ru
[2]Магистрант, reaktornano@mail.ru
[1] ФГБОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»
[2] Technical University of Munich, Institute of Energy Efficient and Sustainable Design and Building

Климатическая и энергетическая основа на 2030 год содержит три ключевые цели для Европы: сократить выбросы парниковых газов (ПГ) и увеличить долю возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а также повысить энергоэффективность. Эти задачи актуальны для России. Для достижения этих целей и предотвращения энергетического кризиса общая идея заключается в переходе от централизованных к децентрализованным энергетическим системам. Кроме того, секторы энергетики в настоящее время интегрированы с решениями в области информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), особенно «Интернет вещей» (IoT), для эффективного и устойчивого управления энергией. В статье раскрывается роль технологии IoT в существующих и будущих энергосистемах по трем шкалам (м.б. направлениям): квартира, здание и город.

Ключевые слова: энергоэффективность, смарт-город, устойчивое управление энергией, интернет вещей (IoT), экосистема.

В современном обществе одной из основных задач в области энергетических систем является создание устойчивой энергетической инфраструктуры, иными словами, должным образом организованной экологически чистой и дружественной для общества технической системы, которая не только передает энергию от производителя к потребителю, но и также выполняет все экологические и технические требования. Европейский совет (2014) поставил три ключевые цели на 2030 год [1]: сокращение выбросов парниковых газов не менее чем на 40% по сравнению с уровнем 1990 года, доля возобновляемых источников энергии не менее 27% и улучшение энергоэффективности не менее чем на 27%. Решения для будущих энергетических систем должны быть умными, инновационными и, возможно, даже необходимо с нуля переосмысливать текущее состояние энергетической инфраструктуры, которая не может удовлетворить требования нового общества с нулевым уровнем выбросов.

В этом контексте Интернет вещей (IoT) играет важную роль в устойчивом развитии [2]. Эта технология позволяет измерять, отслеживать и собирать данные о потреблении энергии в реальном времени также в больших масштабах с помощью повсеместной вычислительной платформы. Доступность данных в режиме реального времени предлагает несколько возможностей для снижения потребления энергии [3]. Кроме того, энергетический сектор в настоящее время

интегрирован с решениями в области информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), такими как IoT, для эффективного и устойчивого управления энергией. В статее исследуется роль технологии IoT в существующих и будущих энергосистемах по трем шкалам: квартира, здание и уровень города.

Анализируя существующие исследования по данной теме и разрабатывая собственный исследовательский проект в этой области, мы нашли приемлемое решение, которое согласуется с намеченными проблемами или уже применяется в некоторых странах мира [4]. Общая идея заключается в переходе от централизованных энергетических систем (ЦЭС) к децентрализованным энергетическим системам (ДЭС). Основными преимуществами ДЭС являются:

• низкие или нулевые выбросы углерода;

• большая доля возобновляемых источников энергии в местной энергетической структуре;

• снижение затрат на системы передачи;

• повышение эффективности и снижение потерь в сети;

• повышение зависимость от распределенной генерации с участием местных мелких поставщиков.

Внедрение ДЭС на уровне отдельных домов и микрорайонов поможет стабилизировать энергетическую систему города, предоставляя возможность каждому потребителю быть поставщиком для себя. В этом случае ДЭС стоит на голову выше ЦЭС, так как она основана на возобновляемых источниках, установленных почти в каждом доме и подключенных к сети. Кроме того, ДЭС обеспечивает многоходовой поток энергии, который одновременно помогает стабилизировать всю энергетическую систему, поскольку позволяет перераспределять энергию между пользователями в соответствии с потребностями. Во-вторых, снижает нагрузку на основные энергетические системы, поскольку ДЭС построена на микросетях, которые каждый дом подключаются локально, и через эти сети нагрузка перераспределяется с одних систем на другие. Другими словами, с помощью ДЭС мы создаем «энергетическое облако» по всей территории, району или городу, плотность которого зависит от потребности в энергии, и есть много разных систем, как передавать необходимую энергию к потребителю.

Литература

1. European Council. 23-24 October 2014. Conclusions.

2. Smith I.G. The Internet of Things: New Horizons. European Communities, 2015. –p. 48. ISBN 978-0-9553707-9-3

3. Mahapatra S. and Dasappa S. Rural electrification: Optimising the choice between decentralised renewable energy sources and grid extension / Energy for Sustainable Development. – 2012. – Vol. 16. – No. 2. – pp. 146–154.

4. Jo.Williams The deployment of decentralised energy systems as part of the housing growth programme in the UK / Energy Policy. – 2010. – Vol. 38. – No. 12. – pp. 7604–7613.

УДК 538.956, 539.26

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ТИТАНАТА СТРОНЦИЯ

Е.В. Иевлева[1], Л.Н. Коротков[2], Н.А. Толстых[3], А.И. Бочаров[4]
[1]Магистрант, elenaz.86@mail.ru
[2]Д-р физ.-мат. наук, профессор, l_korotkov@mail.ru
[3] Канд. физ.-мат. наук, mad−nik@bk.ru
[4] Ведущий инженер, lekha.bocharoff@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Синтезирован наноструктурирлванный керамический материал на основе титаната стронция. Изучена ее кристаллическая структура и диэлектрические свойства. Полученные результаты обсуждаются.

Ключевые слова: наноструктурированный титанат стронция, диэлектрические свойства.

Диэлектрические материалы широко используются в различных областях техники. Одно из перспективных направлений их применения - устройства для накопления энергии [1]. Такие устройства представляют собой электрические конденсаторы, отличающиеся большой емкостью, высоким рабочим напряжением и малыми токами утечки. Все их эксплуатационные характеристики непосредственно связаны со свойствами диэлектрика, применяемого в конденсаторах этого типа.

В настоящее время в качестве диэлектрического материала наиболее часто используют сложные оксиды со структурой перовскита, приготовленные в виде керамик. Их достоинством являются высокая диэлектрическая проницаемость, низкая электропроводность и высокая технологичность.

Как правило, размеры кристаллитов, образующих кристаллический материал, составляют несколько микрон [2]. Вместе с тем, можно ожидать, что уменьшение размеров зерен приведет к заметному изменению диэлектрических свойств материала.

Целью данной работы – анализ влияния размеров кристаллитов на диэлектрические свойства модельного параэлектрика – титаната стронция ($SrTiO_3$) [1].

Материал для экспериментов был синтезирован по обычной двухстадийной керамической технологии. Синтезированный $SrTiO_3$ тщательно перемалывали в планетарной мельнице до тех пор, пока средние размеры частиц не уменьшились до 100 – 400 нм.

Ренгенофазный анализ, выполненный с использованием рентгеновского дифрактометра Bruker D2 Phaser ($Cu_{K\alpha 1}$ - излучение) показал образование структуры, характерной для кристаллического $SrTiO_3$. Спекание керамических образцов в форме дисков диаметром 10 и толщиной 1 мм проводили при температуре 110 °С в течении 90 мин. Затем на поверхности образцов путем вжигания серебряной пасты наносили электроды.

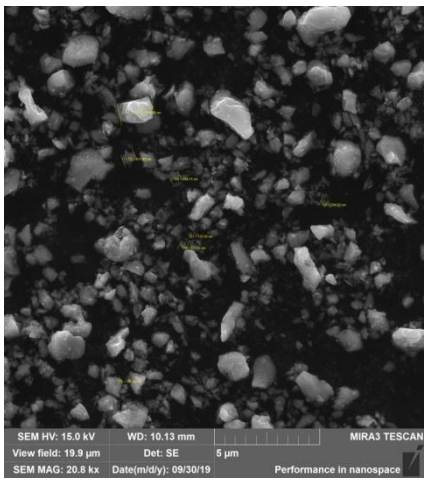


Рис. 1. Микрофотография образцов синтезированного $SrTiO_3$

Для измерения диэлектрической проницаемости ε образцы помещали в криостат, где температура изменялась от 10 до 300 К. Измерения ε осуществляли в ходе нагрева с использованием измерителя иммитанса Е7-20 на частотах 20 Гц – 1 МГц.

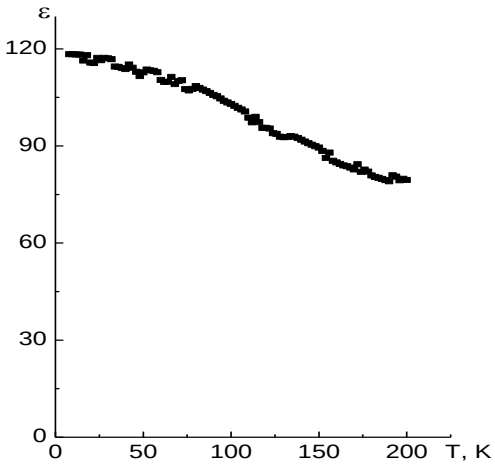


Рис. 2. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости ε

Сравнение диэлектрической проницаемости синтезированного материала и «объемной» керамики того же химического состава показало, что наноструктурированный $SrTiO_3$ обладает меньшим значением диэлектрической проницаемости и более высокой ее температурной стабильностью.

Литература

1. H. Späth, K.- P. Becker. Energy storage by capacitors. European Transactions on Electrical Power, Volume 12, Issue 3, May/June 2002, p. 211-216. doi:10.1002/etep.4450120307.

2. Иона Ф., Ширане Д. Сегнетоэлектрические кристаллы. М.: Мир, 1965. − 556 с.

УДК 621.048.7

ДОВОДКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН КОМБИНИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ

Д. Е. Крохин[1], Е. В. Смоленцев[2], А. Ю. Дейнега[3]
[1]Аспирант гр. аТМ-17, krochin.1993@mail.ru
[2] Д-р техн. наук, профессор, smolentsev.rabota@gmail.com
[3] Магистрант гр. мТМ-181, smolentsev.rabota@gmail.com
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Работа посвящена технологии чистовой обработки сопрягаемых деталей машин, применяющихся в запорной арматуре в различных отраслях машиностроения. Рассматриваемый авторами метод получения высокоточных поверхностей без использования абразивов позволяет достичь снижения трудоемкости при обеспечении заданного ресурса деталей за счет использования комбинированных методов обработки с наложением электромагнитных полей.

Ключевые слова: безабразивная доводка, комбинированная обработка, электромагнитное поле.

Практически повсеместно в машиностроении изготавливаются и используются запорные устройства, предназначенные для регулировки потоков жидкостных и газовых сред. Наиболее распространенными из них являются краны, клапаны, задвижки. Особенностями таких изделий в авиакосмическом и нефтехимическом машиностроении являются особые повышенные требования, обусловленные спецификой их эксплуатации. К ним можно отнести, например, высокое давление среды, устойчивость к агрессивным, пожаро- и взрывоопасным средам, утечки которых недопустимы для соблюдения техники безопасности и экологического законодательства. Конструкция таких изделий, как правило, предполагает высокие требования по точности и шероховатости, особенно в местах сопряжения деталей, высокую прочность на случай ударных импульсных воздействий протекающих в них сред. Для обеспечения вышеуказанных характеристик наиболее часто используют чистовую абразивную обработку, результатом которой может стать эффект шаржирования поверхностей изделий, что негативно отразится на ресурсных и эксплуатационных показателях сопрягаемых поверхностей. При этом очевидно, что механическая отделочная обработка без применения абразивов крайне затруднительна и трудоемка. Авторами статьи предлагается для устранения негативного эффекта шаржирования использовать комбинированные методы обработки с наложением электромагнитных полей [1].

На основании актуальности проблемы для отечественного машиностроения, авторами была поставлена цель- создать технологию безабразивной доводки деталей машин за счет разработки модели, позволяющей подбирать или рассчитывать режимы изготовления беззазорных сопрягаемых деталей запорных устройств, используемых в различных отраслях.

Для того чтобы достичь поставленной цели, необходимо было решить следующие задачи:

1. Математически описать зависимости качества поверхностного слоя и режимов обработки комбинированными методами при наложении электромагнитных полей

2. Создать физическую модель процесса удаления неровностей различного вида и величины на контактирующих поверхностях обрабатываемых деталей и затем разработать метод определения и выбора режимов, позволяющих достичь заданные в конструкции эксплуатационные требования.

3. Спроектировать типовые технологические процессы для конкретных, наиболее распространенных материалов и конструкций изделий запорной арматуры в нефтегазовой и аэрокосмической отраслях.

4. Спроектировать и реализовать конструкции средств технологического оснащения, которые бы позволили реализовать предлагаемую технологию, в том числе и в условиях серийного производства.

В ходе проведенных исследований было установлено, что запорные устройства можно изготавливать с чистовыми операциями без применения абразивов за счет поэтапного удаления припуска на микро и макроуровнях комбинированной обработкой с наложением электромагнитного поля [2].

Реализация рассматриваемой технологии начинается с комбинации воздействий от электроэрозионного и электрохимического процессов. За счет них удается достичь снижения макро- и микронеровностей, при этом электрохимическое воздействие преобладает. На данном этапе детали обрабатываются одновременно.

Следующим этапом выполняется процесс притирки. На контактных поверхностях сопрягаемых деталей имеются микролунки, которые будут выравниваться за счет воздействия серии разрядов и анодного растворения выступов.

В результате проведенных исследований были разработаны новые запатентованные способ и устройства. Это дало возможность реализовать безабразивную доводочную операцию сопрягаемых поверхностей деталей из металлических материалов, обработка которых механическими методами затруднительна. В результате стало возможно получить качественные высокоресурсные беззазорные запорные изделия при снижении трудоемкости на доводочную операцию до 5 раз и подготовки производства до 2 раз.

Литература

1. Состояние и перспективы развития комбинированных методов обработки / Смоленцев В.П., Смоленцев Е.В. // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. 2017. № 2 (41). С. 5-9.

2. Формирование химико-механических покрытий для опорных поверхностей сопрягаемых деталей / Иванов В.В., Бабичев А.П., Смоленцев В.П., Кондратьев М.В. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2017. № 9 (153). С. 427-430.

УДК 621.382

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КОНДЕНСАТОРНЫХ СТРУКТУР

С.А. Акулинин[1]
[1] Д-р техн. наук, профессор, aculinin@bk.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе представлены результаты разработки измерительного комплекса для исследования электрической прочности конденсаторных структур. Методика основана на измерении самозалечивающихся микропробоев. Измерительный комплекс обеспечивает измерение напряжения микропробоя, накопление и обработку результатов измерений.

Ключевые слова: конденсаторная структура, самозалечивающийся микропробой, блок формирования линейного напряжения, микроконтроллер.

Плотность энергии в конденсаторах со структурой металл-диэлектрик-металл (МДМ) может быть значительно увеличена, если расстояние между электродами уменьшится до нанометрической шкалы. Разрушение диэлектрического материала в сильных электрических полях значительно ограничивает применимость тонкопленочных конденсаторов для накопления энергии. В ряде работ показано[1-3], что изолирующие свойства тонких пленок могут восстанавливаться после разрушения. Восстановление наблюдалось в том числе в образцах с диэлектрической толщиной от 4 до 9 нм [2]. Очевидно, что исследование самозалечивающихся микропробоев представляется актуальным. На рис. 1 представлен измерительный комплекс.

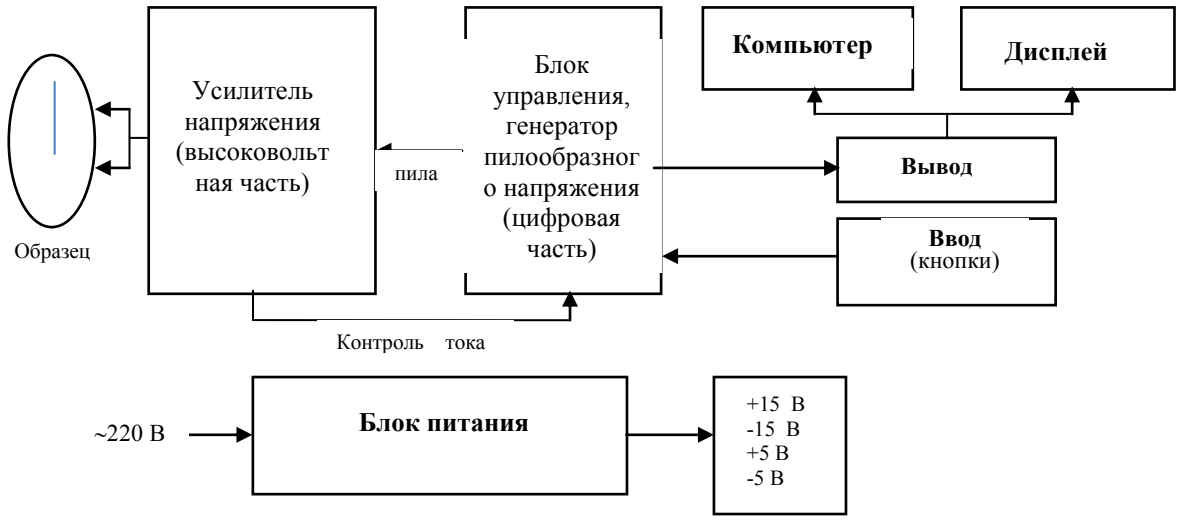


Рис. 1. Структурная схема установки

Комплекс позволяет исследовать структуры на электрическую прочность, накапливать информацию по амплитудам пробивных напряжений и проводить статистическую обработку результатов.

Особенностью установки является принцип формирования пилообразного напряжения на основе ШИМ, отличающий от разработки [3]. После старта, микроконтроллер постепенно уменьшает скважность ШИМ-сигнала, который подается на интегрирующую цепочку и каскад из повторителя и инвертирующего усилителя. Сигнал от операционного усилителя усиливается на мощном высоковольтном биполярном транзисторе. Тем самым достигается плавная регулировка напряжения от 60 до 380 В. Ток через структуру контролируется падением напряжения на шунте, которое считывается аналого-цифровым преобразователем в микроконтроллере. Для защиты АЦП используется супрессор. На рис. 2 представлена блок схема алгоритма работы.

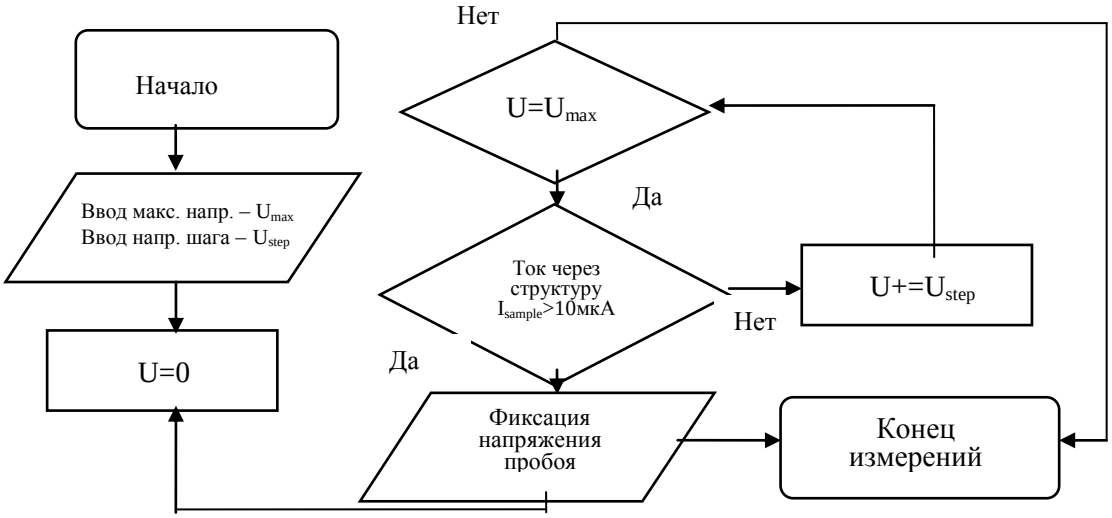


Рис. 2. Блок схема алгоритма работы установки

Считается, что при токе большем, чем 10 мкА произошел пробой диэлектрика. Напряжение на структуре при пробое сбрасывается в ноль.

Код программы для микроконтроллера написан на языке Си. Для случая соединения с компьютером через USB/UART была написана программа на Go для вывода графиков.

Литература

1. С.А. Акулинин Исследование релаксационных процессов и механизма электропроводности в структурах металл-диэлектрик-металл. Диссертация на соискание ученой степени к.ф-м.н.— Воронеж. 1968.

2. A. Belkin, A. Bezryadin, L. Hendren, A. Hubler // Recovery of Alumina Nanocapacitors after High Voltage Breakdown Scientific Reports, volume 7, Article number: 932 (2017).

3. С.А. Акулинин, С.А. Минаков / Модернизация установки для измерения электрических пленок // Твердотельная электроника, микроэлектроника и наноэлектроника, сб. науч. тр. Воронеж ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет, 2015. вып. 15. с.163-167.

УДК 620.92:662.997:697.3

ИНТЕГРАЦИЯ ГЕЛИОУСТАНОВОК В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Д.М. Чудинов[1], А.И. Колосов[2], Т.В. Щукина[3], А.П. Зверков[4]
[1]Канд. техн. наук, доцент, dmch_@mail.ru
[2] Канд. техн. наук, проректор по учебной работе, kolossn@yandex.ru
[3] Канд. техн. наук, доцент, petrikeeva.nat@yandex.ru
[4]Доцент, kot1951.51@mail.ru
[1,2,3] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
[4] Филиал ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» в городе Борисоглебске

В материале показаны результаты моделирования функционирования гелиоустановок при их интеграции в традиционные энергетические системы многоквартирных жилых домов. Отражены техническо-экономические показатели проектируемых и модернизируемых инженерных тепловых коммуникаций в условиях г. Воронежа.

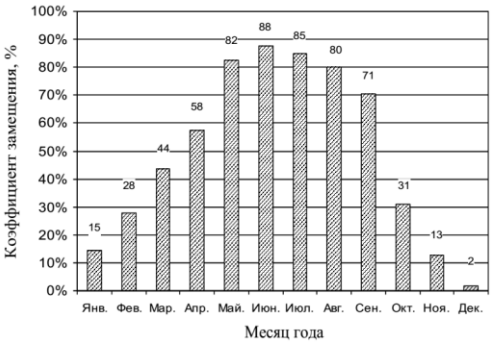
Ключевые слова: моделирование работы гелиоустановки, коэффициент замещения, рентабельность.

Сегодня при проектировании, строительстве, эксплуатации и реконструкции морально и физически устаревших многоквартирных жилых зданий кроме вопроса обеспечения комфортного микроклимата уделяется внимание энергоэффективности. Сокращение энергозатрат может быть достигнуто использованием альтернативных источников энергии.

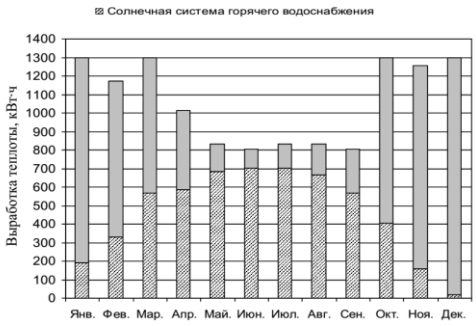
Для удовлетворения нужд населения застройщик разрабатывает квартиры больших площадей, на последних этажах в несколько уровней. Это приводит к существенному возрастанию эксплуатационных затрат в отопительный период, часто сопоставимых с уровнем доходов потребителей. Улучшить ситуацию возможно через интеграцию гелиоустановок в традиционные энергетические системы для частичного покрытия нужд теплоснабжения.

В данной работе отражены результаты моделирования функционирования гелиосистемы многоквартирного жилого дома в условиях г. Воронежа (см. рисунок). Определены показатели установки, отражающие ее конкурентоспособные свойства, с учетом результатов ранее проведенных нами исследований в этой области [1-6].

В условиях г. Воронежа рентабельным является применение солнечных систем горячего водоснабжения. Значение коэффициента замещения в летние месяцы варьируется в пределах от 80 до 88 %, в зимние от 2 до 28 %. Масштабное внедрение подобных энергетических систем сдерживается экономическими факторами (относительно низкая стоимость органического топлива, отсутствие льготного кредитования, высокие начальные капитальные вложения), низкой информированностью населения.



а)



б)

Уровень ежемесячной генерации теплоты гелиоустановкой в климатических условиях г. Воронежа: а) коэффициент замещения; б) выработка теплоты гелиоустановкой и доводчиком

Увеличение конкурентоспособных свойств гелиосистем может быть достигнуто при общем взаимодействии государства, разработчиков и производителей. Сегодня подобные объекты можно рассматривать как экспериментальные. Очевидно, что рост стоимости теплоты приведет к снижению срока окупаемости гелиоустановок.

Литература

1. Чудинов, Д.М. Влияние параметров оборудования гелиоустановок на эффективность альтернативного теплоснабжения зданий / Д.М. Чудинов, Т.В. Щукина, О.А. Сотникова // Промышленная энергетика. – 2008. - № 9. - С. 44-46.

2. Чудинов, Д.М. Обеспечение необходимого уровня энергоактивности солнечных систем, проектируемых для регионов Российской Федерации / Д.М. Чудинов, О.А. Сотникова, Т.В. Щукина // Энергосбережение. – 2009. - № 3. – С. 74-76.

3. Сотникова, О.А. Экономическое обоснование и перспективы развития солнечного теплоснабжения / О.А. Сотникова, Д.М. Чудинов, Т.В. Щукина // Промышленная энергетика. – 2008. - № 6. - С. 50-52.

4. Чудинов, Д.М. Энергосберегающие мероприятия в многоквартирных жилых домах / Д.М.Чудинов, Т.В. Щукина, Н.А. Петрикеева, Н.М. Попова //Высокие технологии в строительном комплексе. - 2019. - № 1. - С. 32-36.

5. Сотникова, О.А. Реконструкция инженерного оборудования жилых зданий / О.А.Сотникова., Д.М. Чудинов, Н.А. Петрикеева, Н.М. Попова // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения. - 2018. - № 1. - С. 216-223.

6. Kolosov, A. Design of solar systems in high-rise buildings / A. Kolosov, D. Chudinov, S. Yaremenko // В сборнике: E3S Web of Conferences D. Safarik, Y. Tabunschikov and V. Murgul (Eds.). 2018. С. 02055.

УДК 05.13.00

ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СЕТЕЙ И ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.В. Сафронов[1], В.Ф. Барабанов[2], А.М. Нужный[3], Н.И. Гребенникова[4]
[1]Канд. техн. наук, доцент, vitolik@bk.ru
[2] Д-р техн. наук, профессор, bvf@list.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, nam14@mail.ru
[4]Канд. техн. наук, доцент, G-Naty@yandex.ru
[1,2,3,4] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе с учетом концепции бесшовной интеграции приведена структурно-функциональная схема интеграции информационных систем. Предложенная схема уточнена для типовых систем управления жизненным циклом сетей и электросетевого оборудования в информационных системах с применением преимущественно отечественных программных продуктов.

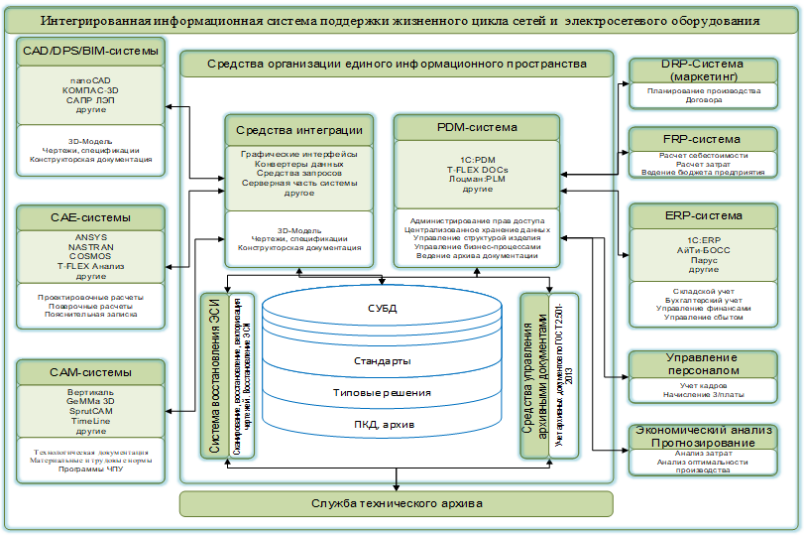
Ключевые слова: бесшовная интеграция, жизненный цикл сетей, интеграция информационных систем.

Анализ существующей практики внедрения систем цифрового проектирования сетей свидетельствует о системном наличии ряда проблем, характерных в целом для отечественных проектирующих предприятий. Это обусловлено тем, что формирование парка программных продуктов, используемых для автоматизации процесса проектирования, выполнялось в период времени, когда обеспечение системной интеграции проектных данных не представлялось возможным технически и не предполагалось. В процессе проектирования использовались средства автоматизации проектирования от различных производителей, преимущественно иностранного происхождения [1]. В этой связи существующая и создаваемая вновь электронная проектная документация не является строго стандартизированной, представлена в различных, зачастую не интегрируемых форматах. Современный подход предполагает обеспечение информационной поддержки проектируемого изделия на всех этапах жизненного цикла.

В настоящее время на российском рынке программного обеспечения появилось поколение отечественных программных продуктов, соответствующих всем современным требованиям и обеспечивающим подготовку проектной документации в строгом соответствии отраслевым стандартам. Эти факторы свидетельствуют о необходимости создании интегрированных информационных систем поддержки жизненного цикла сетей и электросетевого оборудования, ориентированных на приоритетное использование отечественных программных продуктов.

С учетом анализа сформирована структура интегрированной информационной системы поддержки жизненного цикла сетей и электросетевого

оборудования, с приоритетным использованием отечественных программных продуктов, обеспечивающая наиболее эффективное решение следующих задач: увеличение эффективности информационной структуры предприятия; интеграция компонентов информационной структуры предприятия в единое информационное пространство; обеспечение использования единого стандарта данных при проектировании сетей и оборудования; ведение электронных каталогов и баз данных типовых технических решений; обеспечение централизованного хранения, обработки и управления данными всех компонентов электронной структуры предприятия; обеспечение возможности эффективного использования архивной проектно-конструкторской документации; осуществление комплексной поддержки жизненного цикла изделия.



Структура интегрированной информационной системы

Предлагаемая структура интегрированной информационной системы базируется на использовании модели бесшовной интеграции крупных программных комплексов в интегрированных системах управления жизненным циклом, как описано в [2], что обеспечивает сохранение функциональной целостности клиент-серверной модели программных систем. Программное обеспечение реализуется в виде серии, специализированных платформо-независимых программных межмодульных интерфейсов.

Литература

1. Сафронов В.В. Интеграционные решения при построение корпоративных информационных систем [Текст] / В.В. Сафронов, С.Л. Подвальный, В.Ф. Барабанов, А.М. Нужный //«Известия Самарского научного центра РАН». - 2016. - т.18. - № 4(3). - с. 646-654.

2. Safronov V. Conceptual Approaches to Seamless Integration of Enterprise Information Systems [Текст] / V. Safronov, V.Barabanov, S. Podvalny, A. Povalyaev, A. Achkasov // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2019. -№ 60. - с. 309-322.

УДК 004.89.032.26

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ КАНАЛОВ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

С.Л. Подвальный[1], М.А. Лихотин[2]
[1]Д-р техн. наук, профессор, spodvalny@yandex.ru
[2]Аспирант, maximus-lihotin@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе приводятся результаты и проблемы моделирования телекоммуникационного усилителя мощности. Инструментом исследования является математический аппарат искусственных нейронных сетей. В работе рассматриваются различные подходы обработки имеющейся целевой информации для настройки весовых коэффициентов модели.

Ключевые слова: модель, обучение, ошибка, усилитель мощности, нейронная сеть.

Направления исследований в области интеллектуальной идентификации управления энергетическими объектами довольно обширны. В частности, одним из популярных методов управления - применение искусственных нейронных сетей. Они широко распространены в медицине, экономике, технике и т.д., а также крупными и известными корпорациями и компаниями, такими как Google, Microsoft, Yandex и многими другими. Актуальность использования такого математического аппарата будет ещё довольно долго, ведь предел применения нейронных сетей очень разнообразный. Так и в представленной работе инструментом для исследования была выбрана именно такая математическая модель.

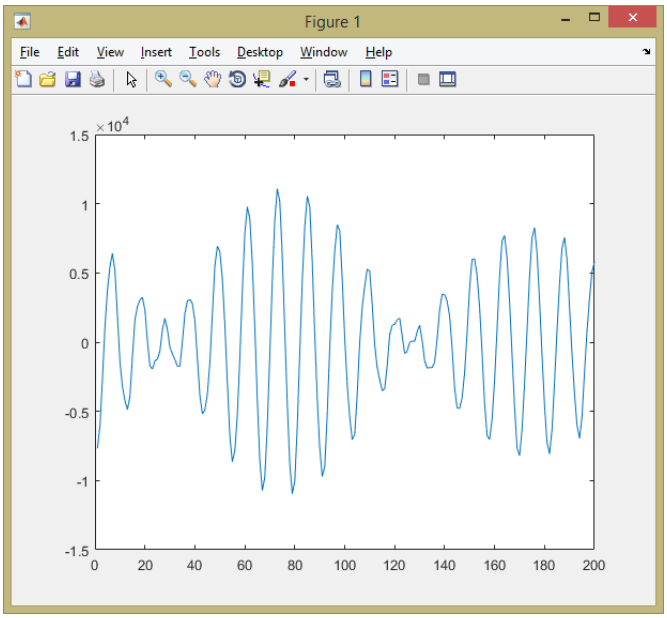
В данной работе задача состояла в следующем: пусть на выходе телекоммуникационного канала существуют усилитель мощности, и имеется два массива данных: один из которых подавался на вход в исследуемый объект, а другой был получен на его выходе. Формат этих двух наборов данных был представлен в комплексном виде. Необходимо построить нейронную сеть, которая при подаче эталонной последовательности комплексных чисел на её вход, выдаст на своём выходе набор соответственных данных, отличающихся от эталонных на значение средней квадратической ошибки -40 дБ. Т.к. в радиотехнике принято рассчитывать отношение между целевыми и получаемыми данными в децибелах, а не их разницу. Формула ниже применяется для расчёта ошибок при моделировании.

$$EVM = 10 \cdot log_{10}\left(\frac{\sum_{i=1}^{N}|e_i|^2}{\sum_{i=1}^{N}|x_i|^2}\right)$$

где x – выход эталонной последовательности, e – разница между полученной информацией и x, N – размер рассматриваемой выборки, количество сигналов.

Изначально перед настройкой весовых коэффициентов целевой набор данных обрабатывают. Так как полученная информация представлена в комплексном виде, то её стоит разделить на мнимые и действительные части. И также следует масштабировать полученные наборы данных.

Если детально исследовать обработанную информацию, построив график, то можно заметить, что наиболее зашумлённая часть данных находится в зоне низких значений амплитуд сигнала, что является большой проблемой для нейронных сетей, которым очень сложно обобщать такое поведение.



Пример обучающей выборки

При решении поставленной задачи определяются и подбираются оптимальные параметры для обучения и функционирования нейронной сети. Также для решения проблем в рамках исследования используются различные подходы обработки обучающих данных, например, подстройка весовых коэффициентов по огибающей или спектру сигнала. Рассматривается вариант использования нескольких нейронных сетей для повышения точности моделирования. Также в работе используется адаптивная резонансная теория Гроссберга с целью кластеризации входных пачек данных по уровню похожести [1].

Литература

1. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссермен; Перевод с англ. Ю. А. Зуева, В. А. Точенова; Под ред. А. И. Галушкина. - М. : Мир, 1992. – 236.

УДК 621.313

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПРОГРАММНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОКЛАВНОЙ УСТАНОВКОЙ

Ю.В. Нефедов[1], А.В. Романов [2], В.М. Питолин[3], Д.А. Тонн[4]
[1] Аспирант, nefedowjurij@yandex.ru
[2]Доцент, к.т.н. andr-romanov@narod.ru
[3]Профессор, д.т.н.eayts@yandex.ru
[4]Доцент кафедры, к.т.н., tonnda@yanex.ru
[1-4]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе рассматривается интеллектуальная программно-измерительная система управления автоклавной установкой, ее структуризация, а также интеллектуальная система измерений в целом. Стандартизация и классификация программно-измерительных комплексов.

Ключевые слова: интеллектуально вычислительный комплекс, программно-измерительные системы, стандартизация, классификация, автоклавная установка, интеллектуальный интерфейс.

Рассматривая информационно-измерительную технику, как отдельную среду, можно отметить, что она состоит из разнообразных и конструктивно законченных устройств, предназначенных для измерения, сбора и обработки информации, для исследования сложных процессов и объектов. Интеллектуально вычислительный комплекс – это совокупность программно-управляемых средств и средств воздействия на объект. Интеллектуальным можно назвать практически любое устройство, в состав которого входит микропроцессор. Устройство, выполняющее постоянное взаимодействие с программным комплексом, производящее обмен с базой данных, посредством двухстороннего обмена информацией – можно обозначить, как «интеллектуальное» устройство.

Программно - измерительные системы служат для выполнения функций и задач по контролю и измерению конкретных параметров в реальном времени. Такая система может непрерывно осуществлять сбор и обработку информации, автономно от комплекса управления. Конфигурирование устройств, входящих в такую систему, происходит как автономно, так и в комплексе из центра управления (операторской, диспетчерской).

Построение программно-измерительных комплексов должно быть стандартизировано и отвечать общим критериям [1]:

- универсальность, возможность интегрирования и подключения к другим системам и оборудованию;
- обеспечение безотказной работы и саморезервирование;
- быстродействие контуров управления процессами измерения;
- многоканальность и многозадачность измерения различных величин;
- централизованное автоматическое управление;

- информативность и доступность для восприятия оператором обработанной информации;

- формализация и представление информации;

- решение задач, связанных с динамическими и нестационарными факторами, влияющими на процесс;

Рассмотрим ряд типовых задач, по которым можно классифицировать интеллектуальную систему измерений (ИнСИ) [2]:

- измерение (сбор информации по контролируемым данным);

- диагностика (процесс выявления отклонений и неисправностей, аномалий);

- слежение (непрерывный процесс мониторинга данных в условиях реального времени);

- планирование (конструирование сценария дальнейших действий);

- обучение (основывается на принципе слежения и статистики);

Если интеллектуальная система измерений имеет математическую, алгоритмическую, программную и инструментальную поддержку в решении поставленных задач, то система будет считаться самостоятельной в принятии решений и делать новые выводы по полученной информации.

В состав информационно-измерительная система (ИИС) автоклавной установки (рассматривая ее структурную схему) входят: объект измерения (ОИ), первичные преобразователи (ПП), аналоговые преобразователи, аналого-цифровые преобразователи (АЦП), цифровые устройства, цифроаналоговые преобразователи (ЦАП), интерфейсные узлы (ИФУ), исполнительные устройства (ИУ), система интерфейсных шин и устройства управления (УУ).

В роли первичных преобразователей, в автоклавной установке выступают индуктивные, емкостные, кондуктометрические (используемые в системе водоподготовки), барометрические, термоэлектрические и измерительные преобразователи (ИП). Электропневматический позиционер (далее – позиционер) предназначен для управления подачей сжатого воздуха к исполнительному устройству таким образом, чтобы обеспечить соответствие между величиной электрического тока на входе позиционера и углом отклонения рычага обратной связи, соединенного с исполнительным устройством. Позиционер применяется для пропорционального управления перемещением исполнительных устройств как с малым линейным ходом клапанов мембранного типа, так и с вращательным движением, например, крановых задвижек трубопроводов. Позиционер относится к ЦАП и АЦП.

Функциональные блоки соединяются посредством интерфейсных шин и узлов с управляющими устройствами, посредством электрических, механических и тепловых датчиков. Устройство управления после получения информации от первичных преобразователей, воздействует на объект исследования посредством команд, переданных на исполнительные устройства.

Интерфейс - система сопряжения между составными подсистемами обработки данных, включающая в себя аппаратные средства, линии связи

(шины), набор соглашений интерфейса логического уровня, который определяет обмен данными и программное обеспечение процесса обмена информацией. Интеллектуальный интерфейс - это не только система общения на основе текстовых сообщений, но и всевозможные системы ввода-вывода численных значений, средств графического отображения.

Интеллектуальный интерфейс имеет структуру, где центральное место занимает база данных, к которой он постоянно обращается и анализирует [3]. Это знания, которые потом преобразуются в выходную информацию с последующим численным или графическим представлением.

Таким образом, интеллектуальная программно - измерительная система позволяет строить самые простые цепи регулирования и измерения программного управления, вести «общение» между оператором и объектом исследования, предотвращать и отслеживать ситуации, которые могут привести к аварии.

Литература

1. Раннев Г.Г. Интеллектуальные средства измерений: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Раннев. - М. Издательский центр «Академия», 2011. - 272 с.

2. Серебряков В. П. Организация интеллектуальных вычислений: курс лекций / В. П. Серебряков. - М.: Станкин, 2005.

3. Основы построения информационно-измерительных систем /Н.А. Виноградова, В. В. Гайдуненко, А. И. Карякин и др.; под ред. В. Г. Свиридова. - М.: Изд-во МЭИ, 2004.

УДК 621.311

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА В НИХ

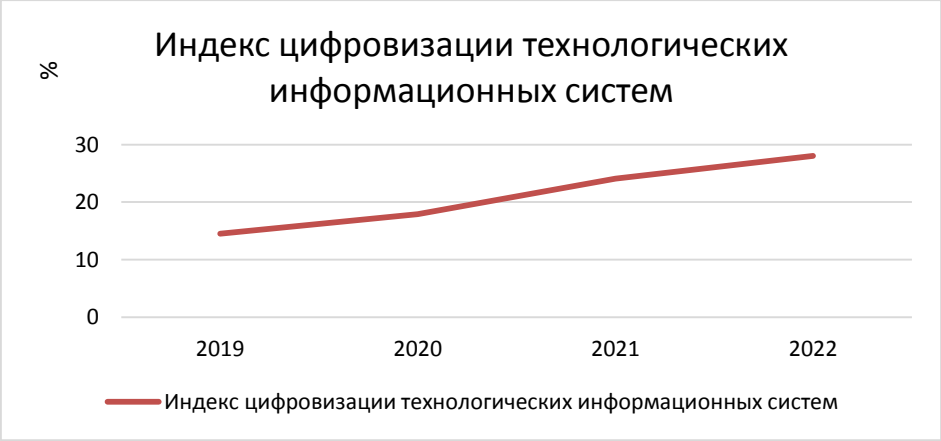
М.О. Григорьева[1], Ю.Н.Зацаринная[2]
[1]Студент, grigoreva.m.o.703@gmail.com
[2]Канд. техн. наук, доцент, waysubbota@gmail.com
[1,2] ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Россия

В работе проведен оценка уровня цифровизации Россетей при помощи индекса цифровизации в настоящее время и его прогнозные значения. Были даны инструменты поддержки и стимулирования просьюмеров, как активных участников интеллектуальных энергетических систем.

Ключевые слова: интеллектуальные энергетические системы, просьюмер, интеллектуальные системы учета, розничный тариф.

Под интеллектуальной энергетической системой понимается электроэнергетическая сеть, состоящая из производителей, потребителей, просьюмеров, способная разумно интегрировать действия всех пользователей, для обеспечения надежного и безопасного обеспечения электроэнергией. Интеллектуальная энергетическая система контролируема, автоматизирована, совместима с существующими системами [1]. Для создания таких систем в российской энергетике необходим ее переход на цифровые технологии. В интеллектуальных энергетических системах появляется новая роль у уже привычных участников – роль просьюмера, преобразующий привычную роль потребителя для создания новых сервисных услуг рынка электроэнергии.

Авторами статьи был рассчитан «Индекс цифровизации» Россетей России, который может рассматриваться как основной показатель эффективности реализации российской стратегии по цифровизации. Расчет текущего и прогнозного индекса цифровизации представлен на рисунке.



Текущий и прогнозные расчетные значения индекса цифровизации Россетей

Рост прогнозных значений свидетельствует о масштабе предстоящей цифровизации.

Однако стратегическая интеграция просьюмеров в систему электроснабжения в настоящее время для России является проблемой. Во-первых, необходима массовая установка интеллектуальных систем учета, для чего и был принят ФЗ № 522 от 27.12.2018 «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в связи с развитием систем учета электрической энергии (мощности) в РФ». Во-вторых, нужно тщательно продумать эффективное тарифообразование для просьюмера. Это позволит получить дополнительную прибыль и скорректировать его потребление, а так же будет способствовать появлению конкурентного рынка розничной энергии (РРЭ) [2]. Авторами статьи предлагается рассчитывать варианты тарифа на электроэнергию для просьюмера на РРЭ по аналогии расчета юридических лиц на оптовом рынке электрической энергии и мощности (ОРЭМ). В таблице представлены характеристики ценовых категорий для потребителей ОРЭМ.

Характеристики ценовых категорий для потребителей

<table>
<tr><th>Ценовая категория</th><th>Учет</th><th>Планирование потребления</th><th>Тариф на передачу</th></tr>
<tr><td>1</td><td>По месяцам</td><td rowspan="4">Отсутствует</td><td rowspan="2">Одноставочное выражение</td></tr>
<tr><td>2</td><td>По зонам суток</td></tr>
<tr><td>3</td><td rowspan="4">По часам</td><td rowspan="2">Двухставочное выражение</td></tr>
<tr><td>4</td></tr>
<tr><td>5</td><td rowspan="2">Необходимо</td><td>Одноставочное выражение</td></tr>
<tr><td>6</td><td>Двухставочное выражение</td></tr>
</table>

В расчете цен для просьюмера не выгодно использовать ценовые категории, по которым предусмотрено самостоятельное планирование объема потребления предприятием (пятая и шестая), потому что невозможно со 100%-ой вероятностью спланировать почасовое потребление на сутки вперед, в результате чего возникают отклонения от заявленного объема, которые необходимо оплатить поставщику энергии.

Однако ввод в эксплуатацию интеллектуальных энергетических систем может помочь в этом вопросе. На основе ежемесячных данных потребитель с относительно ровной нагрузкой способен прогнозировать свое потребление. Таким образом, интеллектуальная энергетическая система позволяет потребителю выбрать выгодную ему ценовую категорию исходя из предыдущих данных.

Литература

1. Sumper A. Micro and Local Power Markets / Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, Inc., [2019] Pp.272.

2. Дронова Ю.В., Краснова А.О. Новая модель розничного рынка электроэнергии: последствия для региональной экономики // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2017. №24. (дата обращения: 14.02.2020).

УДК 536.2

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В ХАОТИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ

С.Л. Подвальный[1], Е.М. Васильев[2]
[1]Д-р техн. наук, профессор, spodvalny@yandex.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, vgtu-aits@yandex.ru
[1,2] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе приводятся результаты численного моделирования и сравнительного исследования эффективности диффузионного, конвективного и турбулентного режимов теплообмена в слое жидкости. Получены количественные характеристики указанных режимов теплообмена, подтверждающие ожидаемые соотношения показателей эффективности этих процессов.

Ключевые слова: интенсификация теплообмена, хаотическое движение жидкости.

Задача повышения эффективности теплообмена традиционно решалась путём конструктивного совершенствования теплообменных аппаратов, в частности, путём создания в них искусственной турбулентности [1]. В то же время известно, что эксплуатационные характеристики этих аппаратов можно улучшить в результате естественного возникновения хаотических режимов движения жидкости. Такие режимы в слое жидкости возникают, если в этом слое удаётся обеспечить поддержание достаточно высоких значений градиентов температуры [2,3].

В работе излагаются результаты численного моделирования и количественного сравнения характеристик трёх типовых режимов теплообмена: диффузионного, конвективного и турбулентного на примере реактора с горизонтальным слоем жидкости со следующими физическими параметрами: подвод тепла осуществляется снизу от внутреннего источника с плотностью потока q, высота слоя $h = 5\cdot10^{-2}$ м. Отдача тепла происходит через стенку с коэффициентами теплоотдачи $\alpha = 500$ Вт/(м^2·К) и теплопроводности $\lambda_{ст}$= 100 Вт/(м·К). Температура внешней среды $T_{вн}$= 20 °С.

Для моделирования процесса теплообмена были использованы уравнения Навье-Стокса:

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v}\nabla)\mathbf{v} = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \nu\nabla^2\mathbf{v} + g; \tag{1}$$

условие непрерывности потока в жидкости:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho\mathbf{v}) = 0; \tag{2}$$

уравнение для переноса тепла:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \nabla(T\mathbf{v}) = k\nabla^2 T, \tag{3}$$

в которых $p(x,y,z,t)$, $\rho(x,y,z,t)$, $T(x,y,z,t)$, $\mathbf{v}(x,y,z,t)$ – поля давления в слое жидкости, её плотности, температуры и вектора скорости; g = 9,8 м/с^2;

k – коэффициент температуропроводности, $k = 5{,}8 \cdot 10^{-8}$ м^2/с; ν – кинематическая вязкость, $\nu = 2{,}6 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

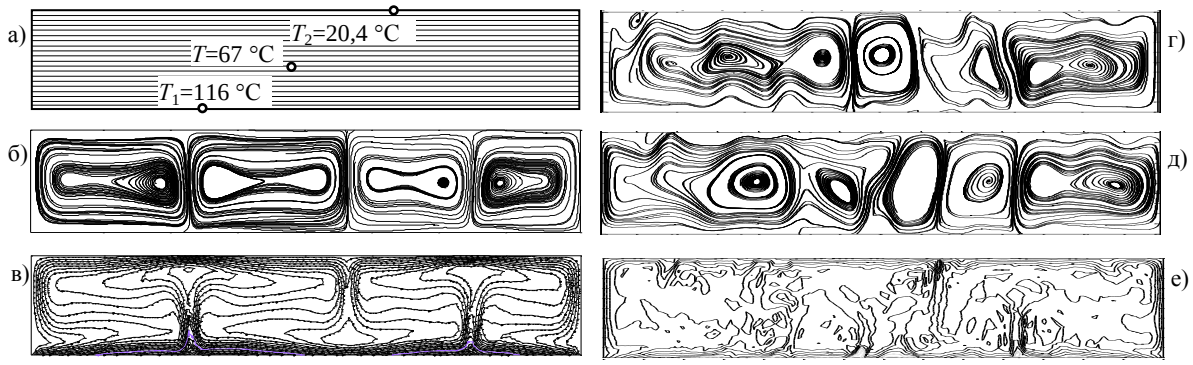
Использовалась взаимосвязь плотности с температурой:

$$\rho = \rho_0 - \rho_0 \gamma (T - T_0), \qquad (4)$$

γ – коэффициент объёмного расширения, $\gamma = 7{,}3 \cdot 10^{-4}$ 1/К; $T_0 = 100$ °С, $\rho_0 = 832$ кг/м^3.

Граничные условия: в режиме диффузионного теплообмена боковые стенки термоизолированные; в режимах с подвижной жидкостью – изотермические. Поверхности стенок принимались смачиваемыми с нулевыми компонентами скорости жидкости в поверхностном слое.

Исследование проводилось в среде Comsol Multiphysics. Результаты моделирования показаны на рисунке и приведены в таблице.



Распределение температурного поля (а,в,е) и линии тока жидкости в различных режимах теплообмена: а) режим диффузии; б, в) конвективный режим; г, д, е) режим хаотического движения в разные моменты времени

Коэффициент теплопередачи r в различных режимах теплообмена

Режим теплообмена	T_1, °С	T_2, °С	q, Вт/м^2	r, Вт/(м^2·К)
Диффузия	116	20,4	200	2,06
Конвекция	35	20,4	200	13,49
Хаотический	150	24	2000	15,73

Полученные результаты соответствуют физическому содержанию рассматриваемых режимов и подтверждают ожидаемые соотношения показателей эффективности теплообмена.

Литература

1. Кузма-Китча, Ю.А. Методы интенсификации теплообмена / Ю.А. Кузма-Китча. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. - 112 с.

2. Ланда, П.С. Автоколебания в распределенных системах / П.С. Ланда. – М.: Наука, 1983. – 320 с.

3. Podvalny, S.L., Vasiljev, E.M. Multi-altemativity information technologies in thermal processes control systems // 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies, AICT 2017 – Proceedings, 2019, 8687074.

УДК 697.34

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАРТ КОХОНЕНА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

В.Н. Мелькумов[1], С.Н. Кузнецов[2], Г.А. Кузнецова[3]
[1] Д-р техн. наук, профессор, melkumov@vgasu.vrn.ru
[2] Д-р техн. наук, профессор, netkuzpr@mail.ru
[3] Канд. техн. наук, доцент, ga_kuzn@mail.ru
[1,2,3] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе для оценки состояния и планирования технического обслуживания тепловых сетей предлагается использовать самоорганизующиеся карты Кохонена. Использование карт Кохонена совместно с прогнозированием параметров потоков отказов позволяет создать эффективный план ремонта тепловых сетей.

Ключевые слова: тепловые сети, прогноз состояния, ремонт, кластеризация, карта Кохонена.

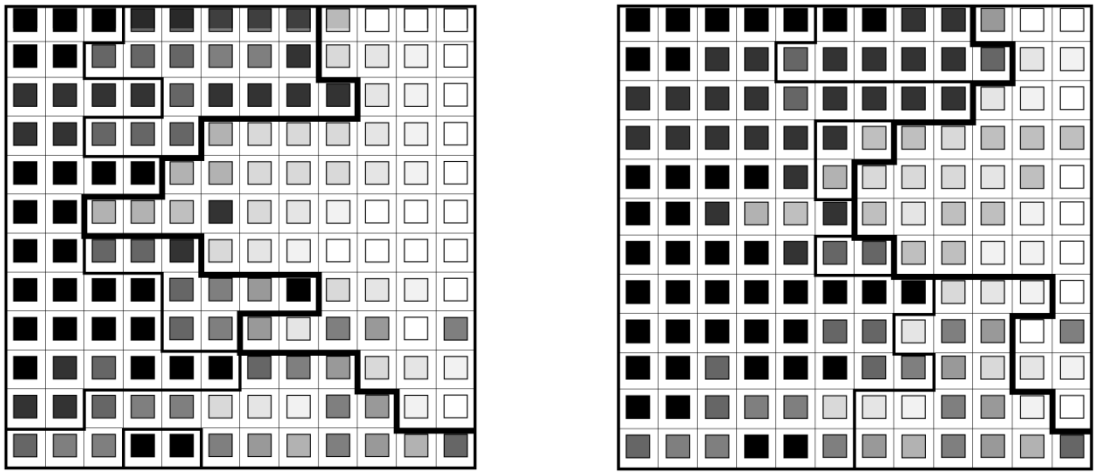
Для оценки состояния и планирования технического обслуживания тепловых сетей предлагается использовать самоорганизующиеся карты (SOM, Self Organizing Maps) Кохонена. До настоящего времени планирование ремонта тепловых сетей выполняется по ремонтным нормативам или с учетом амортизационного износа. Подобный подход отличается крайне низкой неэффективностью. Гораздо эффективнее является подход с использованием данных о фактическом состоянии элементов тепловых сетей, объединенных в кластеры. Для изучения надежности элементов тепловых сетей и интенсивностей потоков отказов необходимо элементы тепловых сетей сгруппировать в однородные группы - кластеры по характерным признакам [1, 3, 5, 6].

В качестве основы для планирования ремонта тепловых сетей используется карта Кохонена для элементов тепловых сетей с разбивкой кластеров по показателям надежности, рис. 1 а).

Для повышения эффективности планирования ремонта тепловых сетей важно иметь как данные об их фактическом состоянии, так и прогноз их состояния в будущем [2, 4].

Прогнозирование состояния тепловых сетей выполняется по параметру потока отказов методом проинтегрированного скользящего среднего. При помощи прогноза параметров потоков отказов можно получить прогноз изменения состояния кластеров, рис. 1 б).

Сравнение рис. 1 а) и рис. 1 б) показывает, как и с какой скоростью происходит смещение границ надежности кластеров за счет износа и старения тепловых сетей. Ремонт или перекладка теплосети снижает параметр потока отказов кластера и повышает надежность системы, что отражается на карте Кохонена для элементов трубопроводов тепловых сетей.



а) б)

Рис. 1. Карта Кохонена для элементов трубопроводов тепловых сетей:
▬ - граница кластеров с параметром потока отказов 0,7 1/(км·год); ▬ - граница кластеров с параметром потока отказов 0,3 1/(км·год): а) текущее состояние, б) состояние через 5 лет без учета ремонтных работ

Разработанный подход позволяет исследовать текущее состояние тепловых сетей, спрогнозировать состояние тепловых сетей в будущем и оценить влияние ремонта на состояние тепловых сетей. Это является хорошей основой для планирования технического обслуживания тепловых сетей.

Литература

1. Мелькумов В.Н. Исследование работы элементов пилотного устройства [Текст]/ В.Н. Мелькумов, И.Г. Лачугин, С.Н. Кузнецов// Известия высших учебных заведений. Строительство. -2002. - № 1-2 (517-518). - С. 135-141.
2. Мелькумов В.Н. Математическое моделирование полей концентраций вредных веществ при производстве строительных материалов [Текст]/В.Н. Мелькумов, С.Н. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. - 2013. -№ 1 (29). -С. 99-107.
3. Петрикеева Н.А. Экологический эффект при полном сгорании топлива в котельных установках [Текст]/ Н.А. Петрикеева, С.Н. Кузнецов//Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. -2013. -№ 1 (29). -С. 108-113.
4. Кузнецов С.Н. Составление карт влияющих факторов при определении оптимальной трассы автомобильной дороги [Текст] / С.Н. Кузнецов, Г.А. Кузнецова, А.Г. Мкртчян // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2014. - № 4-3 (17). - С. 202-206.
5. Кузнецова Г.А. Технологическая надежность газового оборудования [Текст] / Г.А. Кузнецова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2016. № 1 (22). С. 25-29.

УДК 544.65; 620.98

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МАТРИЦЫ МЕТАЛЛГИДРИДНОГО НАКОПИТЕЛЯ ВОДОРОДА

Ю.Н. Шалимов [1], В.И. Кудряш [2], Д.Л. Шалимов[3]
[1]Д-р техн. наук, профессор, shalimov_yn@mail.ru
[2]Канд. физ.-мат. наук, доцент, kudrjash_vi@mail.ru
[3]Инженер
[1,2] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации», г. Воронеж,
[3]АО «Научное конструкторско-технологическое бюро «Феррит»

В работе рассмотрены вопросы формирования структур с определенной степенью дефектов, являющихся инициаторами реакции взаимодействия металла с водородом. Использование метода внутреннего трения позволяет оценить эффекты аккумулирования водорода в условиях объемного 3D-хранения.

Ключевые слова: хранение водорода, металлгидрид, внутреннее трение.

Формирование металлической матрицы для аккумулирования водорода в виде металлгидридов представляет собой совокупность операций электрохимического типа и целого ряда электрофизических способов обработки структуры металлов. Это связано с получением матрицы обеспечивающей возможность высокой равнодоступности водных и неводных растворов электролита к поверхности электрода, как при образовании поверхности с высокой степенью ее развития, так и для обеспечения возможности разряда иона водорода при его восстановлении с образованием металлгидрида общей структуры Me_mH_n.

Дополнительными условиями к формируемой в матрице структуре являются следующие требования: формирование каналов проводимости газообразного водорода с нормированными в определенных пределах проходных сечений каналов проводимостей.

Примерным аналогом такой системы может служить поролоновая губка в которой отсутствуют закрытые поры. В этом случае система способна обеспечить редукционный эффект необходимый для возможности подачи топлива (водорода) к потребителю (турбина, двигатель), исключающей взрывной характер процесса экстракции. Сложность решаемой задачи обусловлена тем, что процесс протекает внутри атомной структуры металла с ограниченным размером диаметра канала.

Но вопрос оценки эффективности работы системы редуцирования скорости истечения экстрагируемого водорода фактически необходимо определить в ходе формирования непосредственно пористой системы (геометрические размеры каналов). И первое такое технологическое решение

было получено еще в 70-е годы XX века в лаборатории ультраакустики ВПИ. Принцип измерения сводится к измерению емкости двойного слоя. Эти величины очень большого значения в сравнении с условным 36 мкФ/см^2. Существовавший лабораторный метод не мог удовлетворить требованиям производства, так как не позволял использовать этот параметр для непосредственного управления технологическим процессом.

Попытка прямого использования температурной зависимости внутреннего трения в зоне электрохимической реакции тоже не дала желательного результата. И главная причина такого положения состояла в том, что к тому времени еще не существовало достоверного механизма формирования поры в структуре металлического алюминия. И фактически не было дано объяснения основной проблеме анодной обработке алюминия в водных растворах электролитов.

Использование уравнения Нернста-Петерса для расчета равновесного потенциала реакции мы показали, что образование кислорода на аноде в результате его окисления вполне возможно, что в эксперименте подтверждено нами. Но использование формулы Нернста-Петерса само по себе требует определения концентрации окисленной и восстановленной формы воды, а это возможно выполнить лишь в эксперименте полного интегрального определения концентрации комплексного оксоаниона алюминия. Но в таком аспекте мы видим необходимость использования именно метода внутреннего трения, а именно его возможности оценки содержания (или наличия) в атомной структуре дефектов различной природы. Ведь именно их наличие или отсутствие определяют склонность атомной структуры к поглощению водорода. Водородные связи с большинством атомов металлов образуют связи с малым значением энергии. И поэтому перспективны к использованию в системах аккумулирования водорода, как энергетически и экологически наиболее перспективного топлива.

Литература

1. Шалимов Ю.Н., Мандрыкина И.М., Литвинов Ю.В. Оптимизация электрохимического процесса обработки алюминиевой фольги в производстве конденсаторов. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2000. 343 с.

УДК 620.92

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ МОДУЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРНОЙ ПОДСВЕТКИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

А.А.Воловиков[1], В.Л. Русинов[2]
[1] Ст. преподаватель, wolowikow@mail.ru
[2] Ст. преподаватель, lostangel@mail.ru
[1] ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова», г. Белгород
[2]ФГБОУ ВО "Амурский государственный университет», г. Благовещенск

В работе рассматривается применение фотоэлектрической установки с накопителем электроэнергии - ионистором для электроснабжения светодиодных осветительных приборов гражданского здания.

Ключевые слова: ионистор, фотоэлектрическая панель, светодиодное освещение, широтно-импульсная модуляция, инвертор, накопитель электроэнергии.

Применение для осветительных установок (ОУ) светодиодных приборов значительно уменьшает расход электроэнергии и потребляемую мощность освещения зданий, что позволяет применять для электроснабжения ОУ альтернативные источники энергии.

В настоящее время в связи с ростом КПД фотоэлементов и уменьшением их стоимости наблюдается массовое использование фотоэлектрических установок как для автономного электроснабжения удаленных от электрической сети объектов, так и для совместного использования электроэнергии, получаемой от солнца и электрических сетей. В составе таких устройств в качестве накопителя электроэнергии используются аккумуляторы [1]. Кроме аккумуляторов, возможно использование ионисторов (суперконденсаторов), удельные показатели запасенной электроэнергии и стоимости которых приближаются к аналогичным показателям свинцовых аккумуляторов [2].

Применение ионисторов в схеме фотоэлектрической установки [3] незначительно меняет её структурно-функциональную схему, рис. 1. Способы заряда/разряда ионистора значительно отличаются от способов заряда/разряда аккумуляторов, поэтому в схеме необходим регулятор заряда/разряда батареи ионисторов. Ионисторы в батарее также нуждаются в балансировке напряжения.

В результате предварительной оценки инсоляции и потребляемой мощности осветительной установкой были проведены расчёты, связанные с выбором электрической емкости батареи ионисторов и мощности фотоэлектрических панелей. Для реализации проекта архитектурной подсветки общественного здания с питанием отдельных панельных модулей от фотоэлектрической установки подобрано оборудование, соответствующее схеме (рисунок).

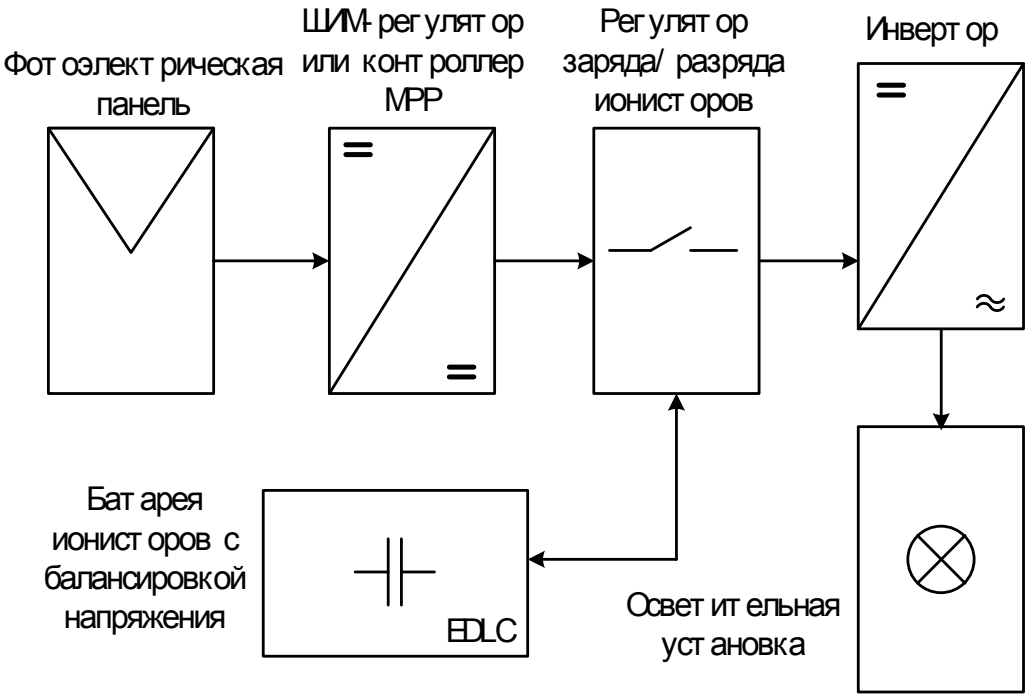


Схема фотоэлектрической установки

Литература

1. ГОСТ Р МЭК 61427-1-2014. Аккумуляторы и аккумуляторные батареи для возобновляемых источников энергии. Общие требования и методы испытаний. Часть 1. Применение в автономных фотоэлектрических энергетических системах. М: Стандартинформ, 2014. – 27 с.

2. Шурыгина В. Суперконденсаторы. Размеры меньше, мощность выше. Электроника: Наука, Технологии, Бизнес, – 2009. № 7. – С. 10-20.

3. Симонов, А. Солнечные фотоэлектрические электростанции станции/ А. Симонов, Д. Любас // Электрик. – 2012. – № 7-8. – С. 30-33.

УДК 629.13:62-503.53

ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ С ВЕТРОЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОМ

А. М. Литвиненко[1], Г. В. Кудрявцев[2]
[1]Д-р техн. наук, профессор, litvinenko.eauts@rambler.ru
[2]Соискатель gogenaqualang1@rambler.ru
[1,2] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе приводятся результаты исследования целесообразности применения адаптивных систем управления энергетическими комплексами и введения в систему электроснабжения ветроэлектрогенераторов с орбитальными редукторами на примере реального объекта.

Ключевые слова: ветроэнергетика, автономные системы электроснабжения, электрическая машина с орбитальным приводом.

В настоящее время остро стоит вопрос обеспечения электроэнергией потребителей удаленных от административно-промышленных центров и сетевых узлов. К этим объектам можно отнести фермерские хозяйства, объекты военного назначения, АЗС, потребителей электроэнергии изолированных регионов и других потребителей, для которых требуются автономные источники электроэнергии. Применение ветроэнергетики является одним из наиболее перспективных решений данной проблемы, однако эффективность ветроэлектрогенераторов становится целесообразной при средней суточной скорости ветрового потока не менее 4м/с. Для повышения эффективности ветрогенераторов при меньших скоростях ветра предлагается ввести систему управления энергетической установкой с устройством адаптации к внешней среде. В настоящее время используются и разрабатываются системы адаптации ветрогенераторов следующего типа: аэродинамические, электронные, электромеханические, механические.

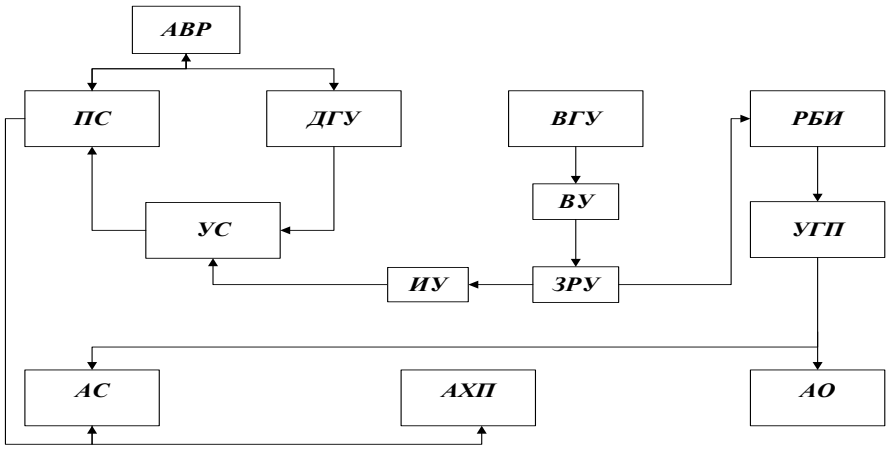
В данной статье рассматривается возможность применения комплексных систем управления электроэнергетическими установками с применением адаптивных ветрогенераторов, а так же модернизация существующих систем путем введения ветроэлектрогенераторов с орбитальными редукторами [3] для оптимизации использования энергии воздушных потоков при скоростях ветра ниже 2 м/с.

Был проведен анализ среднесуточного потребления электроэнергии транзитного пункта связи в районе г. Солнечногорска и его системы электроснабжения, анализ средней скорости и напорных характеристик ветра в соответствующем регионе. Значения средней месячной скорости ветра в г. Солнечногорск колеблются в пределах от 0,4 до 4 м/с [2].

Потребителей электроэнергии транзитного пункта связи можно условно разбить на следующие категории: административно-хозяйственные, аппаратура

связи и аварийное освещение.

Обобщенная структурная схема электроснабжения объекта представлена на рисунке.



Обобщенная схема электроснабжения объекта

При повседневной деятельности электроснабжение аппаратуры связи АС и административно хозяйственных потребителей АХП объекта осуществляется от промышленной сети ПС. Ветрогенераторная установка ВГУ посредством выпрямительного устройства ВУ и зарядно-разрядного устройства ЗРУ осуществляет заряд резервного буферного источника РБИ, состоящего из аккумуляторных батарей. В связи с зависимостью мощности ВГУ от погодных условий, при получении избытка электроэнергии ВГУ её параметры приводятся в соответствие с требованиями стандартов посредством инверторного устройства ИУ и синхронизируются с промышленной сетью в устройстве синхронизации УС. В случае пропадания напряжения ПС устройство гарантированного питания УГП осуществляет питание аварийного освещения АО и АС от РБИ до момента пуска дизель-генераторной установки ДГУ, её выхода на рабочую нагрузку и подключения к сети объекта автоматикой включения резерва АВР.

Применение в составе ВГУ генераторов с орбитальными редукторами позволит использовать энергию воздушных потоков при низких скоростях ветра, что значительно увеличит коэффициент использования установки, повысит надежность системы электроснабжения объекта и как следствие надежность передачи данных.

Литература

1. Б. В. Лукутин, С. Г. Обухов, Е. А. Шутов, З. П. Хошнау Применение буферных накопителей энергии для повышения эффективности ветродизельных электростанций. Электричество №6/2012.

2. Kalnay et al., The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437-470, 1996.

3. А. М. Литвиненко, А. В. Полуказаков, Д. А. Ткачев Патент РФ №2428782 10.09.2011.

УДК 539.216.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПЛЁНОК ОКСИДА КОБАЛЬТА

В.В. Бесполудин[1], В.В. Поляков[2], В.В. Петров[3], А.В.Нестеренко[4], З.Е. Вакулов[5]
[1]Аспирант, bespoludin@sfedu.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, vpolyakov@sfedu.ru
[3]Д-р техн. наук, профессор, vvpetrov@sfedu.ru
[4]Инженер-проектировщик, nest@sfedu.ru
[5]Канд. техн. наук, научный сотрудник, zvakulov@sfedu.ru
[1,2,3,4]ФГАОУ ВО «Южный Федеральный Университет», Таганрог
[5]Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук

В данной работе представлено исследование газочувствительных свойств пленок оксида кобальта сформированного быстрой термической обработкой на ситалловой подложке.

Ключевые слова: пленки оксида кобальта, газочувствительность, быстрый термический отжиг, вакуумное термическое напыление.

В настоящее время, одним из перспективных металлооксидных газовых сенсоров являются газовые сенсоры на основе оксида кобальта. Это связано с тем, что оксид кобальта обладает хорошим откликом к большому количеству техногенных газов, селективностью, а также долговременностью в использовании [1,2].

Пленки кобальта толщиной 470 нм формировались на ситалле методом вакуумно-термического напыления. Сопротивление полученных пленок кобальта составила 2,43 Ом, а удельное сопротивление $5{,}48 \cdot 10^{-5}$ Ом·см. После чего, для формирования оксида нанесенные пленки кобальта подвергались быстрому термическому отжигу (БТО) галогенными лампами на воздухе. БТО проводился при температурах 500°С, 600°С, и 700°С. После быстрого термического отжига производился контроль удельного сопротивления полученных пленок оксида кобальта, которые представлены в таблице.

Зависимость сопротивления от температуры отжига

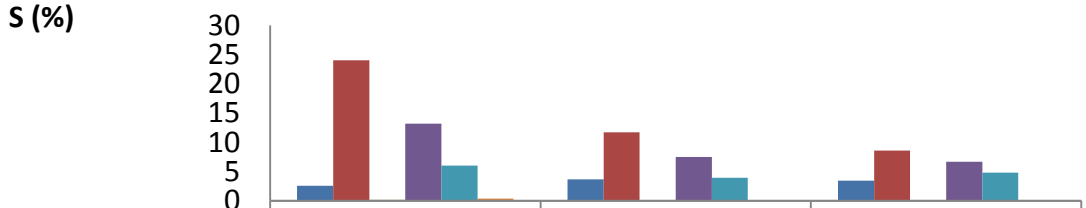
Пленка оксида кобальта	Сопротивление, Ом	Удельное сопротивление, Ом·см
БТО при 500 °С	$1{,}6 \cdot 10^{3}$	$3{,}6 \cdot 10^{-2}$
БТО при 600 °С	$5{,}6 \cdot 10^{7}$	$1{,}2 \cdot 10^{3}$
БТО при 700 °С	$2{,}6 \cdot 10^{8}$	$5{,}8 \cdot 10^{3}$

Полученные пленки оксида кобальта исследовались на чувствительность к таким газам как CO, NO_2, CH_4, а также к парам C_3H_6O (ацетон), C_3H_8O (изопропил) и к парам $NH_3 \cdot H_2O$ (25%-й раствор аммиака). Измерение газочувствительности тонких пленок оксида кобальта проводили при температуре 300°С (для всех случаев). Коэффициент чувствительности к газу S (%) определялся по следующей формуле:

$$S = \left|\frac{(R_{gas} - R_{air})}{R_{air}}\right| * 100$$

где R_{gas} – сопротивление пленки в присутствии газа, R_{air} – сопротивление пленки на воздухе.

На рисунке представлены результаты средней чувствительности в % к различным газам.



	При отжиге 500 °C	При отжиге 600 °C	При отжиге 700 °C
CO (9 ppm)	2,6	3,7	3,47
C3H6O (9 ppm)	24	11,7	8,6
CH4 (5 ppm)	0,16	0,03	0,04
NH3•H2O (10 ppm)	13,21	7,52	6,7
C3H8O (7 ppm)	6	3,95	4,84
NO2 (9,5 ppm)	0,4	0,1	0,03

Отклик пленок оксида кобальта от температуры отжига и воздействующих газов

Из результатов видно, что тонкие пленки оксида кобальта проявляют наибольшую чувствительность к парам C_3H_6O по сравнению с другими газами. Кроме того, сравнительно неплохая чувствительность пленок оксида кобальта проявляется к парам $NH_3 \cdot H_2O$ (25%-й раствор аммиака) и к парам изопропила C_3H_8O [1].

Значительно меньшая чувствительность полученных оксидных пленок кобальта проявляется к таким газам как CO, NO_2, CH_4. При этом наибольший отклик к газам наблюдается у пленок оксида кобальта полученных при БТО 500°C, и только к CO отклик был незначительно ниже.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что чувствительные элементы на основе пленок оксида кобальта сформированные БТО проявляют заметную газочувствительность и представляют интерес как элементы газовых датчиков к C_3H_6O, а также к $NH_3 \cdot H_2O$ и C_3H_8O.

Литература

1.VikasPatil, ShaileshPawar, ManikChougule,Bharat Raut, Ramesh Mulik, Shashwati Sen. New Method for Fabrication of Co_3O_4 Thin Film Sensors: Structural, Morphological and Optoelectronic Properties / Sensors & Transducers, May 2011,Vol. 128, Issue 5, pp. 100-114.

2.Vishal Balouria, Arvind Kumar, S. Samanta, S. Bhattacharya, A. Singh et al.Chemiresistive gas sensing characteristics of cobalt oxide thin films / AIP Conf. Proc.,2012, Vol. 1451, P.289-291.

УДК 621.313.821

ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБМОТОК БЕСКОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАНИПУЛЯТОРАВ РАМКАХ ОБЩЕЙ КОНЦЕПЦИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

А.А. Агапов[1], В.В. Бабенко[2], В.М.Питолин[3], Ж.А. Ген[4], А.В. Романов[5]
[1]Аспирант, alex0894080418@yandex.ru
[2]Аспирант, vova.babenko.94@mail.ru
[3]Д-р техн. наук, профессор, eayts@yandex.ru
[4]Старший преподаватель, jeannagen@mail.ru
[5]Канд. техн. наук, доцент, andr-romanov@narod.ru
[1-5]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе приводятся результаты исследования массогабаритных и энергетических параметров бесконтактного двигателя постоянного тока промышленного манипулятора с неявно выраженным секционированием обмоток. Сформулированы основные подходы к моделированию обмоток со сложной геометрией секции.

Ключевые слова: привод, манипулятор, бесконтактный электродвигатель постоянного тока, обмотка, неявно выраженное секционирование.

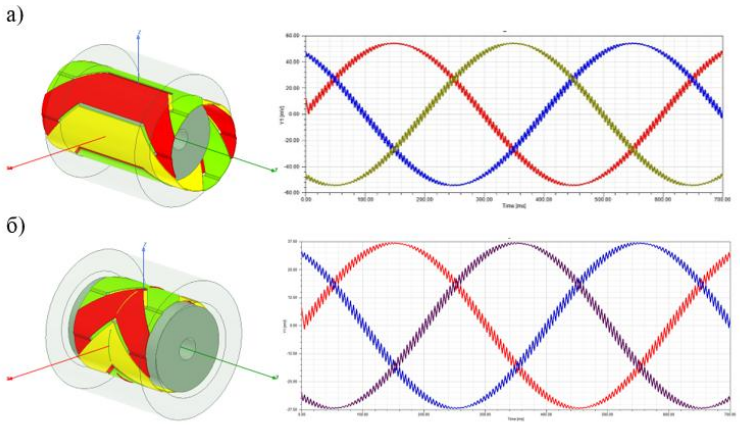
На сегодняшний день основная парадигма в области энергоэффективности применительно к электромашиностроению и, в частности, бесконтактным двигателям постоянного тока (БДПТ) сводится к повышению полезной мощности на единицу объема (кВт/м^3). Одним из способов повышения указанного параметра является снижение тепловой напряженности основных источников тепла, а именно обмотки за счет снижения её объема. Особый интерес в этом случае представляют беспазовые БДПТ со сложной формой секции. Именно за счет её конструктивной вариативности становится возможным снижение общего объема машины, не говоря об изменении основных электромеханических параметров в рамках единого типоразмера.

Стоит отметить, что минимизация габаритов исполнительных органов манипулятора стоит довольно остро, особенно для приводов, реализующих ориентирующие степени подвижности.

Исследуя, имеющуюся в свободном доступе информацию о БДПТ беспазового исполнения, можно прийти к выводу, что конструктивно их обмотки можно разделить на: обмотки с явно- и неявно выраженным секционированием.

Довольно весомым преимуществом явносекционных обмоток является возможность корректировки числа витков без значительного изменения общего облика активно части машины. При этом неявносекционные обмотки могут похвастаться меньшими габаритными размеры, а также улучшенным отводом тепла за счет меньшей объемной плотности тепловыделения.

В рамках данного исследования были рассмотрены шестигранная и ромбовидная обмотки неявносекционного исполнения. Для обеспечения единства измерений была применена геометрически идентичная конструкция БДПТ. При этом информация о качестве преобразования энергии даст представление об особенностях работы машины с исследуемыми типами обмоток.



Трехмерная модель и графики ЭДС неявносекционной шестигранной (а) и ромбовидной (б) обмоток

Создание трехмерной модели такого рода обмоток обусловлено невозможностью формирования плоской модели с последующей трансляционной разверткой. Необходимо добавить, что трехмерное моделирование обмоток может дать ответы на вопросы об определении полей рассеяния и индуктивности лобовых частей обмотки [1].

По результатам численного моделирования максимальное значение ЭДС показала шестигранная обмотка, в свою очередь индуктивность, а главное – габаритные размеры у нее наибольшие. Разница в значениях ЭДС между шестигранной и ромбовидной обмотками составила менее 27 %, в то время как разница по аксиальной длине превысила 35 %.

Выбор той или иной формы секции обмотки неявносекционного исполнения в большинстве своем продиктован стремлением к всесторонней минимизации, однако задача проектирования нового или модернизация уже имеющегося БДПТ – задача многокритериальная, что для выбора оптимального технического облика машины, требует компромисса при согласованности целого ряда независимых параметров.

Литература

1. Агапов А.А. Использование САПР для создания компьютерных моделей обмоток электрических машин. / А.А. Агапов, Т.Е. Черных // Прикладные задачи электромеханики, энергетики, электроники. Инженерные идеи XXI века. – 2016. – № 1. – с. 15–18.

УДК 539.216.2

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАМАТЕРИАЛА С УПРАВЛЯЕМОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОТРАЖАТЕЛЬНОГО ФАЗОВРАЩАТЕЛЯ

Ю.Г. Пастернак[1], С.М. Федоров[2], Е.А. Ищенко[3]
[1]Д-р техн. наук, pasternakyg@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, ВГТУ, fedorov_sm@mail.ru
[3]Студент группы РП-164, kursk1998@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Применение управляемого метаматериала позволяет осуществить операцию изменения фазы в волноводе путем замыкания последовательных линий в решетке, из которой формируется структура метаматериала. Для замыкания удобно использовать pin-диоды, которые установлены в узлах сформированной структуры.

Ключевые слова: метаматериал, волновод, pin-диоды.

Исследуется метаматериал, который выполняет операцию отражательного волноводного фазовращателя. Конструкция метаматериала представляет собой решетку из медных проводников длиной 5 мм и диаметром 0.5 мм, которые заполнены диэлектирически прозрачным материалом. Размер рассматриваемой конструкции 36x18,1x68 мм. В качестве устройств коммутации в узлах диэлектрических решеток применялись pin-диоды, которые имеют эквивалентную схему в открытом режиме из последовательного соединения резистора (R=2.1 Ом) и индуктивности (L=0.6 нГн) [1]. Для того, чтобы управление pin-диодами [2] можно было выполнять за счет подачи постоянного напряжения, а также, чтобы была возможность осуществлять включение только необходимых элементов в решетке метаматериала в медных проводниках помещались конденсаторы с емкостью 35 нФ, таким образом, что они пропускают переменное напряжение, которое индуцируется на проводниках практически без потерь, а при подаче постоянного напряжения для активации pin-диодов имели бесконечное сопротивление.

Конструкция метаматериала приведена на рис. 1, в разрывах установлены разделительные емкости.

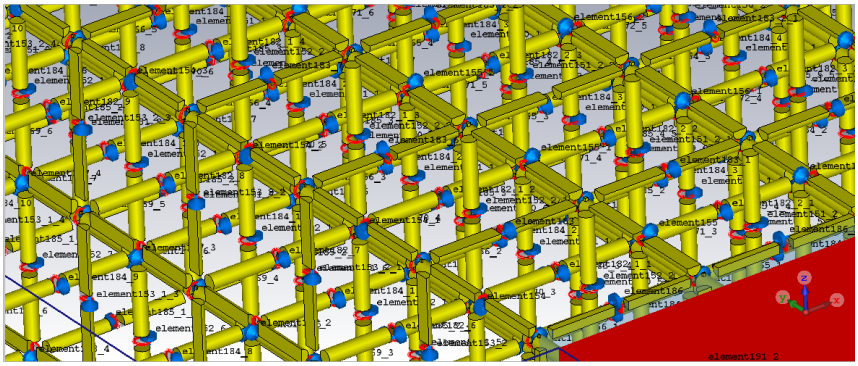


Рис. 1. Узлы управляемого метаматериала

Было определено, какое влияние на S-параметры оказывает добавление разделительных емкостей в решетку метаматериала. Так, для параметров главной диагонали – S11 произошло смещение пика фазы на 0.09 ГГц, при частоте среза волновода в 4.16 ГГц, что является допустимым изменением. Для S21 данное изменение составило 0.1 ГГц.

Было произведено моделирование рассмотренной конструкции с поочередным замыканием линий решетки метаматериала, для получения значений фаз S-параметров. Особый интерес при исследовании представляют фаза параметров главной диагонали S11 и S22, а также фазы при прохождении волны со входа на выход – S21 и S12. Причем по результатам моделирования было получено, что значения фаз S22 являются зеркальным отображением фаз S11, то есть при замыкании первой линии материала фаза S11 совпадет с фазой для S22 при замыкании десятой линии. Аналогичная картина наблюдается для фаз S21 и S12.

По результатам моделирования была составлена таблица, в которой определены максимумы фаз S-параметров, а также частоты, на которых они наблюдаются. Произведя анализ полученных результатов, было установлено, что для S21-параметра при замыкании 5 и 6 линий из 10 происходит совпадение фаз с точностью до 0.06 градуса. Аналогичная картина наблюдается при замыкании линий 4 и 7, однако в данном случае картины фаз совпали полностью. Применение полученных данных позволяет изменять фазы проходящих в волноводе волн.

Полученные результаты доказывают возможность применения предложенной структуры управляемого искусственного диэлектрика в качестве отражательного волноводного фазовращателя, а также в качестве активного элемента при построении реконфигурируемых антенн [3].

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-57.2020.9.

Литература

1. Baiyang Liv, Guoying Lin, Yuehui Cui, Rong Lin Li. An Orbital Angular Momentum (OAM) Mode Reconfigurable Antenna for Channel Capacity Improvement and Digital Data Encoding, Scientific reports, 2017. 9 p.

2. Microsemi-Watertown. The Pin Diode Circuit Designers' Handbook, 1998. 137 p.

3. N. O. Parchin, H. J. Basherlou, Y. I. Al-Yasir, A. Ullah, R. A. Abd-Alhameed, J.M. Noras. Frequency Reconfigurable Antenna Array with Compact End-Fire Radiators for 4G/5G Mobile Handsets, 2019 IEEE 2nd 5G World Forum, 2019. 204-207 p.

УДК 537.31

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОГИДИРИДНОГО КОМПАКТА НА ОСНОВЕ ИМС LANI4.4AL0.3FE0.3

И.А. Романов[1] , В.И. Борзенко[2]
[1]Научный сотрудник, romanoff_i_a@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, зав. лаб. h2lab@mail.ru
[1,2] ФГБУН «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук»

В данной работе исследовалось влияние прессования при формировании компакта на PCT-изотермы и теплопроводность образца ИМС состава LaNi4.4Al0.3Fe0.3. В качестве исходных материалов для изготовления компакта в данной работе были использованы 50 г интерметаллида состава $LaNi_{4.4}Al_{0.3}Fe_{0.3}$ и пено-никель массой 3 г для теплопроводящей матрицы.

Ключевые слова: водород, металлогидридный компакт, PCT-изотерма.

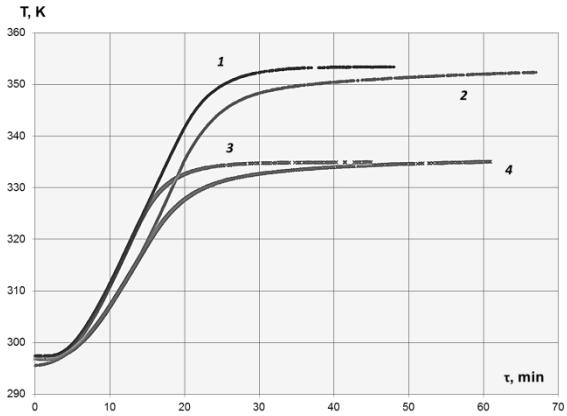
Проблема теплообмена в мелкодисперсных засыпках гидридов интерметаллических соединений - это один из факторов, сдерживающих развитие водородной энергетики [1]. Существующие методы улучшения теплопроводности как то: использование реакторов с дополнительными рёбрами, уменьшение толщины засыпки и различные добавки с высокой теплопроводностью, тем не менее, не позволяют полностью разрешить проблему кризиса тепло-массо переноса. Все эти методы никак не влияют на одну у важнейших причин низкой теплопроводности засыпки - ее высокую пористость. Засыпка ИМС типа $LaNi_5$ после активации имеет насыпную плотность около 3.6 г/см^3, при том, что плотность исходного материала более 8 г/см^3. То есть его пористость составляет порядка 55%. Уменьшение пористости засыпки за счет прессования и формирования металлогидридного компакта [2] с использованием современных материалов может привести к снижению её термического сопротивления и в комбинации с другими методами улучшения теплопроводности позволит избежать возникновения кризисных явлений в перспективных системах хранения водорода.

На первом этапе была проведена активация навески сплава $LaNi_{4.4}Al_{0.3}Fe_{0.3}$ массой 50 г методом циклической абсорбции и десорбции водорода при давлении до 3 МПа и температуре до 373К. После 10 циклов были измерены PCT-изотермы абсорбции и десорбции водорода при температуре 333 и 353К для подтверждения полноты активации. Далее рабочий сосуд под вакуумом был перенесён в сухой бокс, где из него был извлечён активированной порошок сплава. Теплопроводящая матрица изготавливалась из полосы пено-никеля, которая сворачивалась в спираль с диаметром, равным диаметру рабочего сосуда. На следующем этапе матрица заполнялась активированным порошком интерметаллида массой 50 г. Порошок с помощью вибрации тщательно распределялся по матрице. Прессование проводилось прямо в рабочем сосуде в сухом боксе с помощью стального штока.

Измерение PCT-изотерм образца производилось по методу Сирертса с помощью установки УС-150, которая позволяет проводить измерения с высокой точностью для образцов массой от 20 до 800 г при температуре от 243 до 573К и давлении до 15 МПа. Полученные в ходе экспериментов PCT-изотермы сравнивались с результатами измерений, проведённых для свободной засыпки чистого ИМС массой 50 г. Оценка распределения тепла в образце проводилась с помощью термопары, расположенной по оси рабочего сосуда в 5 мм от дна.

При сравнении PCT-изотерм абсорбции и десорбции водорода компакта и контрольного образца можно отметить следующие отличия в поведении образцов: (1) при температуре 353К изотермы абсорбции практически полностью совпадают в отличие от десорбции, которая для компакта происходит при заметно более низком давлении; (2) при температуре 333К компакт демонстрирует чуть меньшую ёмкость (на 0.1 масс.%) по сравнению с контрольным образцом, давление абсорбции водорода выше, а десорбции - ниже, чем у контрольного образца. В целом изменения PCT-изотерм, вызванные прессованием образца можно считать незначительными

На рисунке представлено сравнение температуры металлогидридного компакта и контрольного образца в ходе их нагрева от комнатной температуры до 333 и 353К в условиях вакуумирования рабочего сосуда. Кривые наглядно демонстрируют улучшение теплообмена в компакте по сравнению со свободной засыпкой.



Зависимости температуры засыпки от времени: 1, 3 - металлогидридный компакт; 2, 4 – образец сравнения

Литература

1. Mazzucco A, Dornheim M, Sloth M, Jensen TR, Jensen JO, Rokni M. Bed geometries, fueling strategies and optimization of heat exchanger designs in metal hydride storage systems for automotive applications: A review// International Journal of Hydrogen Energy 39(2014), pp. 17054-17074.

2. Ron M, Gruen D, Mendelsohn M, Sheet I. Preparation and properties of porous metal hydride compacts// Journal of the Less Common Metals 74(1980), pp. 445-448.

УДК 536.24.08

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НА НАЧАЛЬНОМ УЧАСТКЕ КРУГЛОЙ ТРУБЫ

В.А. Стерлигов[1], Е.М.Крамченков[2], Т.Г.Мануковская[3], А.Г.Ярцев[4]
[1]Канд. техн. наук, доцент, kram-stu@yandex.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, kram_lipetsk@rambler.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, kafpte@rambler.ru
[4]Ассистент, yartsevlekha@mail.ru
[1-4]Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия

Вынужденное течение теплоносителя в круглых трубах большинства теплообменных устройств является преобладающим. Течение ламинарного потока жидкости в трубах формирует начальный участок. Формирование такого участка влияет как на эффективность процесса теплообмена в трубчатых теплообменниках [1], так и на их массогабаритные характеристики.

Довольно часто при проектировании таких теплообменников требуется рассчитать начальный участок в трубах, где наблюдается либо ламинарное течение теплоносителя, либо оно оказывается преобладающим [2, 3].

Применение новых технических устройств, развитие современных программных комплексов, используемых в научных целях для решения задач, связанных с теплообменом и гидродинамикой потоков обуславливает интерес к расчету начального участка, формирующего пограничный слой. Одним из наиболее востребованных в настоящее время является комплекс пакета программ ANSYS.

В процессе разработки трубчатых теплообменных аппаратов важна необходимая длина трубы, которая может быть как длиннее, так и короче начального участка. Длина термического начального участка определяется критерием Прандтля Pr и для различных теплоносителей при ламинарном течении может изменяться от единичных диаметров до десятков и сотен диаметров. Безусловно, на эту длину оказывает влияние пограничный слой, и она сказывается на габаритах аппаратов [4, 5]. Это обстоятельство определяет актуальность исследований, в которых изучается формирование толщины теплового пограничного слоя в трубе по ее длине.

В статье приводятся картины профилей температуры и толщин теплового пограничного слоя в различных сечениях начального участка по ходу потока теплоносителя в виде рисунков и графиков.

Показаны варианты профилей температуры теплоносителя по живым сечениям начального участка круглой трубы, зафиксированные тепловизором и полученные в результате теоретических расчетов, в том числе при помощи пакета программ ANSYS. Приведен график профилей температуры начального участка, полученный на основе аналитического расчета по методике,

изложенной в работах [4, 5] и компьютерного моделирования посредством программного комплекса ANSYS. Выполнен анализ теоретических и экспериментальных результатов.

Литература

1. В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. Теплопередача. Изд.2-е. – М.: Энергия, 1969. – 440 с.

2. Б.С. Петухов. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах. – М.: Энергия. – 1967. 412 с.

3. В.А. Стерлигов. Тепловой режим при течении жидкости в канале трубчатой поверхности теплообменника // Труды четвертой Российской национальной конференции по теплообмену: Т.2. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 288 с., ил.

4. В.А. Стерлигов, А.А. Сулейманов, В.Я. Губарев, Е.М. Крамченков, О.Н.Ермаков. Теплообмен при течении жидкости в трубчатых каналах. - // Труды третьей Российской национальной конференции по теплообмену: В 8 томах. Т.2. – М.: Издательский дом МЭИ, 2002. – 304 с, ил.

5. В.А. Стерлигов, Е.М. Крамченков, Т.Г. Мануковская, О.Н. Ермаков. Исследование теплообмена на начальном участке трубы // Тезисы шестой Российской национальной конференции по теплообмену: В 3 томах. Т.1. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014. – 342 с.

УДК 620.98

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВНЕДРЕНИИ МАЛЫХ ГЭС

О.И. Желяскова [1], А.А. Смирнов [2], М.М. Султанов [3]
[1] Ассистент, opp77@bk.ru
[2] Аспирант, lehasmirnov1@gmail.com
[3] Канд. техн. наук, доцент, sultanov_mm@mail.ru
[1,2,3] ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

В данной работе приводятся результаты исследований на примере внедрения мини ГЭС на исследуемом участке энергосистемы путем совместной работы разработанных подхода и программы.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, ГЭС, график нагрузок, перетоки мощности.

В настоящее время наблюдается положительная динамика в развитии освоения возобновляемых источников энергии. Такие источники энергии позволят экономить природное топливо, применить потенциал природных ресурсов в полной мере.

В работе описывается комплексный подход к оценке эффективности внедрения возобновляемых источников энергии на примере включения малых ГЭС на определенном участке энергосистемы. В исследовании объединены алгоритм выбора состава включенного генерирующего оборудования в случае подключения новых потребителей [1], и разработанная программа по расчету и построению графиков генерации и нагрузок [2].

Проведенное исследование показало, что при совместной работе методов расчета и моделирования увеличивается точность выбора генерирующего оборудования, что способствует увеличению энергетической эффективности. Графики нагрузки наглядно показывают перегруженные участки сети, а также недогруз потребителей.

Данный подход [3] способствует моделированию различных вариантов загрузки сети, как от традиционных, так и от альтернативных источников энергии, и выбору наилучшего варианта. При применении последнего подхода выявлен рост энергетической и экономической эффективности. В случае внедрения малых ГЭС в энергосистеме также появляется возможность разгрузки других генерирующих объектов исследуемого участка.

Литература

1. Султанов, М.М., Желяскова, О.И., Рига, И.Л. Исследование энергетической эффективности генерирующих систем в современных условиях энергопотребления: учебно-методическое пособие / М.М. Султанов, О.И. Желяскова, И.Л. Рига. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2019. – 59 с.

2. Султанов М.М., Желяскова О.И., Желясков С.С. Моделирование процесса анализа работы энергосистемы при пиковых нагрузках // Двадцать пятая межвузовская научно-практическая конференция молодых ученых и студентов, г. Волжский, 22–31 мая 2019 г.: тезисы докладов. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, ISBN 978-5-94721-145-0, 2019. – 86-88 с.

3. Султанов М.М., Желяскова О.И. Программа расчета параметров и построения графиков энергетической системы. Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Свидетельство №2019667320 от 23.12.2019.

УДК 537.31

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОТЕПЛОПРОВОДНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ВОДОРОДА

К.Б. Минко[1], М.Д. Нащекин[2], М.В. Минко[3]
[1]Канд. техн. наук, доцент, minkokb@gmail.com
[2]Аспирант, nash1811@outlook.com
[3]Канд. техн. наук, старший преподаватель, mvminko@gmail.com
[1,2,3] ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

В данной работе приводятся результаты исследований влияния повышения эффективной теплопроводности металлогидридной засыпки на динамические характеристики систем очистки водорода от примесей.

Ключевые слова: металлогидридные реакторы, очистка водорода, эффективная теплопроводность.

В настоящее время ведется разработка технологий и устройств очистки и хранения водорода, основанных на использовании метода фильтрации смеси водорода и загрязняющих его примеси через слой из частиц металлогидридов (МГ), способных избирательно и обратимо поглощать водород [1]. В ряде случаев очистка водорода данным методом может оказаться экономически выгодной, так как система очистки выполняет интегрирующие функции, являясь одновременно системой хранения и очистки водорода для последующего питания топливных элементов [1].

В изотермическом реакторе (предельный случай с бесконечной теплопроводностью засыпки из частиц МГ) поступающая на вход смесь водорода и примесей продвигается вдоль оси реактора, при этом происходит процесс сорбции водорода из смеси. На выход поступают только загрязняющие водород примеси. В изотермическом случае реализуется плоский фронт реакции, который по мере насыщения сплава продвигается от входа к выходу, и в какой-то момент времени потери водорода на выходе резко возрастают, так как весь сплав в реакторе уже насыщен водородом. В данной ситуации эксплуатация реактора прекращается, и после небольшой продувки свободного объема водород путем нагрева системы может быть извлечен, например, для питания топливного элемента. В реальности из-за различия условий отвода тепла (реакция сорбции – экзотермическая) в слоях, прилегающих к стенке реактора и в центре реактора, в системе реализуется крайне неоднородное распределение температуры, и, следовательно, динамики сорбции водорода. Хорошо охлаждаемые области вблизи стенки быстро насыщаются водородом, в то время как области в центре реактора практически не сорбируют водород. В результате в момент времени роста потерь водорода на выходе осредненная доля использования сплава остается крайне низкой – на уровне 40-50%.

В настоящей работе представлены результаты моделирования работы системы очистки водорода, в которой для повышения доли использования сплава в циклах «сорбция-десорбция» применяются высокотеплопроводные добавки для интенсификации процессов тепло- и массопереноса в слоях из МГ частиц. В качестве добавок выступают кусочки проволоки из различного материала, длина которых сопоставима с толщиной засыпки. Данные о теплопроводности структур «МГ засыпка-высокотеплопроводные добавки» были получены путем прямого численного моделирования структуры таких систем с использованием подхода, использованного в работе [2]. В качестве базовой конфигурации системы была выбрана экспериментальная установка из работы [3]. Описание используемой модели и результатов ее верификации можно найти в [4]. В качестве критерия эффективности металлогидридного реактора очистки водорода заданной конфигурации были выбраны: (i) доля сплава X_{bl}, насытившегося водородом, в момент времени, когда потери водорода на выходе достигали 3%; (ii) момент времени t_{bl}, в который потери водорода на выходе достигли 3%. Результаты расчета представлены в таблице.

Результаты расчета

Вариант	Базовый	Сталь	Бронза	Алюминий	Медь	Изотермический
X_{bl},%	44.9	69.5	74.9	76.2	76.7	88.0
t_{bl}, сек	2515	3556	3818	3880	3905	4923
$\frac{X_{bl}-X_{bl}^{(base)}}{X_{bl}^{(ideal)}-X_{bl}^{(base)}}$,%	0	57.1	69.6	72.6	73.8	100.0
$\frac{t_{bl}-t_{bl}^{(base)}}{t_{bl}^{(ideal)}-t_{bl}^{(base)}}$,%	0	43.2	54.1	56.7	57.7	100.0

Все расчеты были выполнены с использованием CFD-кода ANES (http://anes.ch12655.tmweb.ru/). Работа выполнена при финансовой поддержке совета по грантам Президента РФ (грант МК-829.2019.8).

Литература

1. Дуников Д. О. и др. Перспективные технологии использования биоводорода в энергоустановках на базе топливных элементов (обзор) //Теплоэнергетика. – 2013. – №. 3. – С. 48-48.

2. Minko K. B., Artemov V. I., Yan’Kov G. G. Numerical simulation of sorption/desorption processes in metal-hydride systems for hydrogen storage and purification. Part I: development of a mathematical model //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2014. – Т. 68. – С. 683-692.

3. Блинов Д. В. и др. Очистка водорода методом продувки через металлогидрид // Вестник Московского энергетического института. – 2012. – №. 2. – С. 44-49.

4. Nashchekin M. D., Minko K. B., Artemov V. I. Numerical analysis of constructive and regime parameter effects on the efficiency of metal hydride systems for hydrogen purification // Case Studies in Thermal Engineering. – 2019. – Т. 14. – С. 100485.

УДК 519.6

ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ И АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Ю.В Писаревский[1], В.Б. Фурсов[2], А.Ю. Писаревский[3], А.В. Тикунов[4] П.Н.Татарников[5]
[1] Канд. тех. наук, доцент, 2732558@mail.ru
[2] Канд. тех. наук, доцент fvb273@inbox.ru
[3] Канд. тех. наук, доцент, 2732558@mail.ru
[4] Канд. тех. наук, доцент, tikunov_a@list.ru
[5]Адьюнкт tatarnikovpavel@mail.ru
[1-4] ФГБОУ ВО “Воронежский государственный технический университет
[5] Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования "Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина"

В данной работе рассматривается возможность применения фотоэлектрического преобразования энергии при создании электрических беспилотных летательных аппаратов гибридного типа способных работать на высотах до 22000 м имея не регламентируемое полётное время.

Ключевые слова: летательным аппаратам легче воздуха, солнечные батареи, гибридные летательные аппараты, полётное время; высота полёта.

Интерес к летательным аппаратам легче воздуха существовал практически всегда, однако в настоящее время это проявляется особенно сильно в связи с созданием новых материалов, новых источников электропитания, более совершенных солнечных батарей, современных систем управления и навигации, что способствует созданию новых летательных аппаратов, в частности беспилотных аппаратов с неограниченным полётным временем. Особенность дирижаблей заключается в том, что они не имеют строго определённого предела на массу перевозимого груза. В отличие от дирижаблей летательные аппараты тяжелее воздуха имеют такой предел.

Преимущества: более высокая надёжность и безопасность, чем у самолётов и вертолётов; нет строгих ограничений по грузоподъёмности; неограниченное полётное время; нет необходимости во взлетно-посадочных полосах.

Недостатки дирижаблей: большие размеры и как следствие высокая парусность и зависимость от погодных условий; низкая манёвренность и как следствие сложность приземления; относительно низкая скорость (до 150 км/ч); дороговизна газа наполнителя – гелия или опасность водорода; аэростатическая неуравновешенность, которая заставляет возить с собой большое количество балласта снижающего полезную грузоподъёмность.

Именно рассмотренные недостатки показывают целесообразность создания гибридных летательных аппаратов. Объединение дирижабля с вертолётом позволяет уменьшить его размеры и снять проблемы аэростатической

неуравновешенности. При этом возрастает грузоподъёмность и экономичность аппарата. Многократно возрастает манёвренность аппарата, и устраняются сложности с приземлением машины. Применение электрической силовой установки в сочетании с солнечной батареей позволяет разрабатывать беспилотные летательные аппараты, не требующие посадки (атмосферные спутники). В настоящее время действующие атмосферные спутники это аэропланы, которые работают на высотах 19000 – 22000 м и представляют собой достаточно хрупкие конструкции. Гибридные летательные аппараты на основе различных видов аэростатов выгодно отличаются от аэропланов, поскольку имеют более надёжную конструкцию и позволяют поднимать больший вес. Оптимальным вариантом решения данной задачи является использование фотоэлектрических преобразователей, которые имеют небольшую массу и достаточную производительность.

Следует заметить, что аэростат можно заполнить смесью водорода и гелия для обеспечения большей подъёмной силы, меньшей стоимости газа и одновременно безопасности эксплуатации.

Полученные результаты позволяют перейти к созданию гибридного летательного аппарата вертолётного типа.

Очевидно, что в гибридном летательном аппарате (ЛА) соотношение аэростатической и вертолётной частей определяется назначением аппарата. Присутствие аэростатической части естественно меняет динамику полёта вертолёта или мультикоптера, что требует дополнительных исследований.

В режиме висения сила $F_т$ должна уравновешивать вес квадрокоптера. Из этого условия можно определить необходимую частоту вращения винтов летательного аппарата из уравнения и мощность двигателей, необходимая для обеспечения режима зависания квадрокоптера. Мощность двигателей, в свою очередь, определяет необходимую ёмкость аккумуляторной батареи и её массу. Очевидно, что у этих летательных аппаратов существует своя особая область применения, где требуется длительное полётное время (более 2 часов) или большая высота полёта (20000…22000 м) недоступная для летательных аппаратов другого типа. Применение двух разных физических принципов поддержания летательного аппарата в воздухе существенно снижает риск его падения. Дополнительный источник энергии может быть использован не только для питания силовой установки, но для электроснабжения аппаратуры полезной нагрузки. Нижняя граница полётного эшелона определяется безопасностью эксплуатации аппарата и находится вне зоны полётов гражданской авиации и выше облаков, что позволяет использовать солнечную батарею, как основной источник электроэнергии.

Таким образом, возможно создание малых летательных аппаратов гибридного типа на существующей элементной базе с полётным временем более 60 минут, а электрическая силовая установка будет обеспечивать функционирование летательного аппарата на высотах до 22000 м и не будет регламентируемого полётного времени.

УДК 539.2 538.9-405 548

МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЫСТРОЗАКАЛЕННЫХ ЛЕНТ СОСТАВА $Fe_{67}Co_{10}Cr_3Si_5B_{15}$, ПРОШЕДШИХ ОБРАБОТКУ В ХИМИЧЕСКИ АКТИВНОЙ СРЕДЕ

Лю-ю Н.А.[1], Голыгин Е.А.[2], Морозова Н.В.[3], Гаврилюк А.А.[4]
[1]Студент, k79642783749@yandex.ru
[2]Канд. физ.-мат. наук, доцент, egolygin2011@gmail.com
[3]Канд. физ.-мат. наук, доцент, natek@mail.ru
[4]Докт. физ.-мат. наук, зав. кафедрой, zubr@api.isu.ru
[1-4] ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»

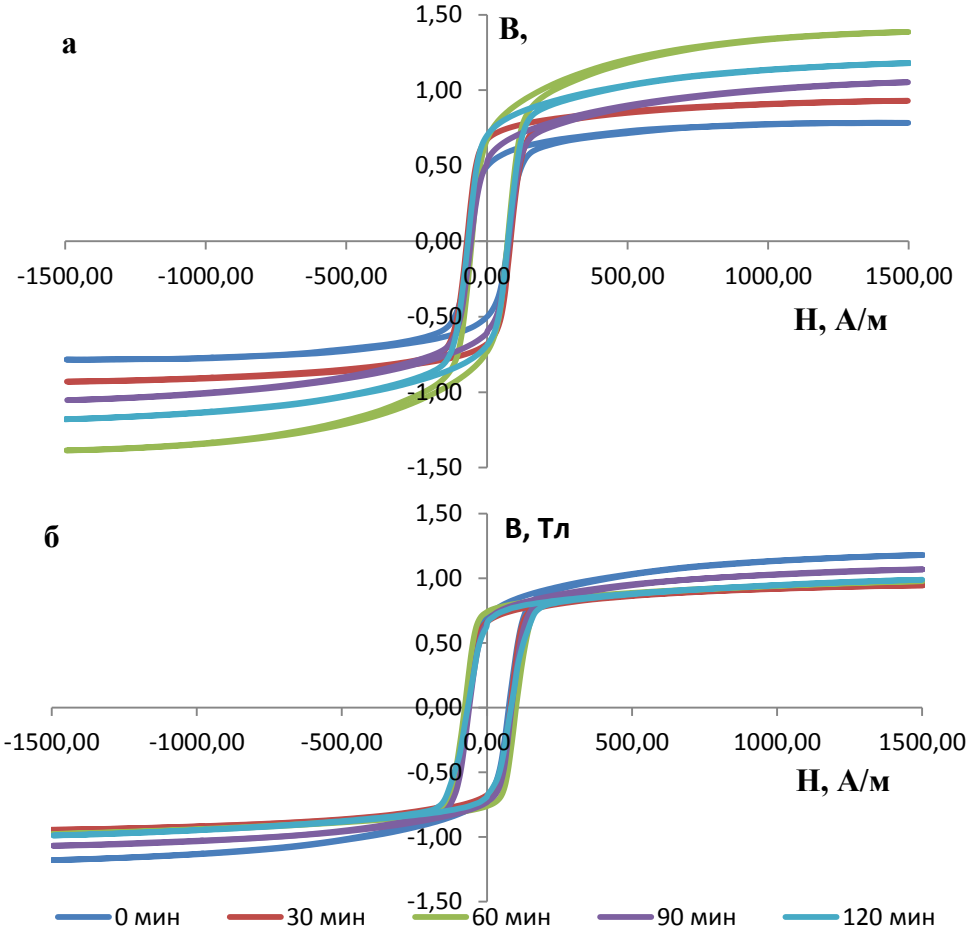
Приводятся результаты исследования магнитных свойств ленты состава $Fe_{67}Co_{10}Cr_3Si_5B_{15}$, прошедшей химическую обработку и дальнейшую термомагнитную обработку. Установлено, что зависимости остаточной магнитной индукции и дифференциальной магнитной проницаемости от времени химической обработки и температуры термомагнитной обработки имеют немонотонный характер.

Ключевые слова: химическая обработка, быстрозакаленные ферромагнетики, процессы намагничивания.

Поскольку, быстрозакаленные металлические сплавы на основе железа хорошо зарекомендовали себя в качестве чувствительных элементов преобразователей электромагнитной энергии в энергию механических колебаний и наоборот, актуальным представляется вопрос о степени влияния агрессивных сред (растворы и пары неорганических кислот) на магнитные, магнитоупругие и магнитоимпедансные параметры такого рода объектов. Агрессивные среды вступают в непосредственный химический контакт с поверхностью аморфной металлической ленты, вызывая изменения ее фазовой и магнитной структур [1].

Были выбраны высокострикционные быстрозакаленные металлические ленты состава $Fe_{67}Co_{10}Cr_3Si_5B_{15}$ толщиной от 20 до 30 мкм, длиной – 0,05 м. Перед проведением измерений образцы подвергались обработке в водном растворе соляной кислоты HCl (0,19N) от 30 до 120 минут при комнатной температуре. После проведения химического травления аморфные металлические ленты на основе железа проходили термомагнитную обработку при температуре T от 360 до 400°C в течение 20 минут в вакууме 10^{-3} мм. рт. ст. Величина магнитного поля в процессе обработки составляла 40 кА/м.

На рисунке 1 приведен ход петель магнитного гистерезиса исследуемых образцов в зависимости от времени обработки t в растворе HCl и температуры T термомагнитной обработки. У исследованных лент не проявляется выраженной зависимости остаточной индукции B_r и дифференциальной магнитной проницаемости μ_d от параметров t, T. Еще более сложными являются зависимости коэрцитивной силы H_c (t, T).



Петли гистерезиса при различных временах травления лент $Fe_{67}Co_{10}Cr_3Si_5B_{15}$ с последующей термомагнитной обработкой при температурах: а –T=360°C, б –T=400°C

Предложена модель изменения топологического и композиционного порядка быстрозакаленных лент при изменении времени химического воздействия. Предполагается, что в результате химического лента приобретает столбчатую структуру воздействия. Чем меньше, размеры столбчатых областей, и чем больше расстояние между ними, тем сильнее эффект анизотропии формы столбцов и тем больше разрыв нормальной компоненты намагниченности на границе раздела двух фаз. С другой стороны, при увеличении расстояния между столбцами уменьшается магнитостатическая энергия взаимодействия магнитных полюсов, расположенных на границах соседних столбцов. Это приводит к различным зависимостям остаточной индукции и дифференциальной магнитной проницаемости от условий предварительной обработки. Построение модели влияния химического воздействия на изменения магнитных параметров может быть спрогнозировано методами компьютерного моделирования.

Литература

1. Chen Y.S., Lin J.G., Golygin E.A., Gavrilyuk A.A. Post-treatment effects on the magnetic anisotropy of iron based metallic amorphous ribbons/ JMMM, Vol. 461. 2018. pp. 106-110.

УДК 537. 32

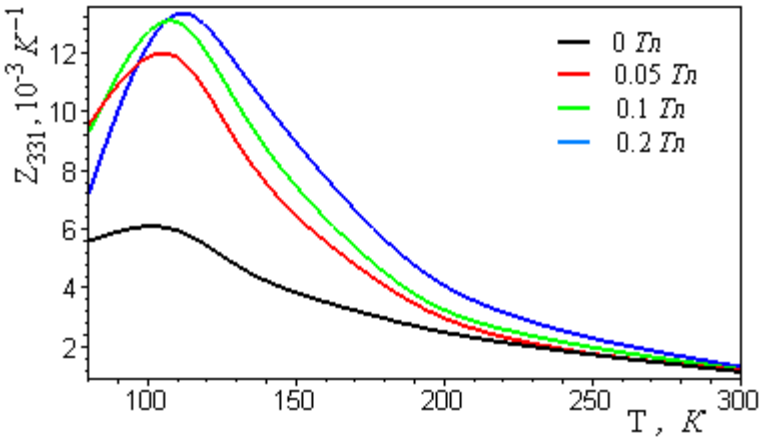
МАГНИТОТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ Bi-Sb С ДОБАВКОЙ Gd

О.И. Марков
Д-р физ.-мат. наук, доцент, O.I.Markov@mail.ru
ФГБОУ ВО «Орловский государственныйуниверситет имени И.С.Тургенева»

В работе представлены результаты исследования влияния магнитного поля на термоэлектрическую эффективность монокристаллов твердых растворов висмут-сурьма с добавками Gd. Проанализирован возможный механизм, влияющий на повышение термоэлектрической эффективности.

Ключевые слова: твердые растворы висмут-сурьма, редкоземельные элементы, термоэлектрическая добротность.

Монокристаллы сплавов висмут-сурьма известны как самые эффективные низкотемпературные термоэлектрики [1]. Одна из возможностей повышения эффективности сплавов висмут-сурьма состоит в использовании примесей гадолиния [2-4], другая в применении магнитного поля [1]. В данной работе исследовалось влияние магнитного поля на термоэлектрическую эффективность сплавов $Bi_{88}Sb_{12}Gd_{0.01}$ в интервале температур 77-300 К. Монокристаллы висмут-сурьма с добавками Gd выращивались методом зонной перекристаллизации [4]. Использовались стандартные стационарные методики измерения явлений переноса. Образцы вырезались электроискровой резкой вдоль тригональной оси. Магнитное поле направлялось вдоль биссекторной оси. Измеряемые компоненты удельного сопротивления, удельной теплопроводности и дифференциальной термоэдс употреблялись для расчета компоненты термоэлектрической добротности Z_{331} (рисунок).



Влияние магнитного поля на термоэлектрическую эффективность монокристалла висмут-сурьма

В правом верхнем углу рисунка приведена величина магнитной индукции. Из графиков видно, что максимальная термоэлектрическая эффективность имеет место при низких температурах в магнитных полях 0.1-

0.2 Тл. Без магнитного поля максимальное значение $Z_{33} = 6 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ достигается при температуре 105 К. Вблизи температуры кипения жидкого азота модуль дифференциальной термоэдс доходит до наибольших значений, однако повышение удельного сопротивления ведет в целом к уменьшению термоэлектрической эффективности. При температурах выше 120 К происходит значительное уменьшение модуля дифференциальной термоэдс, что ведет к существенному падению параметра термоэлектрической эффективности. С ростом магнитного поля максимум параметра эффективности немного сдвигается в область более высоких температур и при значении поля 0.2 Тл термоэлектрическая эффективность возрастает до величины $Z_{331} = 13.3 \cdot 10^{-3} K^{-1}$, т.е. увеличивается в 2.2 раза.

Как сообщалось ранее, примеси гадолиния не меняют концентрацию носителей заряда и зонную структуру кристаллов $Bi_{88}Sb_{12}$ [2,3]. Актуальные энергетические экстремумы сплавов $Bi_{88}Sb_{12}$ находятся в точке L зоны Бриллюэна для электронов и в точке T дырок. Как показывает расчет, введение примеси гадолиния приводит к увеличению отношения подвижностей электронов и дырок, что, при неизменных концентрациях носителей заряда пропорционально повышает отношение их парциальных электропроводностей. В магнитном отношение парциальных электропроводностей электронов и дырок становится еще более значительным, что в итоге приводит к значительному росту модуля полной термоэдс

$$\alpha_{ii} = \frac{\alpha_{ii}^{-} + \alpha_{ii}^{+} \cdot \sigma_{ii}^{+} / \sigma_{ii}^{-}}{1 + \sigma_{ii}^{+} / \sigma_{ii}^{-}},$$

где α_{ii}^{-}, α_{ii}^{+}-дифференциальная термоэдс электронов и дырок, σ_{ii}^{-}, σ_{ii}^{+}-удельная электропроводность электронов и дырок.

Литература

1. Goldsmid H.J. Bismuth-Antimony Alloys / H.J. Goldsmid// Physica Status Solidi (a) - 1970. - V.1. - № 1. - P.7-28.

2. Марков О.И. Влияние добавок гадолиния на термоэлектрические свойства сплавов висмут-сурьма / О.И. Марков // Прикладная физика. - 2011. - №5. - С.107-111.

3. Марков О.И. Влияние редкоземельных элементов на термоэлектрическую добротность сплавов висмут-сурьма / О.И. Марков //Термоэлектричество. - 2011. - № 4. - С. 67-72.

4. Низкотемпературный термоэлектрик и способ его получения: пат. 2644913 Рос. Федерации: МПК C22C 12/00/ Марков О.И.; заявители и патентообладатели: ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет» (ОГУ) -№ 2015117180; заявл. 05.05.2015; опубл. 14.02.2018, Бюл. № 5.

УДК 546.11:621.039:53.088.7

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФУЗИИ ВОДОРОДА В МЕТАЛЛАХ С ПРИМЕСНЫМИ ЛОВУШКАМИ

А.В. Звягинцева
Канд. техн. наук, доцент, zvygincevaav@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе охарактеризованы динамические кинетические изменения в металлах и сплавах, синтезированных методом электролиза, а именно в композите Ni_x–B_y–H_z. Представлена физическая модель влияния бора на диффузию водорода в электрохимическом никеле. Для математического отображения физической модели диффузии атомов водорода в никеле адаптировали цилиндрическую оболочку с примесными ловушками.

Ключевые слова: диффузия, кинетика, водород, цилиндрические оболочки, примесная ловушка, концентрационные напряжения.

Примеси внедрения (в данном случае, водорода) в металлах, находящихся в поле внутренних напряжений различной физической природы представляет интерес для ряда технических приложений. Комплексная визуализация физической и математической модели регулирования водородной проницаемостью металлов, с принятием во внимание внутренних напряжений в металлах и сплавах неодинакового физического происхождения при наличии примесных ловушек предоставляет возможность корректно аналитически обосновать уравнения диффузионной кинетики, которые в явном виде решить проблематично [1]. Подход, подробно описан в монографиях [2, 3].

Бор позиционируется в качестве примесной ловушки малого атомного радиуса – дефектом структуры. Для математического отображения физической модели диффузии атомов водорода в никеле адаптировали цилиндрическую оболочку с примесными ловушками, отображающуюся нестационарным уравнением диффузии в поле потенциала V.

Выбор подобной модельной системы обусловлен тем, что цилиндрические оболочки являются наиболее распространенными элементами конструкций, а усложнение математической модели не привело бы к изменению качественной картины поля концентрации атомов водорода. Исходя из вышеуказанного, дилемма количественного фиксирования атомов водорода математически идентифицируется путём решения уравнения (1) с учётом начальных и граничных критериев, с принятием во внимание внутренних напряжений неодинакового физического происхождения в композите Ni_x–B_y–H_z:

$$\frac{1}{D}\frac{\partial c}{\partial t} = \Delta c \pm \frac{\nabla\left(c\nabla V\right)}{kT}, \quad r_0 < r < R,$$
$$c\left(r,0\right) = 0, \quad c\left(r_0,t\right) = c_0, \quad c\left(R,t\right) = 0, \tag{1}$$

Более информативно в расширенном варианте статьи. Напряжения сжатия на внутренней плоскости цилиндрической оболочки характеризуются положительным знаком второго члена правой части уравнения (1). Величина этой части уравнения со знаком минус характеризует замешение напряжений растяжения внутренней плоскости оболочки на напряжения сжатия внешней стороны по логарифмическому закону.

Гетерогенность сегрегации примесных атомов бора в объеме никеля предопределяет концентрационные напряжения в металле, их первый инвариант представляется:

$$\sigma_{\text{u}} = \frac{2\beta\left(c_1 - c_2\right)\left(1+\nu\right)}{\left(1-\nu\right)\ln\frac{R}{r_0}}\left\{1 + 2\ln\frac{r}{R} + \frac{2\left(\frac{r_0}{R}\right)^2}{1-\left(\frac{r_0}{R}\right)^2}\ln\frac{r_0}{R}\right\}. \tag{2}$$

Для композита Ni_x–B_y–H_z обозначим физическую сущность показателя β - искажение параметров кристаллической решётки никеля при введении в нее бора [4]. Конверсия объема никеля при замене атома Ni атомом B отображается уравнением:

$$\delta v = \frac{4}{3}\pi\left(r_{Ni}^3 - r_B^3\right) \cong 4{,}0439 \cdot 10^{-30} м^3 \tag{3}$$

где r_{Ni} = 1,24·10^{-10} м, r_B= 0,98·10^{-10} м.

Надлежащее искажение параметра кристаллической решетки никеля эквивалентно:

$$\beta = \frac{\Delta a}{a} = \frac{1}{3}\cdot\frac{\delta v}{v} \cong 0{,}5 \tag{4}$$

где $v = \frac{4}{3}\pi\left(r_{Ni}^3\right) \cong 7{,}9864 \cdot 10^{-30}$м^3– объем атома Ni.

Снижение деформационных искажений решетки достигается дополнительным включением водорода и и его сегрегацией в окрестности бора - примесной ловушки.

Литература

1. Власов Н. М., Челяпина О. И. Параметры управления диффузионной кинетикой в цилиндрических оболочках // Известия РАН. Серия физическая. - 2015. - Т. 79, № 9. - С. 1225-1229.

2. Власов Н.М., Звягинцева А.В. Математическое моделирование водородной проницаемости металлов /Монография. - Воронеж: ВГТУ, 2012. - 247 с.

3. Структурные и примесные ловушки для точечных дефектов: монография /А.В. Звягинцева. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017. 180 с.

4. Звягинцева, А.В. Математическая модель водородной проницаемости металлов с примесными ловушками при наличии внутренних напряжений различной физической природы / А.В. Звягинцева // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. - 2019. - № 19-21. - С. 29-44.

УДК 620.697.34

МЕТОД ДИСТАНЦИОННОЙ ФИКСАЦИИ УТЕЧЕК В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

С.А. Сазонова[1], С.Н. Кораблин[2], В.Ф. Асминин[3], А.В. Звягинцева[4]
[1]Канд. техн. наук, доцент, ss-vrn@mail.ru
[2]Аспирант, korablin2015@inbox.ru
[3]Д-р техн. наук, профессор, asminin.viktor@yandex.ru
[4]Канд. техн. наук, доцент, zvygincevaav@mail.ru
[1,2,4] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
[3]ФГБОУ ВО Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

В данной работе приводится описание разработанного метода дистанционной фиксации факта существования или отсутствия утечек в функционирующих системах теплоснабжения. Приведены результаты вычислительного эксперимента, сопоставленные с результатами расчета параметров в системе по результатам манометрической съемки.

Ключевые слова: системы теплоснабжения, метод фиксации утечек, вычислительный эксперимент, научная аналогия.

В работе [1] подробно рассмотрена задача статического оценивания состояния систем теплоснабжения (СТС), разработанная на основе математических моделей потокораспределения для СТС [2], полученных с помощью применения функционального (энергетического) эквивалентирования [3].

Задача определения величины и местоположения утечек для систем водо- и газоснабжения на основе энергетического экевивалентирования подробно сформулирована и реализована в работе [4]. В указанной работе не рассматривалась задача о факте существования утечки в гидравлических системах. Необходимо комплексное решение трех задач диагностики утечек: о ее местоположении, об ее объеме, а так же о факте существования утечек, которое позволит при технической диагностике дистанционно с помощью приборов учета на системе, данных манометрической съемки и обработке информации на компьютере в режиме реального времени с помощью разработанных математических моделей, воссоздать полную информацию об исследуемом объекте и оперативно предоставить информацию, для лица принимающего решение, о наличие в сложной системе утечек или несанкционированных отборов целевого продукта.

Рассмотрим задачу о фиксировании факта существования утечки для систем теплоснабжения. Проверять наличие или отсутствие утечки предполагается выполнять между двумя статическими оцениваниями. Для решения задачи о наличие в СТС ординарной утечки будем использовать теорию обнаружения [5], предполагающую статистический подход для ее решения.

Для обнаружения естественной утечки применим научную аналогию. Применим процесс фильтрации сигналов, возникающих на фоне шумов. При этом за сигнал с неизвестной амплитудой будем считать утечку в системе, которую мы сможем зафиксировать по факту возникновения заметных изменений в режиме функционирования СТС (всплеск амплитуды). Под шумом будем понимать относительно установившейся, имеющий усредненную амплитуду, режим потребления целевого продукта пользователями гидравлической системы. Предлагается применить подход с фильтрацией сигналов на фоне шума. Предлагаемый подход позволит оперативно обнаружить утечку, устранить ее, тем самым повысить уровень безопасности системы и обеспечить экономию средств на ее ремонт.

Для подтверждения работоспособности предложенного метода выполнен вычислительный эксперимент в соответствии с выбранной расчетной схемой СТС (рис. 1). По результатам вычислительного эксперимента для случая возникновения утечки в узле 28 СТС построен график (рис. 2) распределения отклонений по результатам манометрической съемки от расчетных значений.

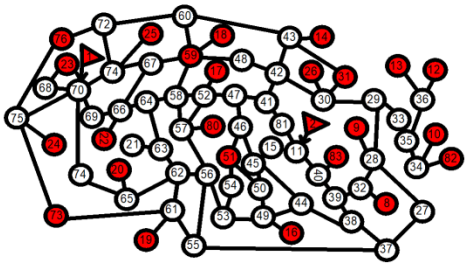


Рис. 1. Расчетная схема СТС

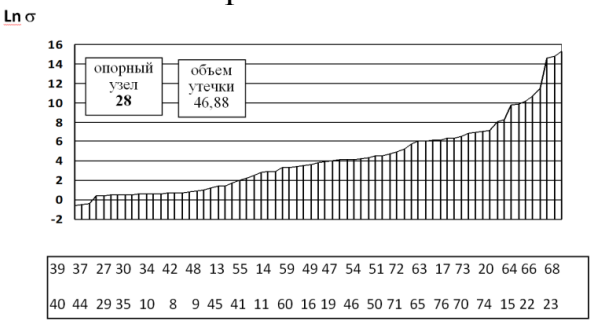


Рис. 2. График распределения отклонений по результатам манометрической съемки от расчетных значений

Литература

1. Сазонова С.А. Решение задачи статического оценивания систем теплоснабжения // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2011. - Т. 7. - № 5. - С. 43-46.

2. Сазонова С.А. Итоги разработок математических моделей анализа потокораспределения для систем теплоснабжения // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2011. - Т. 7. - № 5. - С. 68-71.

3. Квасов И.С., Панов М.Я., Щербаков В.И., Сазонова С.А. Энергетическое эквивалентирование больших гидравлических систем жизнеобеспечения городов / Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2001.- № 4. - С. 85-90.

4. Квасов И.С., Панов М.Я., Сазонова С.А. Диагностика утечек в трубопроводных системах при неплотной манометрической съемке / Известия высших учебных заведений. Строительство. - 1999. - № 9. - С. 66-70.

5. Репин В.Г., Тартаковский Г.П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем. - М.: Советское радио, 1977. - 432 с.

УДК 621.03.05

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРИДНЫХ СТРУКТУР МЕТАЛЛОВ

Н. В. Брысенкова[1], Ю.Н. Шалимов[2], И. Л. Батаронов[3]
[1]Начальник экологической безопасности и охраны труда, соискатель, ng_v@mail.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, shalimov_yn@mail.ru
[3]Д-р физ.-мат. наук, профессор, vmfmm@mail.com
[1]АО «Концерн «Созвездие»
[2,3]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе приводятся результаты исследований метода на основании двух методик определения количественных и энергетических характеристик образования гидридов и абсорбции водорода в компактном никеле, мелкодисперсном никеле, никеле на графите и никель-хромовом сплаве.

Ключевые слова: электрохимический метод определения водорода в металле, метод внутреннего трения, вакуумная экстракция, наводороживание, гидрид, абсорбция, адсорбция, диффузия, энергия связи.

По настоящее время проблема хранения и безопасного использования водорода остается открытой, также как и энергозатратное его получение. Гидридное хранение имеющее место быть в существующих технологиях обеспечивает лишь малый ресурс применения, а баллонное в комбинированных системах приводит как аварийным рискам, так и к ограничениям по массе [1].

Противоречия, возникающие при использовании гидридного хранения водорода, связаны с неполным пониманием природы взаимодействия водорода с металлом с учетом различных форм (адсорбированного и абсорбированного водорода, твердофазной диффузии). Поэтому нами предпринята попытка проведения комплексного метода исследования по изучению особенностей металлической структуры некоторых элементов, используемых в качестве основных электродных материалов для водородных аккумуляторов.

Известно, что металлы подгруппы железа подвержены наводороживанию. Много работ посвящено изучению влияния водорода на коррозионные процессы в сталях. Электрохимическая методика определения количественных и энергетических характеристик наводороживания первоначально была применена на компактном никеле в работах А.П. Пчельникова и Д.С. Сироты [2] и в дальнейшем нами развита для мелкокристаллической структуры никеля, полученного на основе никеля Ренея и никеля на графите. За основу этой методики взято то, что растворение никеля сопровождается адсорбцией молекул воды, не зависимо от pH, в области потенциалов от – 0.5 до 0.5 В. В щелочном растворе никель находится в пассивном состоянии и именно в этом интервале потенциалов возможна ионизация водорода из предварительно наводороженного электрода при анодной поляризации.

Лигирование никеля хромом может увеличить степень поглощения водорода, так как хром значительно больше подвержен наводороживанию. При потенциалах от -0,5 до 0,5В при pH 12-14 сплав покрыт Cr_2O_3. Таким образом, также как и на никеле можно ожидать растворение водорода в этой области после наводороживания.

Из анализа способов определения водорода в металле следует, что необходим комплексный подход с использованием как электрохимических, так и физических методов (метод внутреннего трения и вакуумной экстракции) [3].

Метод внутреннего трения позволяет не только определить энергию активации диффузионного процесса водорода в металле, но и количественно определить его в образце. При этом как электрохимический, так и физический методы хорошо коррелирует по энергиям и по количеству водорода в образцах. Таким образом при комплексном подходе получены энергии активации диффузии водорода из образцов: для никеля – 0,32 эВ и для хрома – 0,7 эВ.

Литература

1. Gavrilova N. V., Gusev A. L., Kudryash V. I., Harchenko E. L., Shalimov Y. N. Analitical opportunities vary methods of definition hydrogen in the metals// International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology 52 (8) (2008) P. 10-26

2. Sirota D. S., Pchelnikov A. P. Kinetics of the selective ionization of the hydrogen from the hydrozination nickel in the alkaline solutions// Protection of metals V.40, No. 1(2004).

3. Polyanskii A. M., Polyanskii V. A., Popov-Dumin D. B. Application of the method of the high-temperature vacuum-extraction of the hydrogen metals for definition density of defects in the structure and the bond energy of the hydrogen in metals// International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology 21 (1) (2008) P. 42-46.

УДК 539.374

МЕТОД ПОЛИЛИНЕЙНЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ В РАЗРЕШЕНИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭРИДИТАРНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ

А.П. Бырдин[1], А.А. Сидоренко[2], О.А. Соколова[3], В.П. Шелякин[4]
[1]Канд. физ.-мат. наук, доцент
[2]Канд. техн. наук, доцент, sidorenko6302@mail.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, sokolovaoa203@mail.ru
[4]Канд. техн. наук, доцент, 437712@mail.ru
[1.2,3,4]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Методом интегральных рядов Вольтерра получены решения системы определяющих физических уравнений с нелинейными операторами.

Ключевые слова: операторные уравнения, полилинейные функционалы, эридитарные среды.

Реологические соотношения для рассматриваемого здесь случая нелинейной среды имеют вид

$$\sigma_{ij}(t) = \lambda_0(\hat{K}_1 + \hat{K}_3)\theta(t)\delta_{ij} + 2\mu_0\hat{G}_1 e_{ij}(t), \tag{1}$$

где σ_{ij}, e_{ij} - компоненты тензоров напряжений и деформаций (в дальнейшем $\sigma_{ii} = \sigma_i$, $e_{ii} = e_i$), θ - объемная деформация; δ_{ij} - символ Кронекера; λ_0, μ_0 - нерелаксированные значения упругих постоянных Ламе; $\hat{K}_1, \hat{G}_1$ и $\hat{K}_3$ - линейные и нелинейный операторы вида

$$\hat{A}_n u(t) = \int_0^t \cdots \int A_n(t_1,\ldots,t_n)\prod_{k=1}^{n} u(t-t_k)dt_k, \tag{2}$$

где $K_1(t)$, $G_1(t)$, $K_3(t_1,t_2,t_3)$ - ядра релаксации, удовлетворяющие условиям [1] затухающей памяти и симметричности по перестановкам аргументов

$$\begin{gathered} K_1(t) = \delta(t) - d_1 x\Lambda_1(\chi,t), \qquad G_1(t) = \delta(t) - \frac{d_2}{\chi}M_1\left(\frac{1}{\chi},t\right), \\ K_3(t_1,t_2,t_3) = a_3\prod_{n=1}^{3}K_1^0(t_n), \quad d_1 = \frac{\lambda_0-\lambda_r}{\lambda_0}, \quad d_2 = \frac{\mu_0-\mu_r}{\mu_0}, \end{gathered} \tag{3}$$

где $d_{1,2}$– дефекты упругих модулей Ламе, λ_r, μ_r - релаксированные значения упругих модулей, $t = t'\sqrt{\beta_1\beta_2}$, t' - сек., $\beta_{1,2}^{-1}$ - времена релаксации, $\chi = \sqrt{\dfrac{\beta_1}{\beta_2}}$, функция $K_1^0(t)$ определена ниже.

Разрешенная относительно деформаций подсистема в определяющем соотношении (1), содержащая нормальные напряжения, имеет вид

$$3e_i(t) = \hat{K}^{-1}\sigma^0(t) + \hat{G}_1^{-1}\left(\frac{2\sigma_i(t) - \sigma_j(t) - \sigma_k(t)}{2\mu_0}\right), \quad (i, j, k = 1,2,3, cikl), \qquad (4)$$

где $\sigma^0 = \dfrac{\sigma}{K_0}$, σ - гидростатическая составляющая тензора напряжений, K_0 - нерелаксированный объемный модуль упругости,

$$\hat{K} = \hat{K}_1^0 + \lambda_0^0\hat{K}_3, \qquad \hat{K}_1^0 = \lambda_0^0\hat{K}_1 + \mu_0^0\hat{G}_1, \quad \lambda_0^0 = \frac{\lambda_0}{K_0}, \qquad \mu_0^0 = \frac{2\mu_0}{3K_0}.$$

Для построения в явном виде оператора $\hat{K}^{-1}$ представим его рядом полилинейных операторов $\hat{B}_{2n+1}$ $(n = 0,1,\ldots)$ вида (2). Ядра введенных операторов найдем методом, развитым в [2]. В результате получим рекуррентную систему уравнений, связывающих Лаплас-трансформанты заданных и искомых ядер операторов:

$$B_1^*(p)K_1^{0*}(p) = 1,$$

$$B_3^*(p_1, p_2, p_3) = -\lambda_0^0 B_1^*\left(\sum_{n=1}^{3} p_n\right)K_3^*(p_1, p_2, p_3)\prod_{n=1}^{3} B_1^*(p_n), \qquad (5)$$

$$\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots$$

Из соотношений (5) получим

$$B_1(t) = \delta(t) + A\prod_1(\chi_1 t) + B\prod_2(\chi_2 t),$$

$$B_3(t_1, t_2, t_3) = -\lambda_0^0 a_3 B_1(t_1)\prod_{n=2}^{3}\delta(t_1 - t_n),$$

где параметры $A, B, \chi_{1,2}$ - зависят от $\chi, d_{1,2}, \lambda_0^0, \mu_0^0$, ядра ползучести B_1, B_3 получены в случае, когда $\Lambda_1(t), M_1(t)$ соответствуют модели стандартного линейного тела. Изучено поведение ядер ползучести при $\chi << 1$, $\chi >> 1$.

Литература

1. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. – М.: Наука, 1977. – 384 с.

2. Бырдин А.П., Розовский М.Н. Метод рядов Вольтерра в динамических задачах нелинейной наследственной упругости. – Изв. АН Арм. ССР, 1985, №5. – с. 49-56.

УДК 621.311

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ГИБРИДНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ РЕГИОНАЛЬНО ОБОСОБЛЕННОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В.З. Ковалев[1], О.В. Архипова[2], А.В.Черкасова[3], А.О. Парамзин[4], Е.Д. Егорова[5]
[1]Д-р техн. наук, профессор, vz_kovalev@mail.ru
[2]Ст. преподаватель, arkh82@mail.ru
[3] Магистрант, a.v.cherkasova@mail.ru
[4]Магистрант, prado1404@yandex.ru
[5]Студент evgenia_egorova23@mail.ru
[1,2,3,4]ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»
[5]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе водится понятие электротехнического комплекса «Гибридный накопитель энергии», как составной части сложного регионально обособленного электротехнического комплекса. Строится методика оптимизации электротехнического комплекса «Гибридный накопитель энергии». Показана эффективность предложенного подхода.

Ключевые слова: гибридный накопитель энергии, оптимизация, регионально обособленный электротехнический комплекс, себестоимость производства электроэнергии на протяжении всего жизненного цикла.

Характерная особенность построения системы электроснабжения Российской Федерации – наличие изолированных системы электроснабжения, которые обеспечивают энергией около 30 тыс. населенных пунктов. Среди них преобладают поселения «с числом жителей менее 500 человек - около 23 000 поселений [1], расположенных преимущественно на территории Крайнего Севера и приравненной к нему. Общими проблемами здесь являются сезонные поставки горюче-смазочных материалов, сложная логистика и, как следствие, высокая себестоимость производимой электрической энергии, доходящая до 30-40 и выше руб/кВт*ч [2], сезонность и «индивидуальность» характера потребления электрической энергии в отдельных поселениях [3], нестабильность характеристик возобновляемых источников энергии. Необходимость дальнейшего развития этих территорий обусловливает задачу снижения удельных затрат на энергообеспечение, в том числе, за счет оптимизации гибридных накопителей энергии в составе ветро-дизельных и/или солнечно-дизельных электростанций. Под гибридным накопителем энергии будем понимать электротехнический комплекс (ЭТК ГНЭ) состоящий: из не менее двух накопителей электрической энергии (в общем случае различной физической природы), из преобразователя рода тока (постоянный в переменный и переменный в постоянный и/или переменный с одними параметрами в переменный с другими параметрами), зарядного устройства, системы управления ЭТК ГНЭ, включающей в себя функции управления накопителями, преобразователем, зарядными устройствами накопителей и

оптимального согласования потоков энергии силовых компонент ИСЭ. При этом ЭТК ГНЭ является составной частью сложного электротехнического комплекса [3] регионально обособленного электротехнического комплекса (РОЭТК). Предложенная формулировка понятия ЭТК ГНЭ опирается на существующие в мировой научной практике понятия гибридного накопителя энергии [4] и энергетического подхода к анализу и синтезу энергоэффективных электротехнических комплексов [3].

Особенностью данной постановки задачи оптимизации, является минимизация LCOEr - расчетной себестоимости производства электроэнергии на протяжении всего жизненного цикла всей сети электростанций входящих в РОЭТК, с учетом структуры и состава ЭТК ГНЭ:

$$LCOEr = \frac{\sum_{t=1}^{25} \frac{IR_d(t) + OMR_d(t) + FR_d(t) + IR_v(t) + OMR_v(t) + FR_v}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{25} \frac{ER(t)}{(1+r)^t}}$$

где IR_d – капитальные затраты (инвестиции, осуществленные в году) для дизельных двигателей; OMR_d, FR_d, IR_v. OMR_d, FR_v – виды операционных расходов и расходов на техническое обслуживание ветрогенераторов (и/или солнечных генераторов) включая ЭТК ГНЭ, ER – суммарная годовая потребность в электроэнергии всего РОЭТК. Отметим, что предложенная в настоящей работе LCOEr – суть модификация понятия «расчетная себестоимость производства электроэнергии на протяжении всего жизненного цикла». Предлагаемая методика, на тестовых задачах, позволила снизить показатель LCOEr на 12-15%, в зависимости от выявленной особенностей энергопотребления рассматриваемого региона.

Литература

1. Башмаков, И.А. Повышение эффективности энергоснабжения в северных регионах России / И.А.Башмаков // Энергосбережение. - 2017. - №2. - С. 46-53.

2. Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф., Ижбулдин А.К. Автономные энергоисточники на севере Дальнего Востока: характеристика и направления диверсификации // Пространственная экономика. 2018. № 1. С. 101–116. DOI: 10.14530/se.2018.1.101-116.

3. Архипова О.В., Ковалев В.З., Хамитов Р.Н. Методика моделирования регионально обособленного электротехнического комплекса // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. №1. С. 173-180.

4. Dong C., Jia H., Li X., Xu Q., Xiao J., Xu Y., Tu P., Lin P., Wang P. Time-Delay Stability Analysis For Hybrid Energy Storage System With Hierarchical Control In Dc Microgrids / IEEE Transactions on Smart Grid. 2018. Т. 9. № 6. С. 6633-6645.

УДК 621.316.17

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ СЕТЯМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Л.Н. Титова[1], В.А.Сергеев[2]
[1] Канд. техн. наук, доцент, tln64@mail.ru
[2] Канд. техн. наук, vladim.sergeeff2010@yandex.ru
[1]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
[2]Закрытое акционерное общество «МЭЛ», г. Воронеж

В работе обсуждаются перспективы замены низковольтных электрических сетей переменного тока промышленной частоты электрическими сетями постоянного тока с целью внедрения энергосберегающего оборудования и технологий. Подробно анализируются современные достижения в области электромеханики, электропривода, светотехнических устройств и устройств автоматики, позволяющие сделать повсеместное внедрение электрических сетей постоянного тока инвестиционно привлекательным.

Ключевые слова: постоянный ток, конвертер « DC/ DC », шинные конструкции, инверторные электроприводы, низковольтные кросс-блоки.

В современных условиях внедрение коммерчески успешных энергосберегающих мероприятий всецело зависит от глубины проработки проектных решений и оценки имеющихся рисков. В дополнение к уже обсуждавшимся в предыдущих работах [1-3] материалам, в настоящей работе сформулированы технические требования к проектным решениям, которые необходимо учитывать при организации электроснабжения постоянным током.

В первую очередь, проектные решения должны быть направлены на повышение электробезопасности электроустановок потребителей. Это достигается не только снижением напряжения электроустановки до уровня безопасного сверхнизкого (не более 48 В), но и применением специальных мер защиты от поражения электрическим током. К числу таких мер в сетях постоянного напряжения относятся: защитное разделение цепей различных напряжений (силовые и осветительные сети на постоянном напряжении выполняются на различные номинальные напряжения), применение безопасного сверхнизкого напряжения, защитное уравнивание потенциалов, а также защитное отключение аварийных участков цепи.

Во вторую очередь, проектные решения должны быть энергосберегающими. Возможности энергосберегающих технологий реализуются, как при снижении потерь при передаче электрической энергии, так и при снижении установленной мощности приемников электрической энергии. Дополнительно, в сетях постоянного напряжения не требуется проведение мероприятий по компенсации реактивной мощности, в том числе не требуется использование конденсаторных установок. Применение последних часто приводит к возникновению резонансных явлений, связанных с перенапряжениями, электромагнитными помехами и

ухудшением качества передаваемой электроэнергии. Еще одним направлением внедрения энергосберегающих мероприятий является симметрирование нагрузок потребителей на постоянном токе. В трехфазных электрических сетях низкого напряжения с системами заземления TN и TT полное симметрирование нагрузок однофазных потребителей практически невозможно, а значит, неизбежны потери в нулевых рабочих проводниках линий электропередачи, а также в трансформаторах.

Третья группа требований к проектным решениям касается необходимого уровня унификации электроустановочной арматуры и средств учета электрической энергии на объектах. Необходимо заметить, что применение систем постоянного напряжения, например, в жилом секторе диктует необходимость выполнения розеточных линий от единого центра - кросс-блока, в котором могут быть установлены разнообразные преобразователи уровня напряжения (DC/ DC конверторы).

Четвертая группа требований к проектным решениям заключается в повышении надежности электроснабжения, связанном с защитой от коммутационных и атмосферных помех.

Наконец, проектные решения в области организации электроснабжения на постоянном напряжении должны обладать минимально возможной стоимостью. Факторами снижения стоимости, например, электромонтажных работ являются: снижение расхода проводникового материала при сокращении длины электрических сетей, снижение расходов на изоляцию (магистральные сети постоянного напряжения могут выполняться в виде голых шин) и.т.д.

Технико-экономическое обоснование применения проектных решений может быть выполнено по критерию полной стоимости владения электрическими сетями и электроустановками потребителей [3].

Литература

1. Сергеев В.А. Перспективы энергосбережения при организации электроснабжения жилых комплексов на постоянном токе [Текст] /В.А. Сергеев, В.Н. Крысанов, Л.Н. Титова //Энергобезопасность и энергосбережение. 2017. №4. С. 22-28.

2. Писаревский А.Ю. Постоянный ток в системах транспортировки сжиженного газа [Текст] / А.Ю. Писаревский, А.В. Тикунов, Л.Н. Титова //В книге: Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве: труды Международной науч.-техн. конф., посвященной памяти д.т.н., профессора Зайцева Александра Ивановича. Воронеж - 2019. - С.302-305.

3. Астахов Р.С. Полная стоимость владения уличным светильником, как критерий выбора светильника уличного освещения [Текст] / Р.С. Астахов, Л.Н. Титова //Прикладные задачи электромеханики, энергетики, электроники. Инженерные идеи XXI века: труды Всероссийской студенческой науч.- техн. конф. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет» - 2014. - С.104-106.

УДК 621.3.051.2

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ ПРОВОДОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Р.А. Фокин[1], В.Г. Кульков[2]
[1]Магистрант, roman_fokin_70@mail.ru
[2]Д-р физ.-мат. наук, доцент, vikulkov@yandex.ru
[1,2] ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

В работе проведен анализ статистических данных по аварийным ситуациям на линиях электропередач Волгоградской области вследствие обледенения проводов. Обсуждается вопрос применения комбинированного метода борьбы с этим явлением.

Ключевые слова: линии электропередач, обледенение проводов, аварийность, экономический ущерб.

При обледенении проводов происходит снижение прочности, срока службы и безопасности ЛЭП, так как увеличивается их лобовое сопротивление ветру, что может привести к обрывам проводов и повреждениям опор. Поэтому вопросы эффективной борьбы с явлением образования льда на проводах является актуальной [1].

Под обледенением проводов необходимо понимать различные виды твердых осадков: мокрый снег, изморозь, гололед и их сочетания. Мокрый снег при температуре около 0°С обладает большой липкостью, имеет объемный вес 0,12 – 0,3 г/см^3. Изморозь – это белый, кристаллический, непрозрачный осадок, с удельным весом 0,02-0,3 г/см^3, образующийся при температуре -10 – -40°С. Гололед – это твердый, сплошной полупрозрачный осадок с удельным весом 0,6 – 0,9 г/см^3, чаще образующийся при дождях и туманах.

Налипание мокрого снега, гололед и изморозь занимают 17% среди всех опасных гидрометеорологических явлений, которые являются причинами аварий в электроэнергетике. В осенне-зимний период 2018 – 2019 гг. зафиксирован рост (+12%) опасных гидрометеорологических явлений в сравнении с осенне-зимним периодом 2017-2018 гг.

Сущность явления обледенения – это осаждение с последующим замерзанием капель воды на поверхности проводов или налипания мокрого снега при скорости ветра не превышающей 10 – 20 м/сек. Обледенение происходит с наветренной стороны проводов, если ветер перпендикулярен ЛЭП и равномерно по всей длине, если ветер направлен параллельно проводу. В последнем случае гололед менее опасен для ЛЭП, так как имеет более пористую структуру и меньшую плотность.

Обледенение проводов вызывают так называемую «пляску» проводов, то есть хаотические их колебания с двумя степенями свободы, а также нарушение регулировки проводов и тросов, их обрыв, перекрытие линейной изоляции высоковольтной линии при таянии льда. Эти эффекты вызывают разрушение

опор. Подобные аварии приносят значительный экономический ущерб. Длительность их устранения составляет от нескольких часов до нескольких дней. Это требует определенных затрат. По статистике в энергосистемах по причине гололеда происходит от 6 до 8 крупных аварий в год [3].

Аварийность на объектах энергетики Волгоградской области

осенне-зимний период, гг.	Кол-во аварийных отключений по причине гололедообразования, шт.	Общее количество аварийных отключений, шт.	Доля аварийных отключений по причине гололеда от общего количества, %
2017	26	5680	0,45
2018	80	4751	1,68
2019	78	4500	1,73

В таблице показано общее количество аварийных отключений за 2015-2019 гг. по данным ПАО «МРСК Юга» – «Волгоградэнерго», в том числе по причине гололедообразования [4]. Экономический ущерб по причине образования льда на проводах по тем же данным составил 130, 310 и 90 тыс. руб. за 2017, 2018 и 2019 гг соответственно.

Борьба с обледенением проводов включает в себя комплекс средств. К ним нужно отнести механические, электротермические, физико-химические и электромеханические методы [5].

Каждый из перечисленных методов имеет свои преимущества и недостатки. В качестве более эффективного метода борьбы с обледенением проводов предлагается комбинированный метод, основанный на одновременном использовании метода плавления толстых прослоек льда с механическим удалением остатков.

Литература

1. Левченко И.И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 494 с.

2. Ратушняк В.С., Ратушняк В.С., Ильин Е.С., Вахрушева О.Ю. Статистический анализ аварийных отключений электроэнергии из-за гололедообразования на проводах ЛЭП на территории РФ. // Электронный научный журнал «Молодая наука Сибири». – № 1, 2018.

3. Костин В.Н. Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения: – СПб.: СЗТУ, 2004. – 184 с.

4. Интернет-ресурс https://volgogradenergo.mrsk-yuga.ru

5. Никитина И.Э., Абдрахманов Н.Х., Никитина С.А. Способы удаления льда с проводов линий электропередачи // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2015. – №3. – С. 794-824.

УДК 544.6.078.328

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ НЕВОДНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ В РАСШИРЕННОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР

С.В. Стаханова[1], И.С. Кречетов[2], Н.В. Свириденкова[3], К.Г. Статник [4].,
Р.Р. Галимзянов [5], М.В. Астахов [6]
[1]Канд. хим. наук, доцент, stakhanovasv@gmail.com
[2]Канд. физ-мат. наук, доцент, ilya.krechetov@gmail.com
[3]Канд. хим. наук, доцент, sviridenkovanv@gmail.com
[4]Студент магистратуры, ksushay2312@mail.ru
[5]Инженер, gal_ruslan@yahoo.com
[1]Д-р хим. наук, профессор, astahov@misis.ru
[1,3]ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева»
[2,4,5,6]ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС»

Разработаны многокомпонентные электролиты на основе циклических карбонатов, обеспечивающие эксплуатацию суперконденсаторов в интервале температур от -20 °С до 80 °С, а также многокомпонентные электролиты на основе ацетонитрила и сложных эфиров, обеспечивающие работоспособность суперконденсаторов в интервале температур от -60°С до 65 °С.

Ключевые слова: неводные электролиты, суперконденсаторы, пропиленкарбонат, этиленкарбонат, ацетонитрил.

Суперконденсаторы (СК) представляют собой электрохимические устройства, предназначенные для быстрого накопления и импульсной отдачи энергии. Аккумулирование и хранение заряда в СК происходит в двойном электрическом слое, возникающем на границе раздела фаз электрод-электролит. Высокая удельная ёмкость СК обеспечивается за счет развитой поверхности углеродных электродных материалов, доступной для ионов электролита. Температурный интервал эксплуатации СК определятся свойствами электролита.

Современные серийно выпускаемые СК с электролитами на основе ацетонитрила имеют ограниченные возможности при эксплуатации в условиях экстремально низких (ниже - 40 °С) и высоких (выше 60 °С) температур. Существует потребность в СК с более широким температурным интервалом работоспособности, прежде всего, для территорий Арктики и Крайнего Севера, где зимой температура может опуститься до минус 50-60 °С, а летом достигать 40 °С. Не менее важна задача разработки электролитов для эксплуатации СК при повышенной до 80 °С температуре, которые могут найти применение, например, в комбинированных системах энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии в южных регионах.

Для эксплуатации при низких температурах (от - 60 °С) были разработаны многокомпонентные электролиты на основе ацетонитрила и тетрафторобората метилтриэтиламмония. Для обеспечения работоспособности при низких

температурах в состав электролитов вводили апротонные полярные сорастворители, обладающие низкими температурами плавления и вязкостью. Электрохимические испытания СК с разработанными электролитами проводили методами гальваностатического заряда-разряда и циклической вольтамперометрии. Показано, что наилучшими характеристиками обладают электролиты, содержащие в качестве сорастворителей линейные сложные эфиры. При температуре - 60 °С удельная ёмкость СК с разработанными электролитами составляет не менее 95 % от данной величины при комнатной температуре. Разработанные электролиты обеспечивают высокие ресурсные характеристики СК во всем интервале температур, что проявляется в сохранении не менее 85 % от первоначальных ёмкостных характеристик после 10000 циклов заряда-разряда.

Для создания высокотемпературных электролитов в качестве растворителя использовали пропиленкарбонат (ПК), температура кипения которого составляет 242 °С. В качестве ионогенов были выбраны 1,1-диметилпирролидиния тетрафтороборат и 5-азониаспиро[4.4]нонана тетрафтороборат, которые, как было показано в ходе предварительных исследований, наиболее электрохимически стабильны в условиях повышенных температур. Недостатком электролитов на основе ПК является высокая вязкость, обусловливающая значительное снижение удельной электропроводности электролитов на его основе, особенно при температурах ниже 0 °С. С целью повышения электропроводности были приготовлены многокомпонентные электролиты на основе ПК, содержащие сорастворители, повышающие диэлектрическую проницаемость жидкой фазы (этиленкарбонат) или понижающие вязкость электролита (бутилацетат). Показано, что использование смеси циклических карбонатов и сложных эфиров в качестве растворителя в составе электролита позволяет повысить его удельную электропроводность на 40 %, а удельную энергоёмкость суперконденсатора на 20 %, причем наиболее существенное улучшение свойств СК с разработанными электролитами наблюдается при температурах от -20 °С до 0 °С. Ресурсные испытания показали, что разработанные электролиты обеспечивают длительную эксплуатацию суперконденсаторов как при комнатной, так и при повышенной до 80 °С температурах.

УДК 004.652.8

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Н.В. Сердюкова[1], Т.Э. Шульга[2]
[1]Аспирант, nadejda.serd@yandex.ru
[2]Д-р физ.-мат. наук, профессор, shulga@sstu.ru
[1,2] ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

В данной работе приводятся результаты моделирования реляционной структуры данных, позволяющей формировать различные расчетные модели электропотребления, учитывающие динамику изменений рынка электроэнергии и мощности, и агрегировать их для учета и расчета соответствующих технико-экономических показателей.

Ключевые слова: электропотребление, расчетная модель, технико-экономические показатели, реляционная модель, алгоритмы обработки данных.

Построение расчётных моделей для конкретного потребителя электроэнергии и расчет на их основе стоимости потребленной электроэнергии является трудоемкой и дорогостоящей задачей, требующей наличия соответствующих систем обработки информации.

Под расчетной моделью в работе понимаются правила определения затрат на электроэнергию, соответствующие определенному набору технико-экономических условий электроснабжения и характеристикам объектов учета.

Между тем предлагаемые различными авторами модели для расчета величин электропотребления либо являются устаревшими и не соответствуют современному законодательству, либо предполагают лишь реализацию расчетов по нескольким вариантам, прописанным в актуальных нормативных актах для ценовых и неценовых зон, и касаются лишь энергосбытовых организаций, являющихся гарантирующими поставщиками (ГП) [1]. В связи с этим такие модели не позволяют учитывать динамику изменений рынка электроэнергии и мощности и более расширенные алгоритмы расчета, используемые независимыми энергосбытовыми организациями (НЭСО), которые в отличие от ГП свободны в выборе потребителей и порядке определения цен и стоимости на электроэнергию. Построенные на основе этих моделей системы для обработки данных об электропотреблении при изменении отраслевого законодательства или использовании их НЭСО потребовали бы формирования новых моделей по соответствующим данным системам принципам разработки.

В связи с указанными выше недостатками в существующих моделях для расчета величин электропотребления было произведено моделирование структуры базы данных, формирующей расчетные модели электропотребления, учитывающие динамику изменений рынка электроэнергии и мощности, и

предложены соответствующие этим моделям алгоритмы обработки данных о технико-экономических показателях электропотребления.

Для решения поставленной задачи был выполнен теоретико-множественный анализ технико-экономических показателей электропотребления, участвующих в формировании стоимости потребленной электроэнергии [2], а также характеристик или признаков, в разрезе которых учитываются величины электропотребления [3]. По результатам этого анализа была разработана структура данных, позволяющая формировать различные расчётные модели электропотребления и агрегировать их для учета и расчета соответствующих технико-экономических показателей.

Предлагаемая реляционная модель данных для обработки информации о технико-экономических показателях электропотребления [4] позволяет добавлять новые показатели и вводить их значения, а также указывать для них новые правила расчета без изменения структуры данных, поддерживая тем самым учет динамики изменений рынка электроэнергии и мощности и требований НЭСО.

В основе предлагаемой модели используется концепция технико-экономических показателей (ТЭП), как единого массива данных о различных величинах электропотребления, разрезы учета которого могут принимать различные значения в зависимости от типа показателя. Построение требуемых расчетных моделей заключается в организации необходимых взаимосвязей между различными технико-экономическими показателями электропотребления.

На основе предложенной концепции построения структуры базы данных были разработаны алгоритмы обработки информации о технико-экономических показателях электропотребления, которые являются устойчивыми к добавлению новых расчетных моделей, соответствующих им параметров и правил расчета при изменении законодательства или требований НЭСО.

Литература

1. Фомин И.Н. Расчетные модели для систем обработки информации энергосбытовых предприятий. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Саратов, 2016. - 161 с.

2. Сердюкова Н.В., Шульга Т.Э. Фомин И.Н., Теоретико-множественный анализ технико-экономических показателей для задач структурно-параметрического синтеза расчетных моделей электроснабжения. Труды Академэнерго , № 2., 2016 г. с. 82-94.3.

3. Сердюкова Н.В., Фомин И.Н. «Расчетная модель измерения электроэнергии в информационных биллинговых системах» // Журнал «Бизнес-мнформатика» : № 4 (30), 2014 г. с. 36-42.

4. Сердюкова Н.В., Шульга Т.Э., Расчетные модели в системах поддержки принятия решений для промышленных потребителей электроэнергии. // Сборник научных статей Международной научной конференции ICIT 2017 «Информационно-коммуникационные технологии в науке, производстве и образовании» (Саратов) 2017 г., С. 84-86.

УДК 519.6, 621.039

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СМЕШЕНИЯ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

А.А. Сатаев[1], В.В. Андреев[2], А.В. Дунцев[3]
[1]Аспирант, sancho_3685@mail.ru
[2]Д-р техн. наук, доцент, vyach.andreev@mail.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, udav@nntu.ru
[1,2,3] ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

В данной работе приводятся результаты экспериментальных и расчетных исследований процессов смешения неизотермических потоков в стационарных энергетических установках, а также с учетом влияния внешних динамических сил (качка, крен), присущих судовой ядерной энергетической установке (ЯЭУ).

Ключевые слова: неизотермический поток, судовая ЯЭУ, смешение, внешние динамические силы.

С каждым годом растут требования, предъявляемые к реакторным установкам (РУ) различного назначения. Эти требования напрямую связаны с безопасностью, эффективностью, экономичностью и другими параметрами современных РУ. В связи с этим возрастает объем исследований и испытаний, которые должны быть проведены на этапах проектирования, а также обоснования характеристик и ресурса таких РУ.

Проведение экспериментов на больших параметрах или близких к натурным, подчас сопряжено со значительными затратами, однако многие явления, происходящие в реакторных установках, могут быть с необходимой степенью представительности смоделированы на мелкомасштабных моделях при давлении близком к атмосферному. Из таких мелкомасштабных моделей можно получить значительный объем информации [1].

Большое влияние на сложные явления, происходящие в РУ, оказывают процессы тепло- и массопереноса. Одним из таких процессов является смешение неизотермических (а также изотермических, отличающихся концентрацией примеси) потоков, происходящие в основном оборудовании РУ (реактор, парогенератор, компенсатор объема и др.). В динамических системах (в данной работе описывается судовая РУ [2]) на эти процессы оказывают влияние изменения положения объекта в пространстве, связанные с внешними силами (качка, крен).

На процессы смешения в энергетических установках оказывают влияние многие факторы (входные параметры). В ходе исследований были получены выходные параметры, описывающие эти процессы (рис. 1). На судовой ЯЭУ к этим параметрам добавляется внешняя динамическая сила (качка). На рис. 2 показана визуализация температурного поля на входе в модель и сравнение статического/динамического режимов.

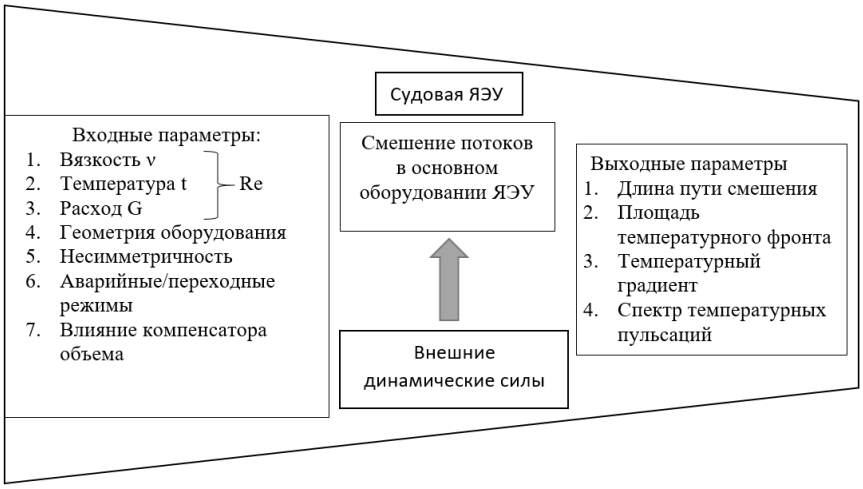


Рис. 1. Общая схема исследования экспериментальной модели

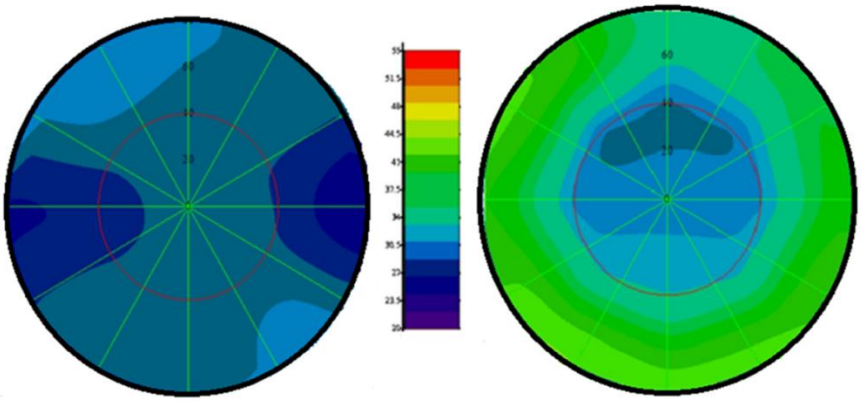


Рис. 2. Визуализация распределения температурного поля в области входа в имитатор активной зоны: слева – экспериментальная модель с учетом внешней динамической силы, справа – экспериментальная модель в стационарном режиме

В ходе работы были исследованы характерные особенности неизотермических течений, дана оценка влияния различных факторов на эти процессы (несимметричность подвода, различные расходы, воздействие внешней динамической силы).

Литература

1. Крапивцев, В. Г.; Солонин, В. И. Модельные исследования межпетлевого перемешивания теплоносителя во внутриреакторном напорном тракте ВВЭР-1000. Атомная энергия, [S.l.], v. 125, n. 5, p. 271-277, окт. 2019.

2. Сатаев А.А., Дунцев А.В. Исследование процессов смешения неизотермических потоков на модели судовой ядерной энергетической установки // Вестник ИГЭУ. – 2018. – №. 5. – С. 26-32. DOI: 10.17588/2072-2672.2018.5.026-032.

УДК 62-97

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВЫБОР ПАРМЕТРОВ СХЕМЫ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНОЙ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРА

Д.П. Шматов[1], К.В. Кружаев[2], А.А. Афанасьев[3], Т.А. Башарина[4],
Т.С. Тимошинова[5], И.Г. Дроздов[6]
[1]Канд. тех. наук, доцент, rd-vgtu@mail.ru
[2]Канд. тех. наук, доцент, rd-vgtu@mail.ru
[3]Канд. физ.-мат. наук, доцент, rd-vgtu@mail.ru
[4] Ассистент, rd-vgtu@mail.ru
[5]Младший научный сотрудник, rd-vgtu@mail.ru
Д-р техн. наук, профессор
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», ВГТУ, Воронеж

В данной работе представлено описание и расчет схемы водородно-воздушной системы накопления энергии на основе кислородно-водородного газогенератора с воздушной балластировкой и турбогенератора. Разрабатываемая система предназначена для сглаживания пиковых нагрузок в электросетях, обладает широким диапазоном регулирования и позволяет вырабатывать до 50 кВт электроэнергии.

Ключевые слова: энергетика, накопители энергии, турбогенераторные установки, газогенератор.

В настоящее время накопление электроэнергии приобретает все большее значение в связи с ростом энергоустановок на основе возобновляемых источников энергии. В этой связи технологии хранения энергии приобретают большое значение при решении сложных вопросов выравнивания нагрузки, особенно для согласования прерывистого источника возобновляемой энергии с потребительским спросом, а также для хранения избыточной мощности в течение ежедневного или более долговременного цикла. Одним из перспективных направлений альтернативной энергетики является создание систем накопления энергии на основе электролиза воды. Алгоритм работы такой системы может быть описан следующим образом.

В моменты минимального потребления электроэнергии, ее избыток расходуется для электролиза воды с получением газообразного водорода и кислорода, которые закачиваются в баллоны для хранения. Кроме того, избыточная электроэнергия используется для заполнения сжатым воздухом рампы с помощью компрессора высокого давления.

Накапливаемый газообразный водород и кислород являются компонентами топлива для газогенератора, охлаждение и балластирование которого осуществляются с помощью воздуха, хранимого в рампе. Полученные в газогенераторе продукты сгорания поступают в турбогенератор, вырабатывающий электроэнергию для покрытия пиковых нагрузок электросети. После турбины установлены рекуперативные теплообменники, позволяющие сократить потери тепловой энергии внутри системы (за счет подогрева

балластирующего воздуха), и, например, подогрева воды, которая может быть использована для обогрева помещений.

Принципиальная схема исследуемой системы накопления энергии представлена на рисунке.

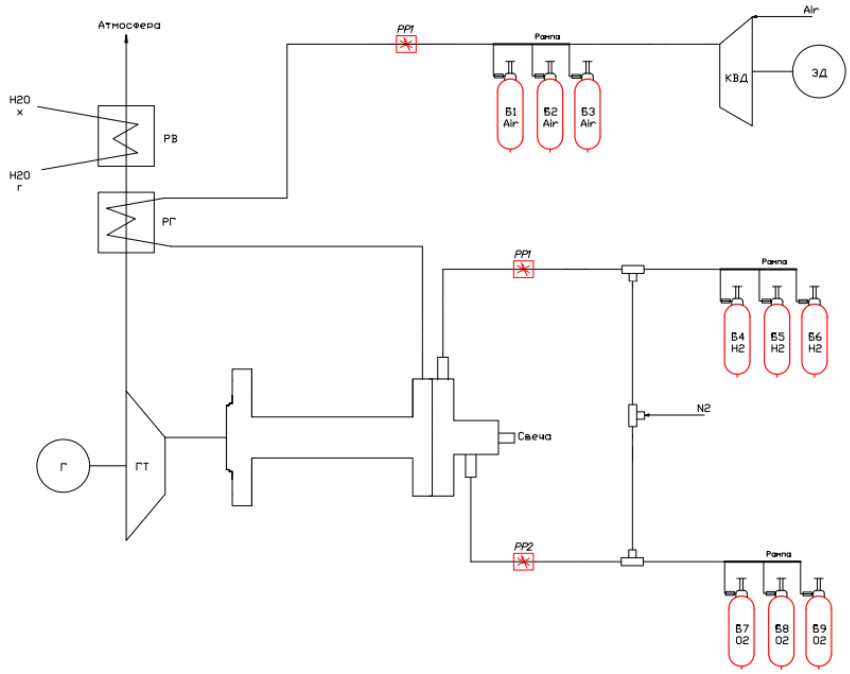


Схема системы накопления энергии

Для исследования поведения системы накопления энергии разработан алгоритм математического моделирования [1,2], позволяющий анализировать параметры выходной мощности турбины в зависимости от массового расхода компонент топлива, массового расхода воздуха, степени понижения давления на турбине и других режимных и конструктивных параметров.

Диапазон изменения КПД турбины на реализуемых режимах лежит в пределах от 0,383 до 0,48. При этом диапазон регулирования по мощности спроектированной системы составляет величину от 53% до 100%.

На номинальном режиме работы при расходе воздуха 315 г/с и тепловой мощности газогенератора 110 кВт получено давление в камере сгорания на уровне ~2,33 МПа. Данный режим реализуется при степени понижения давления в турбине 9,1,что обеспечивает электрическую мощность 46,95 кВт при КПД турбины 0,472.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Соглашения № 075-15-2019-1825 (уникальный идентификатор RFMEFI60719X0313).

Литература

1. Paynter H.M. Analysis and design of engineering systems – The M.I.T. Press, ISBN 0-262-16004-8, 1961. – 303 p.

2. Korpela S.A. Principles of turbomachinery – Hoboken, N.J.: Wiley, 2011. – 457 p.

УДК 537.87

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА ЧЕРЕЗ СЛОЙ НАНОНИТЕЙ КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТАЛЛСТИМУЛИРУЮЩИМ ХИМИЧЕСКИМ ТРАВЛЕНИЕМ

И.А. Шишкин[1], Д.А. Лизункова[2]
[1]Студент, shishkinivan9@gmail.com
[2]Канд. физ.-мат. наук, старший преподаватель, daria.lizunkova@yandex.ru
[1,2]ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

В данной работе приводятся результаты моделирования прохождения света через нитевидные наноструктуры в видимом и ИК диапазоне и графики зависимости коэффициента отражения от длин волн полученных как при симуляции в программе ComsolMultiphysics, так и в работе [1].

Ключевые слова: кремниевые нитевидные наноструктуры, коэффициент отражения, фотоэлектрические преобразователи.

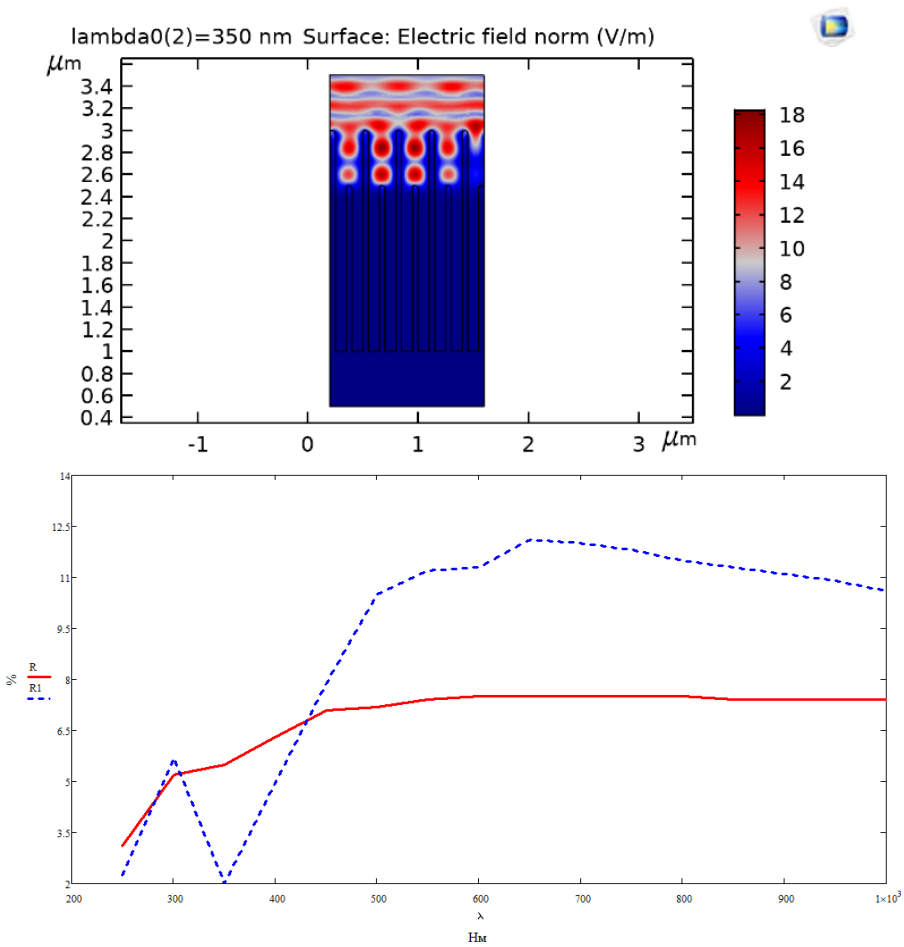
Поскольку существуют запросы по повышению эффективности фотоэлектрических преобразователей, по упрощению технологических маршрутов, а также по уменьшению коэффициента отражения, то на данный момент развитие нанотехнологий привело к тому, что одним из путей совершенствования солнечных элементов является использование нанокристаллических структур. Наибольший интерес представляют нитевидные кремниевые наноструктуры.

Кремниевые нанонити обладают заданными электронными и оптическими свойствами, которые, в свою очередь отличны от свойств объемного кристаллического кремния (c-Si) и наночастиц кремния (dot-Si). Это связано с квантовым размерными эффектами, присущие наноматериалам, поскольку нанонити имеют малый диаметр, порядка 20-200 нм[2].

В работе[1] кремниевые нитевидные наноструктуры создавались методом металлстимулированного химического травления подложки монокристаллического кремния. В качестве травителя выступал водный раствор плавиковой кислоты, катализатором служили наночастицы серебра.

Для описания прохождения электромагнитных волн в нитевидной структуре использовался программный пакет ComsolMultiphysics.

На рисунке представлены результаты моделирования в программном пакете ComsolMultiphysics.



Тепловая карта распределения электрического поля и графики зависимости R(λ), где пунктирная линия – модель структуры в ComsolMultiphysics и сплошная линяя – экспериментальные данные [1]

Из анализа видно, что на длине волны 350 нм наблюдается минимум электрического поля в структуре, т.е. происходит минимум отражения порядка 1% (пунктирная линия). В реальном эксперименте, на длине волны 350 нм наблюдается отражение света 5%. В ИК диапазоне так же имеются различия в отражении от 4 до 6%. Это объяснимо тем, что образцы, образованные в результате травления, имеют не такую упорядоченную структуру, чем в модели.

Литература

1. К.А. Гончар, Л.А. Осминкина, В. Сиваков, В. Лысенко, В.Ю. Тимошенко. Оптические свойства нитевидных наноструктур, полученных металлстимулированным химическим травлением пластин слабо легированного кристаллического кремния// Физика и техника полупроводников. – 2014. -Том 48. -№12. – с. 1654-1659.

2. A.I. Hochbaum, R. Fan, R. He, P. Yang. Controlled Growth of Si Nanowire Arrays for Device Integration // Nano Letters, 5, 457(2005).

УДК 621.311

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО КОМПЕНСАТОРА В РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В РЕЖИМЕ РАБОТЫ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

А.В.Макаров[1], Т.В.Макарова[2]
[1]Аспирант, AVMakarov@kai.ru
[2]Аспирант, TVMakarova@kai.ru
[1,2] ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева»

Приводятся результаты моделирования работы статического компенсатора в режиме стабилизации напряжения для системы электроснабжения дуговой сталеплавильной печи с установленным фильтрокомпенсирующим устройством.

Ключевые слова: статический компенсатор, реактивная мощность, падение напряжения, дуговая сталеплавильная печь, моделирование системы электроснабжения.

Работа дуговой сталеплавильной печи характеризуется значительными колебаниями и отклонениями напряжения, вследствие резких изменений потребления активной и реактивной мощности.

Была разработана эквивалентная цифровая модель системы электроснабжения дуговой сталеплавильной печи в среде PSIM (рис. 1).

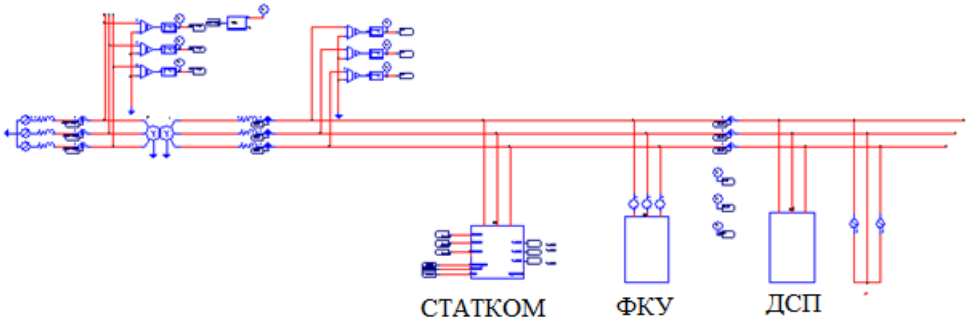


Рис. 1. Эквивалентная цифровая модель системы электроснабжения дуговой сталеплавильной печи

Модель содержит модель статического компенсатора (СТАТКОМ) (рис. 2), фильтрокомпенсирующую установку ФКУ и модель дуговой сталеплавильной печи (ДСП).

Для разработки эквивалентной цифровой модели дуговой сталеплавильной печи использовались оцифрованные данные комплексных измерений показателей качества электроэнергии. Работа дуговой сталеплавильной печи характеризуется резко-переменным потреблением активной и реактивной мощности, что приводит к колебаниям и отклонению напряжения.

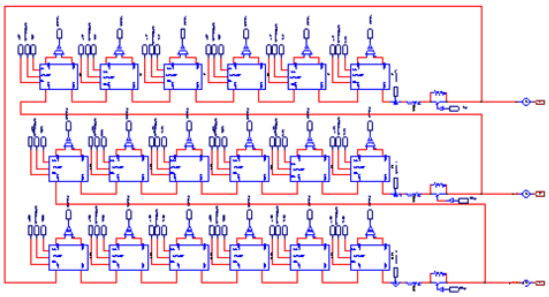


Рис. 2. Модель статического компенсатора

На рис. 3 приведены оцифрованные данные измерения активной мощности, реактивной мощности и максимального, среднего и минимального линейного напряжения.

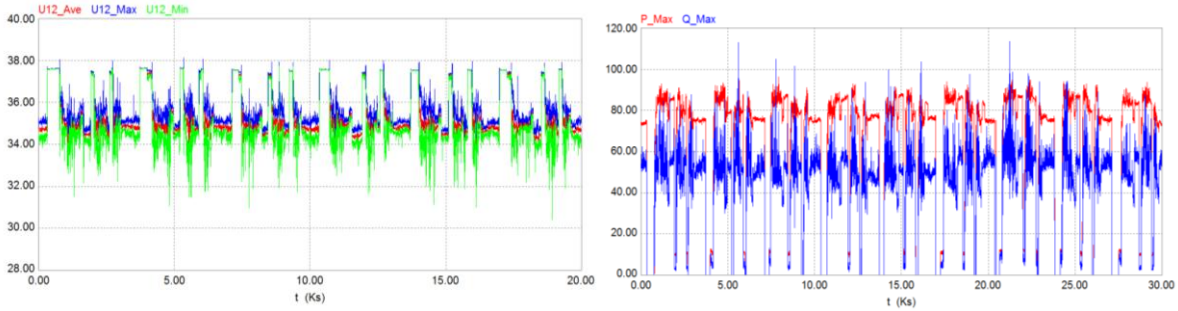


Рис. 3. Линейное напряжение, активная и реактивная мощность на секции 35кВ, до включения статического компенсатора

Статический компенсатор с учетом емкости фильтрокомпенсирующего устройства регулирует потребление реактивной мощности дуговой сталеплавильной печи, на рис. 4 приведены

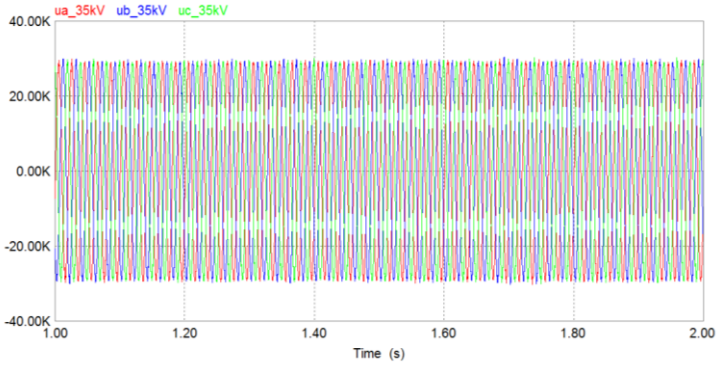


Рис. 4. Линейное напряжение секции 35кВ после включения статического компенсатора

Результаты моделирования подтверждают, что установка статического компенсатора реактивной мощности совместно с фильтрокомпенсирующим устройством позволяет стабилизировать напряжение в точке подключения.

Литература

1. A. Makarov A. Ferenets and I. Metelev, Simulation 35 kV 35 MVar STATCOM in EMTDC PSCAD// Journal of Physics: Conference Series, Volume 1415, 2019 International Conference on Innovation Energy 2–3 October 2019, Perm, Russia.

УДК 621.436

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА И РАПСОВОГО МАСЛА В РАСПЫЛИТЕЛЕ ФОРСУНКИ

Са Бовэнь[1], В.А. Марков[2], В.Г. Камалтдинов[3], В.А. Неверов[4]
[1]Аспирант, bowensa@yandex.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, vladimir.markov58@yandex.ru
[3]Д-р техн. наук, профессор, vkamaltdinov@yandex.ru
[4]Аспирант, sevasxp@mail.ru
[1,2,4] Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
[3] Южно-Уральский государственный университет

В данной работе приводятся результаты исследований параметров потока дизельного топлива и рапсового масла в распылителе дизельной форсунки.

Ключевые слова: рапсовое масло, нефтяное дизельное топливо, дизельный двигатель, топливная форсунка, распылитель.

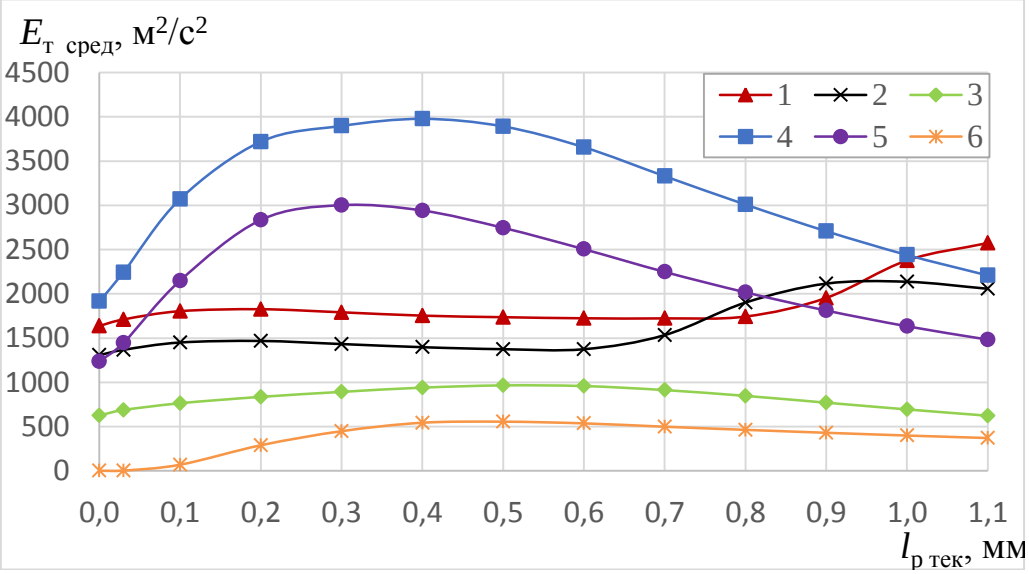
В качестве перспективных топлив для дизелей рассматриваются растительные масла. Широкому использованию растительных масел в дизелях препятствуют отличия физико-химических свойств этих масел от свойств нефтяного дизельного топлива, в частности, высокая вязкость этих масел [1]. Проведены расчетные исследования течения нефтяного дизельного топлива (ДТ) в проточных частях распылителей дизельных форсунок [2, 3]. Целесообразно проведение таких исследований и применительно к растительным маслам.

Исследована форсунка ФДМ-22 производства Ногинского завода топливной аппаратуры. При моделировании рассмотрены нефтяное ДТ и рапсовое масло (РМ). Расчетные исследования проведены с использованием программного комплекса (ПК) Fluent. Для оценки степени турбулизации потока на выходе из распыливающего отверстия использована кинетическая энергия турбулентности (k или E), которая характеризуется среднеквадратической флуктуацией (пульсацией) проекций U, V, W скорости течения топлива на оси x, y, z:

$$k = E = \frac{U^2 + V^2 + W^2}{2}.$$

Численно смоделировано стационарное течение нефтяного ДТ и РМ с учетом возникновения кавитации в проточной части распылителей при полном подъеме иглы форсунки. Давления на входе в расчетную область приняты равными $p_{вх}$=51,5, 40 и 20 МПа. Эти значения соответствуют давлениям перед распылителем на различных режимах работы серийной топливной системы дизеля типа Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5), а давление на выходе из расчетной области – 8,878 МПа, которое соответствует давлению в рабочем цилиндре в момент начала впрыска.

При расчетных исследованиях получены распределения давления топлива, скорость его течения, кинетической энергии турбулентности и давления насыщенных паров в распыливающем отверстии при течении нефтяного ДТ и РМ. На рисунке приведены зависимости средней по поперечному сечению распыливающего отверстия кинетической энергии турбулентности потока нефтяного ДТ и РМ от координаты $l_{р\ тек}$, ось которой направлена по оси отверстия и начальная точка которой находится в центре сечении на входе в отверстие. При этом значение $l_{р\ тек}$=1,1 мм соответствует выходному сечению отверстия. При давлении на входе в расчетную область $p_{вх}$ = 51,5 и 40 МПа средняя по поперечным сечениям отверстия с координатой $l_{р\ тек}$ от 0 до 0,8 мм кинематическая энергия турбулентности потока РМ превышает аналогичные значение для ДТ, а на выходе из распыливающего отверстия, напротив, кинематическая энергия турбулентности потока РМ ниже этой энергии при течении нефтяного ДТ.



Зависимости средней по поперечному сечению распыливающего отверстия кинетической энергии турбулентности потока от координаты $l_{р\ тек}$: 1 – ДТ, $p_{вх}$ = 51,5 МПа; 2 – ДТ, $p_{вх}$ = 40 МПа; 3 – ДТ, $p_{вх}$ = 20 МПа; 4 – РМ, $p_{вх}$ = 51,5 МПа; 5 – РМ, $p_{вх}$ = 40 МПа; 6 – РМ, $p_{вх}$ = 20 МПа

Литература

1. Марков В.А., Девянин С.Н., Семенов В.Г., Багров В.В., Зыков С.А. Моторные топлива, производимые из растительных масел / Под ред. В.А. Маркова. Рига: Изд-во Lambert Academic Publishing, 2019. 420 с.

2. Zhao J., Liu W., Zhao J., Grekhov L. Numerical Investigation of Gas/Liquid Two-Phase Flow in Nozzle Holes Considering the Fuel Compressibility // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2020. Vol. 147. Article number 118991. P. 1-9.

3. Liu W., Zhao J. 3-D Numerical Study on the Effect of Variant Injection Pressure in a Diesel Injector with Cavitation Formation // Journal of Advances in Vehicle Engineering. 2016. Vol. 2(3). P. 174-181.

УДК 621.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВИВШИХСЯ И ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВАСИЛЕОСТРОВСКОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УЗЛА

Ю.Н. Кондрашова[1], А.Ю. Турищев[2], А. М. Маркина[3]
[1]Канд. техн. наук, доцент, rotjuil720@mail.ru
[2] Инженер СРЗАИ, alexturant@yandex.ru
[3] Студент, mam98am@gmail.com
[1,3] ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова»
[2] ОАО «МРСК-Урал»-Челябэнерго

В данной работе рассматриваются вопросы моделирования установившихся и переходных режимов систем электроснабжения применительно к Василеостровскому энергетическому узлу. Приведены результаты расчета для конкретных конфигураций схем системы электроснабжения.

Ключевые слова: переходный режим, система электроснабжения, расчет параметров системы, узел.

С расширением градостроения увеличиваются нагрузки, появляются новые ответвления системы электроснабжения. В результате возникают новые границы динамической устойчивости [1,2], так же меняются параметры установившегося режима [3]. Следовательно, появляется необходимость проведения анализа сравнения параметров режимов нормальных и послеаварийных [4,5] в различных конфигурациях исходной системы Василеостровского энергетического узла (ВЭУ).

Для исследования установившихся и переходных режимов Василеостровского энергетического узла применено программное обеспечение [6]. В работе рассмотрены следующие конфигурации ВЭУ:

Вариант 1. Отключены две КЛ ПС Василеостровская-104, включены секционные выключатели на ПС Балтийская 13-А, ПС Намыв 1 и ПС 104.

Вариант 2. Отключена КЛ ПС Василеостровская-Балтийская 13-А, включены секционные выключатели на ПС Балтийская 13-А, ПС Намыв 1 и ПС 104. Результаты расчета приведены на рис. 1.

Для анализа установившегося режима была подсчитана доля распределенной генерации от суммарной мощности нагрузки собственного источника электроэнергии ВЭУ, а именно ТЭЦ-7. Результаты анализа представлены на рис. 2.

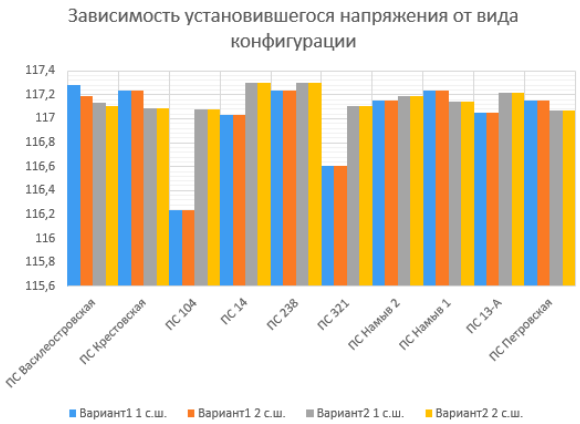


Рис. 1. Зависимость установившегося напряжения от вида конфигурации

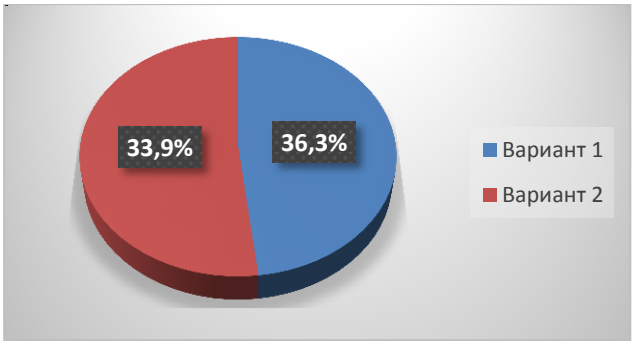


Рис. 2. Процентное соотношение распределенной генерации от энергосистемы при разных конфигурациях

Распределенная генерация сказывается на устойчивости системы. Для системы электроснабжения наиболее опасным диапазоном долей распределенной генерации считается от 40 % до 80 % от суммарной мощности нагрузки. По диаграмме видно, что наиболее приближенное значение к опасному диапазону доли распределенной генерации у второго варианта, оно составляет 39,2 %. Таким образом, при аварийном отключении наихудшая устойчивость будет при варианте 2. Наилучший результат является при исходной схеме, в ней доля распределенной генерации составляет 32,7 %.

Литература

1. Малафеев А.В. Представление машин переменного тока в расчетах динамической устойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями / Заславец Б.И., Игуменщев В.А., Малафеев А.В., Буланова, О.В., Ротанова Ю.Н. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика- 2008. - № 11(111). – С. 3. -8.

2. Буланова О.В. Расчет динамических характеристик синхронных и асинхронных двигателей промышленных предприятий с целью анализа устойчивости систем электроснабжения / В.А. Игуменщев, А.В. Малафеев, О.В. Буланова, Ю.Н. Ротанова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2006. - № 2. – С. 71. -75.

3. Малафеев А.В. Исследование сходимости метода расчета установившихся режимов систем электроснабжения при работе раздельно с энергосистемой/ О.В. Буланова, В.А. Игуменщев, А.В. Малафеев, Ю.Н. Ротанова // Электротехнические системы и комплексы.– 2005. – № 10. – С. 129-134.

4. Буланова О.В. Влияние высоковольтных двигателей собственных нужд на надежность системы электроснабжения собственных нужд ТЭЦ ОАО «ММК» / Малафеев А.В., Карандаева О.И., Ротанова Ю.Н., Буланова О.В. // Электротехнические системы и комплексы. – 2009. – № 17. – С. 96-104.

УДК 620.91

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ SCAPS

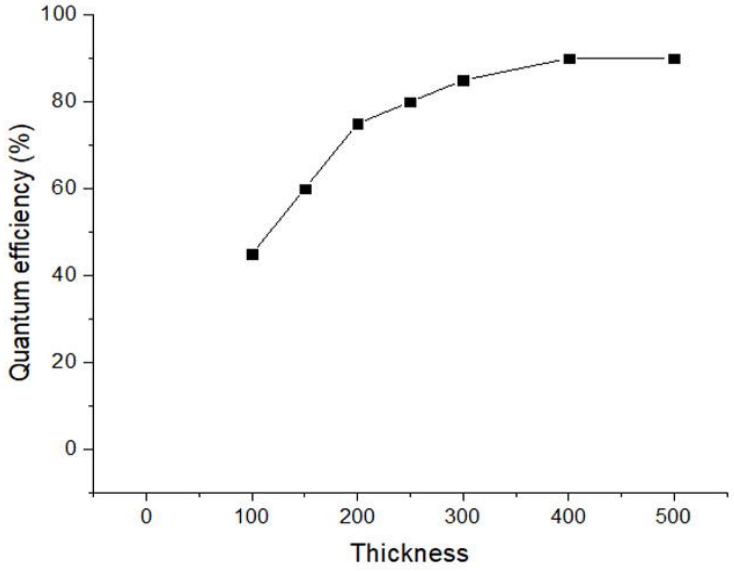
А.А. Рожко[1], В.В. Петров[2], А.В. Саенко[3]
[1]Аспирант, rozhko@sfedu.ru
[2]Д-р тех. наук, профессор, vvpetrov@sfedu.ru
[2]Канд. тех. наук, avsaenko@sfedu.ru
[1,2,3] ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Россия

В данной работе приводятся результаты исследований влияния толщины поглощающего слоя перовскита на квантовую эффективность солнечного элемента.

Ключевые слова: солнечный элемент, перовскит, моделирование, SCAPS.

Использование солнечной энергии признано перспективным способом решения мирового энергетического кризиса. В последние десятилетия фоточувствительные пленки на основе перовскита оказались многообещающими для создания высокоэффективных и недорогих солнечных элементов. Основным этапом оптимизации структуры и улучшения характеристик солнечных элементов является моделирование. Данная работа посвящена моделированию и исследованию перовскитных солнечных элементов на основе свинца с помощью программного обеспечения SCAPS (Solar Cell Capacity Simulator). SCAPS – это программа численного моделирования солнечных элементов, разработанная на кафедре электроники и информационных систем (ELIS) университета Гента (Бельгия) [1].

Выходные характеристики перовскитного солнечного элемента существенно зависят от толщины поглощающего слоя перовскита. Модель солнечного элемента в программе SCAPS состояла из слоёв $TiO_2/CH_3NH_3PbI_3$/spiro-OMeTAD, где TiO_2 – проводник для электронов, $CH_3NH_3PbI_3$ – фоточувствительный (поглощающий) слой и spiro-OMeTAD – проводник для дырок [2]. Параметры слоев TiO_2 и spiro-OMeTAD задавались постоянными, а толщина фоточувствительного слоя варьировалась от 100 до 500 нм. На рисунке показана зависимость квантовой эффективности солнечного элемента от толщины слоя перовскита. В результате проведенного исследования было установлено, что увеличение толщины слоя перовскита вызывает существенное увеличение квантовой эффективности. Это связано с тем, что большее количество фотонов будет поглощаться слоем перовскита, что приведёт к росту генерации электронно-дырочных пар [3].



Зависимость квантовой эффективности солнечного элемента
от толщины слоя перовскита

Установлено, что при толщине слоя перовскита порядка 400 нм квантовая эффективность солнечного элемента является оптимальной и дальнейшее увеличение слоя не приводит к её дальнейшему росту.

Таким образом, увеличение слоя перовскита приводит к большему поглощению количества фотонов и генерации электронно-дырочных пар, что способствует повышению эффективности работы солнечного элемента.

Литература

1. University of Gent, Dept. Electronics and Information Systems (ELIS) [Электронный ресурс], 2014. URL: http://scaps.elis.ugent.be/ (Дата обращения: 10.02.2020).

2. Abou Bakr Belkaid. High Numerical Study of Based Perovskite Solar Cells by SCAPS-1D // International journal of energy and environment 12 (2019) P. 17–21.

3. Abdelkader H, Ahmed Khalil Le K, Abdallah R, Mouslem Ben, Abderrahmane K, Imad K. Simulation and optimization of $CH_3NH_3PbI_3$ based inverted planar heterojunction solar cell using SCAPS software. Journal. of Energetica (IJECA)., V. 4. No. 1 (2019), P. 56-59.

УДК 697.34

МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕМЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Е.Г. Гашо[1], А.И. Киселева[2]
[1]Д-р техн. наук, доцент, 290461@bk.ru
[2]Аспирант, sashulka_kiseleva@mail.ru
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Предложена модель комплексного показателя качества для систем пароснабжения, позволяющая спрогнозировать состояние системы и предельно возможный срок ее эксплуатации. Полученные результаты позволяют разрабатывать рекомендации для улучшения качества теплоснабжения.

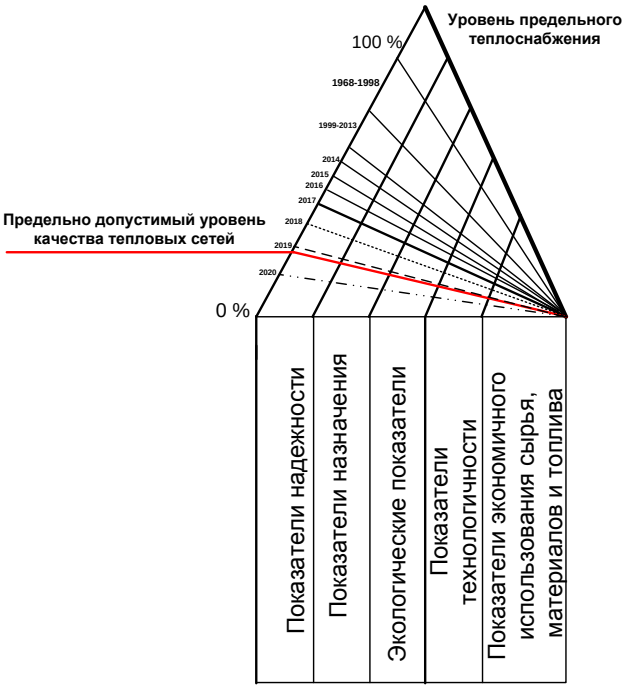
Ключевые слова: квалиметрия, теплоснабжение, показатель качества, теплоэнергетические системы, тепловые сети.

В связи с уменьшением отпуска тепла с источника промышленные потребители, подключенные к уже существующим паропроводам, вынуждены получать пар с более низкими термодинамическими параметрами. Установка индивидуальных источников для потребителей является дорогостоящим и зачастую неподъемным мероприятием, снижающим до неприемлемых пределов рентабельность предприятия, поэтому они вынуждены потреблять пар от источника по его условиям – в виде весьма завышенных тарифов. С другой стороны, эксплуатация промышленных паропроводов в непроектных режимах приводит к небалансам ТСК, снижению уровня надежности теплоснабжения, а также к увеличению числа аварий, возникающих при гидравлических ударах [1]. С целью возможности дальнейшей эксплуатации тепловых сетей в непроектных режимах, что для паровых сетей является особенно актуальным, в исследовании был построен комплексный показатель качества, позволяющий оценить техническую возможность дальнейшего транспорта тепла и качество теплоснабжения в целом.

В качестве объекта исследования была взята система пароснабжения г. Смоленска. В настоящее время нагрузка на паропровод составляет 24 т/ч, что говорит о том, что паропровод эксплуатируется в нерасчетном режиме. При разработке комплексного показателя качества тепловых сетей были решены следующие задачи: определение номенклатуры показателей качества для тепловых сетей, расчет показателей качества с целью оценки качества теплоснабжения, определение эталона «тепловой сети» для рассматриваемого объекта, определение комплексного показателя качества тепловых сетей.

Для определения качества тепловой сети был применен формальный подход, который осуществляется с использованием матричной диаграммы, названной в соответствии со своей формой «домом качества», представленный на рисунке. Группы показателей качества отображаются наклонными прямыми. Длина каждой прямой, характеризующей группу показателей, была определена

весомостью при проведении литературного анализа (например, показатели надежности являются важнейшими показателями, поэтому линия, характеризующая эту группа самая длинная) [2]. Уровень предельного теплоснабжения характеризует такое состояние системы, когда показатели качества превышают «эталонные» значения, регламентируемые нормативной документацией.



Дом качества для паровых сетей

С целью определения дальнейшей возможности эксплуатации паровой сети были рассчитаны комплексные показатели качества на 2019-2020 гг. по существующей тенденции паропотребления. Предельно допустимый уровень качества тепловых сетей соответствует такому состоянию паропровода, при котором нарушены требования нормативной документации и паропровод перестает выполнять свою функцию – передачу качественного пара потребителям.

Главным плюсом разработанной методики оценки качества тепловых сетей является ее универсальность и возможность прогнозирования предельного срока эксплуатации. На основании полученного комплексного показателя можно разрабатывать рекомендации для улучшения качества систем теплоснабжения, давать оценку уровню эффективности транспорта тепловой энергии.

Литература

1.A.V. Sychev. Bottlenecks in the organization of steam pipelines. Quarterly information magazine Spiraskop 2017.– pp. 5-10.

2. A.I. Kiseleva, A.M. Fokin. The influence of individual indicators on the quality of steam lines. Materials reports I Volga scientific-practical conference 2015. – pp. 252-254.

УДК 661.183:66.021.93

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КИНЕТИКИ ТЕРМОДЕСОРБЦИИ ЦЕОЛИТОВЫХ АДСОРБЕНТОВ В ИНЕРТНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ КОЛОННЫХ АППАРАТОВ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

А.С. Викулин[1], О.Н. Филимонова[2]
[1]Адъюнкт, mmiler5472@yandex.ru
[2]Д-р техн. наук, доцент, olga270757@rambler.ru
[1,2] Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Синтезирована математическая модель термической десорбции адсорбентов на основе балансовых соотношений сохранения массы и теплоты, записанных в дифференциальной форме для представительного элементарного объема. Система уравнений в частных производных дополнена граничными условиями типа Данквертса, при этом микрокинетика десорбции описана моделью локального линейного равновесия.

Ключевые слова: адсорбер, цеолит, инертная газовая среда, кинетика процесса, модель.

Регенерация (реактивация) адсорбентов, в том числе цеолитовых, необходима для повторного применения, при этом решается основная задача – восстановления адсорбционной способности отработанного адсорбента [1]. На практике, как правило, используется высокотемпературная десорбция, осуществляемая продувкой слоя адсорбента потоком инертного газа, например, азотом, разогретым до температуры 200-400 ^{o}C [2]. Необходимо определить время десорбции достижения заданного концентрационного уровня по извлекаемой примеси [3]. Для решения этой задачи нужен инструментарий в виде предметно-ориентированной математической модели, базирующейся на фундаментальных законах сохранения массы и теплоты, а также верификации микрокинетики процесса десорбции (обоснование изотермы десорбции).

Баланс массы примеси при переносе инертной газовой среды представлен в дифференциальной форме, которая учитывает аксиальную диффузию примеси в адсорбере, её конвективный перенос в том же направлении, величину скорости накопления и источник примеси, локально учитывающий переход примеси из твердой фазы в газообразную инертную среду

$$-D_z \frac{\partial^2 c_f}{\partial z^2} + \frac{\partial}{\partial z}\left(u c_f\right) + \frac{\partial c_f}{\partial \tau}\left(\frac{1-\varepsilon_b}{\varepsilon_b}\right)\rho_p \frac{\partial q}{\partial \tau} = 0, \quad (1)$$

где D_z – коэффициент аксиальной диффузии; c_f – концентрация десорбата в несущей среде; z – аксиальная координата с началом в центре входного сечения адсорбера; u – скорость потока инертного газа; τ – время; ε_b – порозность слоя адсорбента; ρ_p – плотность адсорбционных зерен; q – средняя концентрация примеси в частице адсорбента.

Уравнение (1) дополнено граничными условия ми Данквертса:

$$D_z \frac{\partial c_f}{\partial z}\Big|_{z=0} = -u\Big|_{z=0}\left(c_f\Big|_{z=-0} - c_f\Big|_{z=0}\right);\ \frac{\partial c_f}{\partial z}\Big|_{z=H} = 0, \qquad (2)$$

где H – высота слоя адсорбента; для скорости процесса адсорбции принята модель локального равновесия $\partial q/\partial\tau \sim \partial c_s/\partial\tau$, то есть $\partial q/\partial\tau = -Kc_s$, где c_s– концентрация извлекаемой примеси в твердых частицах; K – кинетическая константа скорости десорбции; $c_f\Big|_{z=-0}$ – концентрация примеси в подаваемом в адсорбер инертном газе.

Энергетический баланс характеризует теплоперенос между движущейся газовой средой и поверхностью частиц адсорбента, а также между движущимся газом и поверхностью внутренних стенок адсорбера

$$-\lambda_H \frac{\partial^2 t_f}{\partial z^2} + \rho_f c_p^{(f)} \frac{\partial(ut_f)}{\partial z} + \rho_f c_p^{(f)} \frac{\partial t_f}{\partial \tau} + \left(\frac{1-\varepsilon_b}{\varepsilon_b}\right)\alpha_f a_s\left(t_f - t_s\right) + \frac{4\alpha_w}{\varepsilon_b d}\left(t_f - t_w\right) = 0, \quad (3)$$

где λ_H – коэффициент теплопроводности несущей среды; t_f – локальная температура инертного газа в слое адсорбента; $c_p^{(f)}$ – теплоемкость несущей среды; ρ_f – плотность инертного газа; α_f – коэффициент теплоотдачи на межфазной границе; a_s – удельная поверхность слоя адсорбента; t_s – температура частиц адсорбента; α_w – коэффициент теплоотдачи между внутренней поверхностью адсорбционной колонны и инертным газом; d – внутренний диаметр; t_w – температура внутренней стенки адсорбера. К уравнению (3) добавлены граничные условия:

$$\lambda_H \frac{\partial t_f}{\partial z}\Big|_{z=0} = -\rho_f c_p^{(f)} u\Big|_{z=0}\left(t_f\Big|_{z=-0} - t_f\Big|_{z=0}\right);\ \frac{\partial t_f}{\partial z}\Big|_{z=H} = 0, \qquad (4)$$

где $t_f\Big|_{z=-0}$ – температура подачи инертного газа в адсорбер. Для твердой фазы баланс теплоты составляет

$$\rho_p c_p^{(s)} \frac{\partial t_s}{\partial \tau} = \alpha_f a_s\left(t_f - t_s\right) + (-\Delta Q)\frac{\partial q}{\partial \tau}, \qquad (5)$$

где ρ_p – плотность частиц адсорбента; $c_p^{(s)}$ – теплоемкость зерен адсорбента; ΔQ – теплота десорбции. Для c_s и t_s записаны начальные условия:

$$c_s(0) = c_s^0;\ t_s(0) = t_s^0\ . \qquad (6)$$

Модель (1)-(6) при допущениях идеальности гидродинамических условий (режим идеального вытеснения для инертного газа) и температурного равновесия между фазами проанализирована аналитическими методами и получены соотношения между определяющими параметрами термодесорбции, позволяющие идентифицировать время протекания процесса регенерации адсорбента.

Литература

1. Suzuki M. Adsorption engineering. – Tokyo: Kodansha Ltd, 1990. – 276 p.

2. Karge H.G., Weitkamp J. Adsorption and diffusion. – Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. – 400 p.

УДК 629.13

МНОГОАГРЕГАТНАЯ МОДУЛЬНАЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ ДЛЯ РАЙОНОВ С НИЗКИМ ВЕТРОВЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ

С.С. Доржиев[1], Е.Г. Базарова[2], М.И. Розенблюм[3]
[1] Канд. тех. наук, DSS.61@mail.ru
[2] Канд. тех. наук, Bazelgen08@mail.ru
[3] Аспирант, Maryrozenblum@mail.ru
[1,2,3] ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр «ВИМ»

В данной работе представлены результаты исследования работы ветроэнергетических установок с разными параметрами, обоснована перспективность использования многоагрегатной модульной ветроэлектростанции для повышения эффективности использования энергии ветра для районов с низким ветровым потенциалом.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, ветроэнергетика, ветрогенератор, ветроэлектростанции малой мощности, аддитивный блок, дефицит мощности.

Существующие ветроэнергетические станции мощностью до 20 кВт эффективно работают при среднепериодических скоростях ветра 6,5-7 м/с. Большая часть территории России находится в местах со среднепериодическими скоростями ветра менее 4-5 м/с. Быстроходные малолопастные ВЭУ, рассчитанные на быстроходность Z = 6–9 в районах со среднегодовой скоростью ветра 4–7 м/с, работают в расчетном режиме от 152-х до 720-ти часов или от 2 до 8 % в год [1, 2]. Ветроприемные устройства (ВПУ) рассчитаны на узкий диапазон скоростей ветра. Для разработки модуля энергоснабжения необходимо расширить диапазон используемых скоростей ветра, т.к. около 80% времени скорость ветра составляет менее 5 м/с [3].

В настоящее время выполняется разработка многоагрегатной ветроэнергетической установки (ВЭУ), работающей в аддитивном режиме в условиях дефицита мощности одного из ВПУ. Рассматривается возможность совместить ВПУ с разными параметрами с генератором с помощью аддитивного блока. Мощность планируемого ветроагрегата составит 1кВт. Установка будет работать примерно 5 тыс.ч. в году.

Экспериментальный образец многоагрегатной ветроустановки

В ветрополигоне ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в г. Истра в течение года были проведены исследования работы ВЭУ разных параметров (3-, 6-, 9-лопастные горизонтально-ориентированные, 6-лопастная вертикально-ориентированная), результаты приведены в таблице.

Результаты исследования ВЭУ с разными параметрами в ветрополигоне в г.Истра

	3 - лопастной ГО		6 -лопастной ГО		9-лопастной ГО		6 -лопастной ВО			
D, м	1,97		2,95		3,89		4,15			
S, м²	3,06		6,83		11,90		13,50			
КИЭВ	0,4		0,35		0,3		0,28			
v, м/с	P, Вт	n, об/мин	P, Вт	n, об/мин	P, Вт	n, об/мин	P, Вт	n, об/мин	P , Вт многоагрегратная ВЭУ с у учетом потерь на генераторе	P , Вт Отдельные ВЭУ с учетом потерь на генераторе
4	48,000	232	93,750	78	139,942	49	148,148	37	382,557	128,952
5	93,750	290	183,105	97	273,324	61	289,352	46	747,183	251,859
6	162,000	348	316,406	117	472,303	74	500,000	55	1291,131	435,213
7	257,250	406	502,441	136	750,000	86	793,981	65	2050,269	2050,269
8	384,000	464	750,000	155	1119,534	98	1185,185	74	3060,460	3060,460
9	546,750	523	1067,871	175	1594,023	110	1687,500	83	4357,569	4357,569
10	750,000	581	1464,844	194	2186,589	123			3917,275	3917,275
11	998,250	639	1949,707	214	2910,350	135			5213,893	5213,893
12	1296,000	697							1153,440	1153,440
13	1647,750	755							1466,498	1466,498
14	2058,000	813							1831,620	1831,620

При низких скоростях ветра момент и частота вращения малолопастных ветроколес низкая, следовательно частота генератора и кпд тоже низкие. Однако, сложив энергию с отдельных ветроколес с разными параметрами, которые работают эффективно на разных скоростях ветра, с помощью аддитивного блока, можно подвести к генератору сумму моментов и энергии с нескольких ветроколес с помощью гидромоторов в аддитивном блоке, повышая частоту вращения и кпд генератора (потери в генераторе меньше).

Сравнения КПД преобразования энергии ветра отдельных ветроустановок и многоагрегатной ветроустановки, роаботающей в режиме дефицита мощности, показывает, что эффективность многоагрегатной ветроэнергетической установки выше, чем общая эффективность отдельных ветроэнергетических установок, работающих на собственные генераторы.

Литература

1. Харитонов В.П. Основы ветроэнергетики. – М.: ГНУ ВИЭСХ, – 2010. – 340 с.

2. Старков А. Н., Ландберг Л., Безруких П. П., Борисенко М. М. Атлас ветров России. – М.: РДИЭЭ - Рисо. – 2000. – 551 с.

3. Dorjiev S S, Bazarova E G, Pimenov S V, Rozenblum M I. Development of wind power installations with the accelerator of an air stream for areas with a low speed of wind/ S.S. Dorjiev et al// Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Volume 1111. 012053.

УДК 527.226.3; 539.23;539.975;621.893

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЗОМОРФИЗМА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИСАДКАМИ КАРБОКСИЛАТАМИ МЕДИ (II)

А.Т. Пономаренко[1], В.Г. Шевченко[2], Л.В. Ельникова[3]
[1]Д-р хим. наук, профессор, гл. научный сотрудник, anapon@ispm.ru,
[2]Д-р хим. наук, профессор, вед. научный сотрудник, зав. лаб., Shev@ispm.ru
[3]Канд физ.-мат. наук, научный сотрудник, elnikova@itep.ru
[1,2] Институт синтетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова РАН
[3]ФГБУ «Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова» НИЦ «Курчатовский институт»

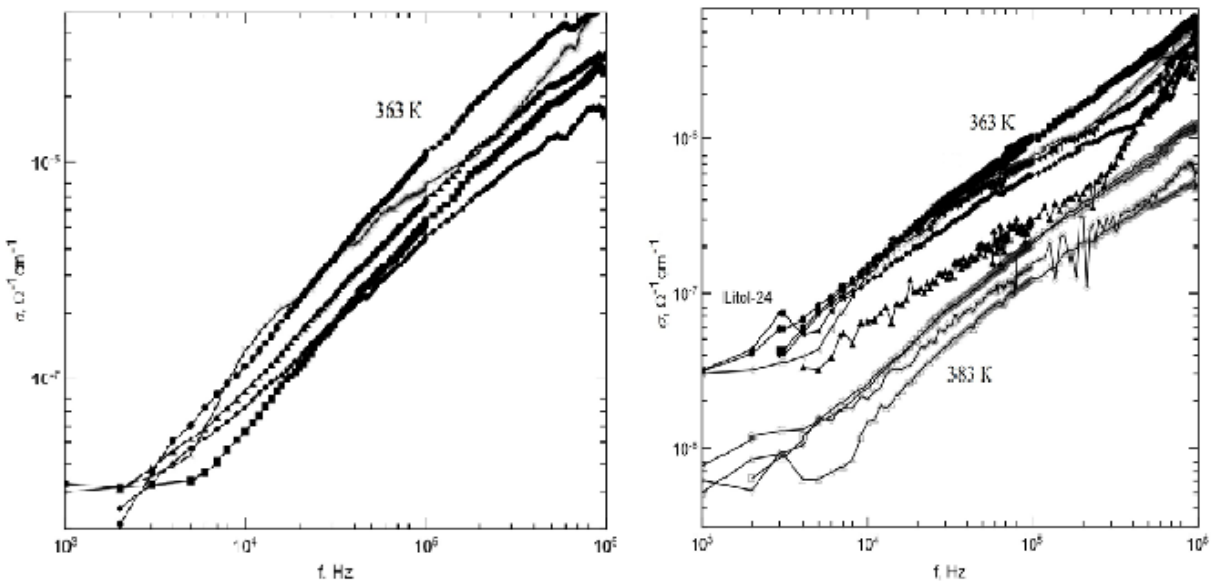
В данной работе предложено теоретическое объяснение фазовых переходов с изменением типа проводимости в смазочных композиций на основе Литола-24 и солидола, в состав которых включены мезогенные присадки в виде карбоксилатов меди (II) валерата и изовалерата. Для этих целей адаптируется спиновая модель фазового перехода типа *XY* Березинского-Костерлица-Таулеса (БКТ) и выясняется корреляция дефектной и электронной структуры смазочных композиций.

Ключевые слова: пластичные смазки, карбоксилаты меди, модель *XY* БКТ.

Смазочные композиции с присадками находят широкое практическое применение в машиностроении в виду их улучшенных трибологических показателей по сравнению с бесприсадочными смазками: уменьшается коэффициент трения, снижается износ и повышается долговечность деталей машин. Мы изучаем физические свойства синтетических пластичных смазок семейства Литол-24 и солидол, в которых присутствуют мезогенные добавки карбоксилаты меди (II), валерат и изовалерат, в различных концентрациях (1, 5, 10, 20 масс.%) [1,2].

На основании данных диэлектрической спектроскопии этих смазок [1,2] сделаны заключения о протекании мезоморфных превращений (рисунок) при изменении физических условий и состава. Для объяснения их природы и предсказания ряда возможных эксплуатационных режимов смазок необходимо сформулировать теоретическую модель, отвечающую наличию перехода системы в колончатую фазу (или гексатическую фазу, располагающуюся между твердой и изотропной фазами), возникновение которой индуцируется введением присадок в базовую смазку. Это известный переход БКТ, теория которого описывается в спиновых переменных с планарным гамильтонианом [3,4]. Численный анализ аналогичного поведения жидкокристаллических агрегатов представлен в обширной литературе [5]. Переход БКТ связан с эволюцией в материале линейных топологических дефектов дислокаций.

Из-за несовпадений кривых электропроводности смазок с валератом и изовалератом меди мы приняли за основу моделирования гипотезу, что геометрическое положение дислокаций связано с локализацией присадок, а обнаружение двух типов релаксационных процессов [1,2] – с протеканием перехода плавления БКТ из гексатической фазы при повышении температуры.



Частотные зависимости удельной электропроводности Литола-24 (наклонные треугольники) и системы Литол-24 с различными концентрациями валерата (слева) и изовалерата меди(справа): 1% (квадраты), 5% (кружки), 10% (треугольники), 20% (ромбы) при температурах 363 и 383 К [1].

Литература

1. Ельникова Л.В., Пономаренко А.Т., Шевченко В.Г. Релаксационные и диэлектрические свойства смазочных композиций на основе литола-24 с мезогенными присадками // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2018, (10-12) С. 60–69.

2. Ельникова Л.В., Пономаренко А.Т., Шевченко В.Г., Терентьев В.В., Акопова О.Б. Диэлектрические свойства смазочных композиций на основе солидола с присадками мезогенных карбоксилатов меди // Жидк. крист. и их практич. использ. 2019, Т. 19 (1), Р. 70–78.

3. Березинский В. Л. Разрушение дальнего порядка в одномерных и двумерных системах с непрерывной группой симметрии I. Классические системы. // ЖЭТФ 1970, Т. 59, С. 907-920.

4. Kosterlitz J. M., Thouless D. Ordering, metastability and phase transitions in two-dimensional systems // Journal of Physics C: Solid State Physics, 1973, V. 6, P. 1181–1203.

5. Keim P., Maret G., and von Grunberg H.H. Frank’s constant in the hexatic phase // Phys. Rev. Lett. 2007, V. 75, P. 031402–031406.

УДК 629.7.064.56

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА С РЕГУЛЯРНЫМ РЕЛЬЕФОМ ПОВЕРХНОСТИ СТРУКТУРЫ В САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ

А.В. Арсентьев[1], Е.Ю. Плотникова[2], М.Э. Харченко[3]
[1]Канд. техн. наук, доцент, aleksej.box@gmail.com
[2]Канд. техн. наук, доцент., katy-tokra@yandex.ru
[3]Инженер ВЗПП-С, xs3dmax@gmail.com
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе проводится моделирование эффективности солнечного элемента с рельефом поверхности в виде пирамид различной конфигурации. По результатам моделирования можно оценить эффективность солнечного элемента с тем или иным типом поверхности, выбрать наилучшую конфигурацию.

Ключевые слова: солнечный элемент, рельеф поверхности, структуры типа пирамида.

Солнечная энергетика – один из основных альтернативных источников электроэнергии. Основным промышленным материалом для производства солнечных элементов (СЭ) является кремний (монокристаллический, поликристаллический и аморфный). Так же ведутся разработки на германии и SiGe, на многокомпонентных полупроводниковых соединениях, например на InAlGaP-InGaP, $Cu(In,Ga)Se_2$, на органике, на металлооксидах (ZnO, SnO_2и др.). Еще один путь повышения эффективности СЭ – модификация рельефа поверхности структуры [1].

Формирование рельефа (рисунок) увеличивает эффективную площадь поверхности солнечного элемента на единицу длины. В зависимости от конфигурации будут различаться процент отраженного и поглощенного излучения. В данной работе предлагается рассмотреть влияние рельефа поверхности на эффективность солнечного элемента. В качестве изменяемого параметра выбрана форма в виде пирамид, регулярно расположенных на поверхности кремния [2,3].

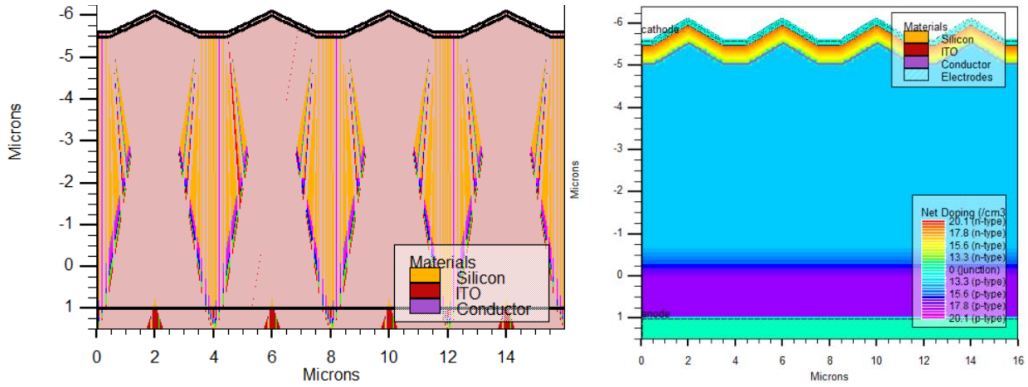
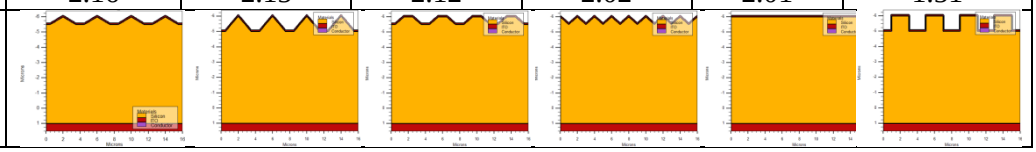


Схема трассировки световых лучей AM1.5 и структура эффективного СЭ

Результаты моделирования (таблица) показывают, что использование пирамид, перемежающихся с плоскими «долинами», дает лучшую эффективность по сравнению с плоской поверхностью и с различными вариантами зубчатой структуры. Моделирование проводится с пирамидами различной конфигурации, источник света имеет спектр AM1.5; свет падает перпендикулярным потоком на всю поверхность СЭ.

Моделирование проводилось в САПР технологического уровня.

Анализ влияния морфологии поверхности СЭ на его параметры

	Морфология поверхности СЭ					
	с мелкими пиками	с крупными пиками	трапеции различной формы	зубчатая структура различной глубины	плоский	прямоугольные столбики
угол от нормали при вершине	75°	55°	до 75°	до 45°	нет	0°
ширина основания, мкм	3	3	до 3	до 2	нет	2
шир.верх. плоск. полочки, мкм	нет	нет	до 2 мкм	нет	нет	2
$I_{кз} \cdot 10^{-9}$, А*	3.028	2.97	2.98	2.84	2.82	2.33
U_{xx}, В*	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1
$P_{max} \cdot 10^{-9}$, Вт*	2.16	2.15	2.12	2.02	2.01	1.51
внешний вид СЭ						

* - из серии моделирований структур с различной геометрией выбирается наилучший результат

Выводы: Лучшие показатели по мощности были определены для СЭ с мелкими и крупными пиками, при этом выигрыш в мощности составил 7,5% и 7% соответственно, по сравнению с плоской структурой. Иные варианты поверхности тоже дают повышение мощности из-за увеличения эффективной площади поверхности на единицу длины СЭ, но из-за не оптимальных эффектов отражения и поглощения не столь сильный.

Литература

1 Симашкевич А.В. Эффективные солнечные элементы ITO-nSi с текстурированной поверхностью кремния / А.В. Симашкевичи др. // Электронная обработка материалов. – 2011. – 47(3), С. 79-84.

2 J. B. Heng / High-Efficiency Tunnel Oxide Junction Bifacial Solar CellWith Electroplated Cu Gridlines // Photovoltaics, IEEE Journal of,vol. 5, pp. 82-86, 2015.

УДК 544.6.018

НАКОПИТЕЛИ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

А.В. Звягинцева[1] , А.С. Самофалова[2], С.А. Сазонова[3]
[1]Канд. техн. наук, доцент, zvygincevaav@mail.ru
[2] Инженер 2 категории, malinka.alya8@yandex.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, ss-vrn@mail.ru
[1,2,3] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Для оценки потенциальных возможностей аккумулирования водорода материалами на основе никеля проведены термодесорбционные исследования кинетики в исходных и с имплантированным дейтерием образцах. Произведен расчет значения энергии активации термодесорбции для водородного пика с температурой максимума 500 К, 2,9 эВ. Оценен потенциал взаимодействия атома водорода с примесной ловушкой, образованной атомом бора 0,42 эВ.

Ключевые слова: электрохимические системы никель-бор-водород, никель-индий-водород, водородные ловушки, структура, кинетика, термодесорбция, энергия активации, потенциал взаимодействия.

Основные требования к материалам для топливных элементов подчеркнуты в работе [1]: материалы для хранения водорода должны обладать высоким содержанием водорода, низкими затратами тепловой энергии на дегидрирования и быстрой кинетикой десорбции водорода при рабочих температурах (80-120 °С).

В работе показана принципиальная возможность изменения водородной проницаемости материала за счет создания в структуре металла ловушек водорода различного рода (структурные, примесные) [2-4]. Для экспериментального подтверждения, что в материалах, синтезированных электрохимическим методом, структурными ловушками атомов водорода служат интерметаллические соединения, взята система, не склонная к накоплению водорода и образованию химических соединений водорода с металлом в форме гидридов, это сплав Ni-In [3].

На основании экспериментов подобран состав электролита и режимы электролиза, синтезирующие структуру композита Ni-In с интерметаллидами индия и никеля. Дифрактометрически показано, что с увеличением концентрации индия в композите Ni–In формируются фазы интерметаллидов: $InNi_2$, $InNi_3$, In_3Ni_2, η-$In_{27}Ni_{10}$. Методом термодесорбции проведена регистрация количества водорода в исходных образцах и с имплантированным дейтерием (тестирующий элемент). Термодесорбция водорода в исходных образцах наблюдается при температурах 550 и 850 К. Количество окклюдированного водорода в композитах состава 38 и 46 % масс. In соответствуют 2 ат.D/ат. Мет, 4 ат.D/ат. Мет соответственно. Далее методом масс-спектроскопии изучена кинетика спектра термодесорбции дейтерия из композитов состава $Ni_{70}In_{30}$-Dx.

Предельно достижимая концентрация дейтерия 2 ат. D/ат. Мет. Энергия активации термодесорбции, для водородного пика с температурой максимума 500 К, составляет 2,9 эВ, что свидетельствует о невысоких энергиях извлечения изотопа водорода [3].

Возрастающий интерес представляют комплексные борогидриды металлов $Me(BH_4)_n$ с их высоким содержанием водорода [2]. Экспериментальные данные работ [3, 4] подтверждают, что изменение концентрации бора в электрохимических композитах на основе никеля, влияет на содержание в них водорода, что позволяет рассматривать их в качестве потенциальных накопителей водорода, особенно для технических приложений малых размеров и веса.

Представлены результаты исследований кинетики десорбции водорода из электрохимических композитов Ni-B. Изучены спектры термодесорбции водорода в исходных образцах после электрохимического синтеза и с имплантированным дейтерием. Расшифровка спектров термодесорбции показала: для никеля получено соотношение Ni:D = 1:1, для композита $Ni_{95}B_5$ $[Ni_{95}:B_5]$:D=1:1,25, что свидетельствует об сегрегации водорода в окрестности бора с большим синергизмом, чем с никелем. Оценен потенциал взаимодействия атома водорода с примесной ловушкой, образованной атомом бора $V = -0.67 \times 10^{-19}$Дж (0.42 эВ)., который является свидетельством невысокого значения энергии комплекса «бор-водород». Для дальнейшего практического применения в качестве накопителей представляет интерес продолжить исследование электрохимических систем на основе никеля или других металлов, содержащих бор.

Следовательно, полученный экспериментальный результат верифицирует принцип трансформации восприимчивости к аккумуляции водорода металлами (в данном случае это никель) в зависимости от числа дефектов и ловушек для атомов водорода в структуре.

Литература

1. Sunita Satyapal. Fuel Cell Technologies Office in the Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE) at the Department of Energy DOE Hydrogen and Fuel Cells Program. Annual Progress Report 2015. - P. 26.

2. Zvyagintseva A.V. Hydrogen permeability of nanostructured materials based on nickel, synthesized by electrochemical method /A.V. Zvyagintseva //Proceedings of the 2017 IEEE 7th International Conference on Nanomaterials: Applications & Properties (NAP-2017). - IEEE Catalog Number: CFP17F65-ART, 2017. - Part 2. - 02NTF41-1-02NTF41-5.

3. Zvyagintseva A.V. Kinetics of hydrogen desorption from Ni–In composites, synthesized by electrochemical method /2018 International theoretical and practical conference on alternative and smart energy. TPCASE 2018 // December 6-8, 2018. – Voronezh State Technical University Voronezh, Russia. – DEStech Publications, Inc. 439 North Duke Street Lancaster, Pennsylvania 17602 U.S.A. – P.P. 359- 367.

4. Zvyagintseva A.V. Interaction peculiarities of hydrogen and Ni-B galvanic alloys /A.V. Zvyagintseva // Carbon Nanomaterials in Clean Energy Hydrogen Systems. - Springer, 2008. - P. 437 – 442.

УДК 621.315

НОВЫЕ ПУТИ РАСШИРЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.А. Мирзаалимов[1], Р.У. Алиев[2], Ж.Ж. Гуломов[3]
[1]PhD студент, avazbek.mirzaalimov@mail.ru
[2]Д.т.н., профессор, alievuz@yahoo.com
[3]Студент, jasurbekgulomov@yahoo.com
Андижанский государственный университет

Обсуждены результаты расчетного и экспериментального исследования кремниевых солнечных элементов при перпендикулярном, параллельном и комбинированном к фронту *p-n*-перехода падении освещения. Предложены и разработаны новые конструкции солнечных элементов с вертикальным *p-n*-переходом.

Ключевые слова: кремний, солнечный элемент, вертикальный *p-n*-переход, трехстороннее освещение, ВАХ.

Известно, что для повышения выходных фотоэлектрических параметров полупроводниковых солнечных элементов (СЭ) используется способ двухстороннего освещения [1, 2]. При освещении фронтальной поверхности СЭ прямо падающим солнечным излучением, на тыльную поверхность направляют отраженные от внешних оптических конструкций излучения. СЭ с двухсторонней фото-чувствительностью имеют более высокие выходные энергетические параметры.

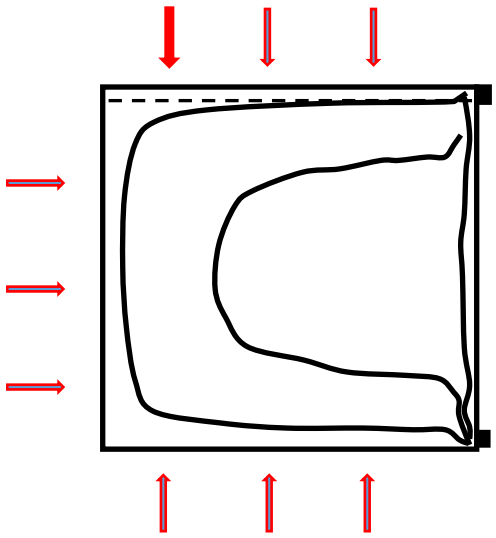


Рис. 1. Распределение фронта оптической генерации в объеме кремния с *p-n*-переходом при трехстороннем освещении СЭ.

В данной работе авторами впервые предложен новый способ и выполнено моделирование при помощи Sentaurus TCAD программной системы кремниевых СЭ с горизонтальным и вертикальным *p-n*-переходом. На основе известных теоретических представлений о поглощении света в кремнии,

фотоэлектрическом переносе заряда и разработанных для них физико-математических уравнений построены объемные фронты оптического поглощения солнечного излучения и фото-генерации неравновесных носителей заряда (НЗ). На рис. 1 приведено распределение фронта оптической генерации в объеме кремния с *p-n*-переходом при трехстороннем освещении СЭ. На рис. 2 приведены нагрузочные ВАХ кремниевого СЭ при перпендикулярном, параллельном и комбинированном к фронту *p-n*-перехода падении освещения.

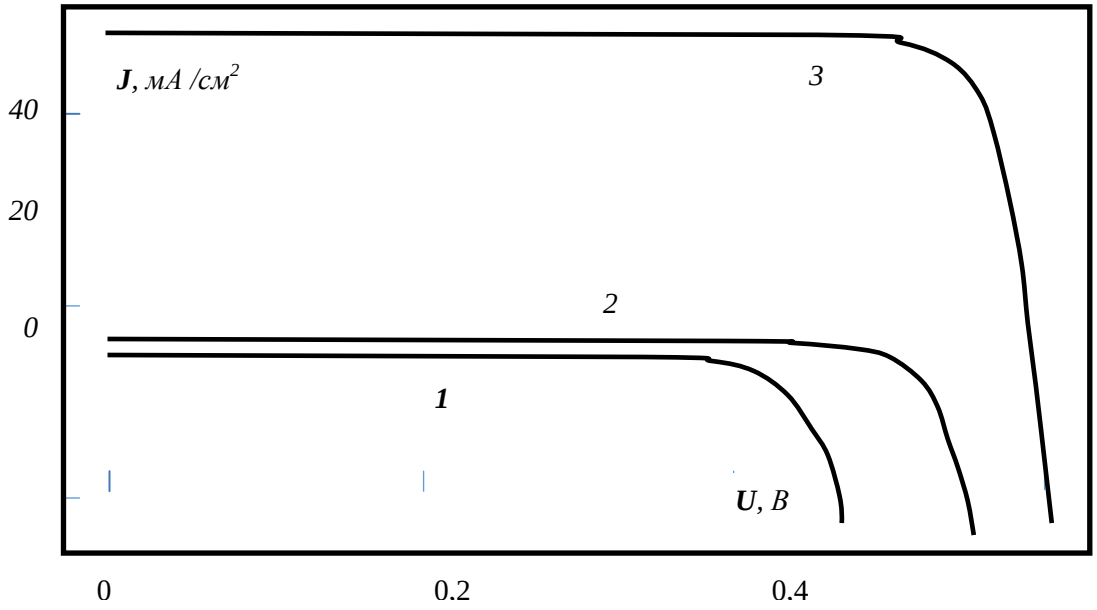


Рис. 2. ВАХ солнечного элемента при перпендикулярном, параллельном и комбинированном к фронту *p-n*-перехода падении освещения

Выполнены эксперименты по созданию кремниевых СЭ с вертикальным *p-n*-переходом в виде последовательно скоммутированных микрофото-элементов и проведено измерение их ВАХ при различных 3 условиях освещения. Сопоставлены расчетные и экспериментальные результаты, предложены и разработаны новые конструкции СЭ с высокими выходными фотоэлектрическими параметрами [3, 4].

Литература

1. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: Теория и эксперимент. - М.: Энергоатомиздат, 1987, С.182-183.

2. Стребков Д.С. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1997. № 6. С. 4-8.

3. Р. Алиев и др. Солнечный генератор. Патент UZ № FAP 00623.

4. Р. Алиев и др. Фотоэлектрический модуль. Патент UZ № IAP 20100193.

УДК 621.31

ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 110 КВ И ВЫШЕ

В.Н. Курьянов[1], Е.В. Курьянова[2], Е.М. Скопова[3], Ю.В. Фирсов [4]
[1]Канд. техн. наук, доцент, vek077@yandex.ru
[2] Аспирант, vek.077@rambler.ru
[3] Инженер, skopova.eva@mail.ru
[4]Магистрант, firsov.i.v@mail.ru
[1,3,4] Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском
[2] ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» г. Москва

В данной работе приводятся результаты исследования и разработки устройств, используемых для обнаружения мест повреждения линии электропередачи в условиях «цифровой трансформации» энергетического комплекса.

Ключевые слова: линия электропередач, повреждение, устройства обнаружения.

Развитие энергетической отрасли Российской Федерации связано с реализацией концепции и государственных программ перехода на современные эффективные технологические и экономические механизмы управления энергосистемой страны. Реализация национального проекта «Цифровая экономика» в концепции развития энергетики до 2035 года формирует новые подходы для энергетических компаний по внедрению программ цифровой трансформации. Существующие модели управления энергетическими объектами (эксплуатации, ремонта, реконструкции и др.) в условиях цифровизации не обеспечивают высокую эффективность, часть из них уже потеряли свою значимость, а внедряемые цифровые технологии зачастую касаются лишь линейки вновь вводимого нового оборудования. Однако действующее оборудование энергетики страны (более 60%) работает со сроком эксплуатации более 25 лет и еще может быть эффективно использовано для производства и передачи энергоресурсов. При перерывах в подаче электроэнергии многие производства останавливаются полностью, и на сегодняшний день актуальной задачей является максимально быстрое выявление и устранение различных инцидентов с возобновлением нормального режима работы.

Транзит электроэнергии в масштабе регионов Российской Федерации происходит по сети 110 кВ и выше, кроме того, основные потребители могут быть запитаны от «тупиковых» подстанций, в таком случае отключение питающей воздушной линии потребителем ощущается более остро. Воздушные линии электропередачи (ВЛ) проходят по различной местности, в связи с чем подвергаются воздействию всех возможных факторов: гололёдной нагрузке, ветровой нагрузке, загрязнения атмосферы, грозовые перенапряжения, падение веток и деревьев, деятельность человека и так далее. Воздействие этих

факторов приводит к устойчивым, повторяющимся или однократным повреждениям. При отключении, с успешным повторным включением (особенно однократным), зачастую выявить место повреждения, при обычном пешем осмотре, не представляется возможным. В этом случае приходится отключать линию и производить тщательный верховой осмотр нескольких опор и пролётов между ними, что приводит к отключению потребителя и существенным материальным затратам эксплуатирующей организации.

Для определения мест повреждений используется ряд приборов. В основном, это устройства, устанавливаемые на подстанциях, которые по различным характеристикам определяют расстояние от места установки устройства до места повреждения. На практике, с учётом режимов сети, погрешностей измерений, для отыскания места короткого замыкания на линии электропередачи, даже при наличии специальных фиксирующих приборов устанавливаемых на подстанциях, требуется достаточно много времени. Устройства для определения мест повреждения, устанавливаемые непосредственно на опоры, широкого применения не нашли, что связано с некоторыми недостатками и недоработками существующих модификаций.

Целью работы является разработка устройства для обнаружения мест протекания токов короткого замыкания на элементах воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше, которое устанавливается непосредственно на опоре и позволяет быстро и точно определить место повреждения не отключая оборудование. Для достижения поставленной цели разработано устройство, которое отвечает следующим требованиям: устанавливается на опоре, не возлагая на неё дополнительной весовой нагрузки; обеспечивается возможность монтажа и демонтажа без отключения воздушной линии и в сжатые сроки; монтаж, демонтаж и обслуживание производится обслуживающим персоналом, без дополнительного привлечения специалистов; имеется световая индикация, для облегчения отыскания в ночное время.

В работе проведен анализ накопленного опыта и научных разработок [1] в данном направлении: определены наиболее вероятные пути протекания токов короткого замыкания на воздушных линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше; определен способ сигнализации, при срабатывании устройства; определены характеристики узлов и деталей устройства.

Результатом исследования является разработка устройств обнаружения мест повреждений на воздушных линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше, с последующей цифровизацией: фиксацией событий, ее передачей, накоплением и анализом массивов данных в центрах принятия решений.

Литература

1. Патент RU №187995 U1, МПК G01R 31/08 (2006.01), СПК G01R 31/08. Индикатор пробоя изолятора. Опубликовано 26.03.2019. Автор Дзюбин А.С.

УДК 621.456.2

О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ ЯДЕРНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ГИБРИДНОГО ТИПА

Т. А. Башарина[1], М.Г. Гончаров[2], В. С. Носова[3], Д.П. Шматов[4]
[1] Инженер кафедры «Ракетные двигатели», rd-vgtu@mail.ru
[2] Студент гр. РД-181, rd-vgtu@mail.ru
[3] Студент гр. РД-151, rd-vgtu@mail.ru
[4] К.т.н., доцент кафедры «Ракетные двигатели», rd-vgtu@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе рассматриваются перспективы применения гибридных ядерных ракетных двигательных установок, способных функционировать в режимах как маршевых двигателей, так и в режимах ядерной энергоустановки, для осуществления межпланетных перелетов.

Ключевые слова: ядерный ракетный двигатель, двигательная установка, ракетная техника.

Освоение космического пространства диктует необходимость создания двигательных установок (ДУ), обладающих эффективными летно-техническими характеристиками. Сочетание в одной установке высоких значений тяги и удельного импульса, а также возможность работы в режиме электрогенерации для обеспечения работы бортового оборудования и электроракетных двигательных блоков осуществимо в ядерной ракетной двигательной установке (ЯРДУ) гибридного типа.

Работа в режиме ядерная электроракетная установка (ЯЭУ) плюс электроракетная двигательная установка (ЭРДУ) производится следующим образом. Поддерживаемая в активной зоне реакция деления нагревает жидкий теплоноситель первого контура, проходящего через активную зону реакторной камеры по тепловым трубам. Теплоноситель первого контура передает энергию теплоносителю второго контура через теплообменник, который преобразует внутреннюю энергию нагретого вещества в кинетическую энергию ротора турбины, одновально соединенного с электрогенератором. Создаваемая на генераторе электроэнергия обеспечивает нужды бортового оборудования космического аппарата и потребности маршевых ЭРДУ, включающих в себя ионные двигатели (ИД), либо двигатели со стационарной плазмой (СПД). Рассмотрим подробнее некоторые из актуальных проблем создания ЯРДУ.

Плотность потока n_0 и γ-квантов на поверхности реактора составляет 10^{14}-10^{15} нейтр/(см^2 •сек) и 10^{18}-10^{19} МэВ/(см^2•сек) соответственно, что существенно больше допустимых норм как для автономных, так и для пилотируемых аппаратов. Основными формами ионизирующего излучения, распространяющегося от ядерной силовой установки, являются β и γ-излучение. Для снижения их воздействия применяют различные схемы защиты, работающие по теневому принципу – создающие зону со сниженным уровнем излучения в некоторой диаграмме направленности, имеющей форму усеченного конуса.

Радиационная защита такого типа состоит из конусовидных блоков материалов-поглотителей и дополняется экранирующими панелями, выполненными из металлов с высоким значением ядерного эффективного сечения, такими как W, Mo, U_{238}, а также панелями круговой защиты в случае необходимости обеспечения работы экипажа в открытом космосе. Второй эффективный метод радиационной защиты - удаление ЯРДУ от полезной нагрузки (ПН). Реализация такого способа возможна с применением раздвижных ферм или аналогичных по размерам стационарных конструкций, собираемых непосредственно на орбите.

Ввиду очевидного превосходства эффективности турбомашинного преобразования энергии над термоэмиссионным [1], целесообразно рассмотреть первый тип энергетического преобразования. Паротурбинные ЯЭУ содержат в себе два контура теплоносителей, сообщающихся через парогенератор, обеспечивающий сепарацию теплоносителей различных контуров. Нагреваясь, рабочее тело второго контура сообщает часть своей энергии паровой турбине, затем охлаждается. Для обеспечения конденсации в условиях невесомости целесообразно применение в конструкции ПЯЭУ специальных конденсаторов. Газотурбинные ЯЭУ позволяют использовать в составе совершающего работу контура те же самые газы, что используются в качестве рабочего тела в режиме работы ЯРДУ. Поскольку значительная часть тепловой мощности все равно подлежит сбросу через холодильники-излучатели (ХИ), это предопределяет необходимость наличия последних, причем обладающих достаточной эффективной площадью рассеяния. Разделение контуров теплоносителей обеспечивает должный уровень радиационной безопасности и позволяет размещать основные узлы и агрегаты установки в области покрытия теневой радиационной защиты, что упрощает их диагностику, техническое обслуживание и ремонт в условиях открытого космоса.

Применение ЯРДУ гибридного типа позволяет существенно расширить возможности человечества в освоении ближнего и дальнего космоса. Массово-энергетическое совершенство двигательной установки такого типа превосходит все ранее создаваемые аналогичные системы. Характерен высокий удельный импульс в режиме работы «ЯЭУ+ЭРДУ», становится возможна высокая тяга в режиме работы «ЯРДУ», обеспечивается стабильное бортовое питание без необходимости применения солнечных батарей. Это позволяет сократить время межпланетных орбитальных маневров, позволяя улучшить массовое отношение полезной нагрузки к массе КА, что сделает научно-исследовательские полеты более эффективными, а перспективные программы – более рентабельными.

Литература

1. Новиков Ю.А., Ермолаев В.И. / Оптимизация структуры и параметров энергодвигательных систем большой энерговооруженности / Новиков Ю.А., Ермолаев В.И. // Сибирский журнал науки и технологий. 2016. №4.

УДК 628.1

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА УСТАНОВКИ ОБРАТНОГО ОСМОСА

М.В.Одоевцева[1], Д.А. Спиридонов[2]
[1]Канд. техн. наук, доцент, odoevcevamv@mail.ru
[2]Магистрант, dima.spiridonoff2010@mail.ru
Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском, г. Волжский

Показана эффективность применения тестовых установок ОО «НПК Медиана-Фильтр» для мониторинга отложений на обратноосмотических мембранных элементах. Определение состава и интенсивности отложений на мембранных элементах обеспечивает выбор оптимального водно-химического режима установки обратного осмоса.

Ключевые слова: обратный осмос, химическая мойка, загрязнения мембран, водоподготовка.

Целью данной работы является доказательство целесообразности применения тестовых установок обратного осмоса, произведенных компанией ОО «НПК Медиана-Фильтр» [1], для оценки эффективности применяемых отмывочных растворов. Для этого были поставлены задачи: анализ отложений, образующихся во время эксплуатации обратноосмотических мембран тестовых установок, оценка результатов их отмывки кислотными и щелочными растворами.

Для определения состава и количества загрязняющих веществ проводился: анализ исходной воды и прогнозирование возможных загрязнений; визуальный осмотр торцов мембранных элементов; анализ состава кислых и щелочных растворов после химической мойки тестовой установки; разборка (вскрытие) мембранного элемента и прямой анализ отложений с поверхности мембраны. Состав отложений определялся по загрязнениям моющих растворов

Отложения с поверхности мембран определялись с использованием энергодисперсионного метода [2] на приборе Versa 3D в ВолгГТУ. Исследования отложений позволили уточнить состав отложений на поверхности мембран производственной УОО. Выявлено, что на мембранах накапливаются органические вещества, соединения кремния, железа и кальция. Полученные данные согласуются с результатами анализа проб моющих растворов тестовой установки.

Выявлено, что эффективность очистки мембран различными моющими растворами обусловлена правильным подбором реагентов с целью перевода отложений в растворимую форму. Химическая очистка мембран осуществляется с использованием нескольких реагентов. Имея представление о составе и структуре отложений, использовались кислотные и щелочные композитные растворы различных фирм.

Результаты исследований показали высокую эффективность моющих растворов АО «НПК Медиана-Фильтр». Масса удаленных загрязнений больше на 63 %, чем при использовании производственных моющих растворов. Величина pH сохранялась стабильной на протяжении всего времени очистки образцов мембран. При увеличении продолжительности химической очистки мембран масса отмытых отложений возрастает. Эффективность коммерческих составов для очистки интенсивно загрязненных мембран не всегда достаточна. Применение готовых составов различных производителей исключает возможность направленного подбора концентрации и растворяющего вещества для удаления отложений с поверхности мембраны. Максимальное количество отложений удаляется с поверхности мембраны при щелочной очистке раствором NaOH (pH=11,0) в течение 11 часов и кислотным раствором АО «НПК Медиана-Фильтр»- MF – CRO – 218. При таком режиме масса отмываемых отложений увеличивается в 1,5 раза.

Определение состава отложений на мембранах тестовой установки обеспечивает выбор оптимального режима химической очистки производственной установки обратного осмоса, что снизит скорость формирования отложений, увеличит срок эксплуатации мембранных элементов промышленной водоподготовительной установки при стабильно высоком качестве обессоленной воды.

Литература

1. А. Г. Баландина [и др.]. Развитие мембранных технологий и возможность их применения для очистки сточных вод предприятий химии и нефтехимии. Нефтегазовое дело. 2015; №5: – стр. 336 – 375.

2. А. А Пантелеев [и др.]. Методологические подходы к проведению пилотных и тестовых испытаний на установках обратного осмоса: результаты сравнительных исследований. Теплоэнергетика. 2017; №10: – стр. 92 – 98.

УДК 621.311

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕГАПОЛИСОВ

Н.Ш. Чемборисова[1], М.Ю. Погорелец[2]
[1]Д-р тех. наук, профессор, nelya1998@mail.ru
[2]Аспирант, mpogorelets@gmail.com
[1,2] ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

В работе приводятся результаты исследований проблем функционирования электроэнергетических систем мегаполисов и принципов построения их электроснабжения, основанных на внедрении и использовании систем передачи постоянного тока.

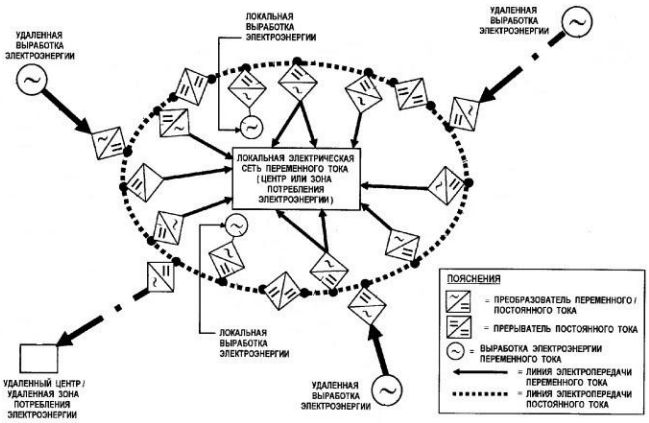
Ключевые слова: электроэнергетические системы, энергоснабжение мегаполиса, надежность, системы передачи постоянного тока.

Надежное электроснабжение потребителей в крупных городских агломерациях, таких как современные мегаполисы, в ближайшей перспективе будет определяться качественным развитием электроэнергетических систем. Основами функционирования энергосистем мегаполисов являются системы передачи электроэнергии переменного тока, которые гарантируют и корректируют энергоснабжение всех городских районов, а также целенаправленно синхронизируют параллельную работу с внутренними и внешними источниками питания, включая всю инфраструктуру мегаполиса, подчиняясь требованиям обеспечения организации надежного, устойчивого и экономичного энергоснабжения [1].

Энергосистема мегаполиса состоит из большого количества разнообразных объектов: генерация, сетевой и распределительный комплекс, потребители - выявляя рост токов короткого замыкания и моделируя наиболее нестандартные расчеты параметров отладки релейной защиты и автоматики; в результате высокой выработки комбинированной энергии наблюдается существенная взаимообусловленность режимов электро-,тепло- и газоснабжения; значительное количество потребителей I и II категории по надежности, включая социально-экономическую инфраструктуру, и прочие существенные источники.

В настоящее время можно выделить доминирующие дилеммы мегаполисов: отсутствие, либо низкий уровень гарантированных генерирующих мощностей; дефицит распределительных сетей класса напряжения 110 ÷ 220 кВ, что не всегда позволяет довести эти мощности до определенных территорий мегаполиса; устойчивое электроснабжение потребителей распределительных сетей 0,4 и 6 (10) кВ; неустойчивая работа – генерации, передачи и распределения, в том числе отсутствие эффективного объединения между собой и с энергопотреблением; неудовлетворительное регулирование тарифов и т.д. [2].

Выявленные в работе проблемы предлагается решить одним из самых действенных способов: создание упорядоченной структуры управления закольцованными линиями электропередачи постоянного тока, либо неполным энергокольцом данных линий, с использованием вставок постоянного тока со множеством точек подачи/отбора электроэнергии.



Использование передач и вставок постоянного тока

Широкое применение систем передачи постоянным током в электроэнергетических системах, в том числе граничащих с энергосистемами мегаполисов позволит обеспечить расшивку локальной системы переменного тока от окружающей энергосистемы переменного тока, упреждая возникновение помех при работе системы или полного отклонения от нормальной работы системы, в результате возникающих сбоев в системе переменного тока.

В локальном центре потребления, например в мегаполисе, электроэнергии переменного тока, целесообразно расположить множество разнообразных источников генерации постоянного тока, для компенсации недостаточной выработки электроэнергии, которые также системно подключаются к энергокольцу передачи постоянного тока. Линии электропередачи постоянного тока гарантируют расшивку источников электроэнергии постоянного тока от систем переменного тока и обеспечивают надежное диспетчерское управление источниками переменного и постоянного тока. Вставки постоянного тока регулируют потокораспределение электроэнергией, которая передается от удаленной электростанции в место сбыта через закольцованные электропередачи постоянного тока, что позволит обеспечить нормальное функционирование и дальнейшее успешное развитие, как инфраструктуры самого мегаполиса, так и сосредоточенных вокруг него ресурсов.

Литература

1. B. A. Alekseev Substations of deep input / Energoexpert. 2009. No. 1. - p.p. 92-97.

2. V.G. Goldstein, V.D. Mozhaev Recent and future problems of megapolises power systems / Proceedings of the Kola scientific center of the Russian academy of sciences, 2016, Vol 5-13 (39), - p.p. 132-150.

УДК 536.7

О ПРИМЕНЕНИИ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Е.А. Бузоверов[1], А.З. Жук[2]
[1]Канд. техн. наук, teoconsult@inbox.ru
[2]Д-р ф-м. наук, профессор, 666zhuk@ihed.ras.ru
ФГБУН Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)

В статье показан пример эффективного применения солнечных коллекторов простейшей конструкции в газифицированной централизованной системе теплоснабжения г. Геленджика Краснодарского края, а также определены условия для распространения подобного опыта.

Ключевые слова: солнечный коллектор, централизованная система теплоснабжения, Геленджик.

Солнечная энергетика является одним из наиболее перспективных направлений среди технологий возобновляемой энергетики. Для преобразования энергии солнечного излучения в тепловую и электрическую традиционно применяются солнечные коллекторы, используемые для нагрева воды, и фотоэлектрические панели для прямого преобразования солнечной энергии в электроэнергию. За последнее десятилетие стоимость фотоэлектрических модулей снизилась, а эффективность повысилась настолько значительно, что это привело к спаду на рынке солнечных коллекторов [5, 6]. Однако существуют определенные нишевые применения, в которых солнечные коллекторы могут работать эффективнее не только фотоэлектрических панелей, но и традиционных теплогенерирующих технологий, таких как сжигание природного газа, даже в условиях его относительно низкой стоимости для российских потребителей.

Так, предприятие ООО «Газпромтеплоэнерго Краснодар» успешно применило солнечные коллектора в централизованной системе теплоснабжения в г. Геленджике. Там, на крышах нескольких ЦТП были смонтированы простейшие солнечные коллекторы, служащие первой ступенью подогрева холодной воды перед водо-водяными теплообменниками, подключенных к центральным газовым котельным. Коллекторы выполнены из полиэтиленовой трубы наружным диаметром 20 мм и протяженностью около километра. Конструкция устройства настолько проста, что даже при монтаже коллектора силами сторонних организации, его стоимость не превышает 400 тыс. руб. В ней отсутствуют средства автоматизации, накопительные емкости, а количество запорно-регулирующей арматуры сведено к минимуму.

Коллектора эксплуатируются только при положительных температурах наружного воздуха, что для данного региона составляет до 7 месяцев. Замеры, выполненные на пилотных ЦТП показали, что в течение года один коллектор позволяет сэкономить около 170 тыс. кВт·ч тепловой энергии, что в пересчете

на стоимость природного газа составляет 150 тыс. руб. Срок окупаемости устройства даже при замещении природного газа не превышает 3 лет, а приведенная стоимость сгенерированной тепловой энергии не превышает 0,3 руб./кВт·ч (0,005 USD/кВт·ч).

Ключевые параметры эффективности проекта приведены в таблице.

Технико-экономические показатели Геленджикского солнечного коллектора

Параметр	Ед. изм.	Значение
Площадь солнечного коллектора	$м^2$	60
Инвестиции	тыс. руб.	400
Годовой эффект	тыс. руб./год	144
Срок окупаемости	Лет	2,8
Замещающая стоимость тепла	руб./кВт·ч (USD/кВт·ч)	7 (0,01)
Удельный суточный отпуск теплоты	кВт·ч/ $м^2$	13,5
Удельный годовой отпуск теплоты	кВт·ч/($м^2$·год)	2 900
Удельные капитальные затраты на устройство коллекторов	тыс. руб./$м^2$ (USD/$м^2$)	6 800 (107)
Приведенная стоимость отпущенной от коллекторов теплоты	руб./кВт·ч (USD/кВт·ч)	3,5 (0,005)
Доля замещаемой солнечными коллекторами нагрузки ГВС	%	7

В тоже время, даже самые оптимистичные расчеты показывают, что современные солнечные коллектора и фотоэлектрические панели, оснащенные контроллерами, аккумулирующими емкостями, не позволяют снизить стоимость генерируемой тепловой энергии ниже 0,1 USD/кВт·ч, что ограничивает область их использования автономными системами теплоснабжения, в которых недоступен дешевый природный газ, либо могут внедряться при поддержке государственных субсидий.

Полученный опыт применения солнечных коллекторов простейшей конструкции может быть успешно тиражирован в южных регионах России и зарубежных стран с теплым климатом и высоким уровнем солнечной радиации. Сокращение потребления топливно-энергетических ресурсов путем замещения их солнечной энергией позволит сократить стоимость тепловой энергии в жилищно-коммунальном хозяйстве и выбросы парниковых газов в окружающую среду.

Литература

1. Фрид, С.Е., Лисицкая, Н.В. Фотоэлектрические генераторы для горячего водоснабжения // Интеллектуальная электротехника — № 4, 2018, С. 52-62.
2. Фрид, С.Е., Лисицкая, Н.В. Конкурентоспособность солнечных батарей при генерации тепла // Конгресс REENCON–XXI «Возобновляемая энергетика XXI век», 2018, С. 219-222.

УДК 62 – 663.1

ОТОПИТЕЛЬНАЯ КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ТВЕРДОТОПЛИВНАЯ ПЕЧЬ С ИНТЕНСИФИЦИРОВАННЫМ ТЕПЛООБМЕНОМ

Ю.Я. Печенегов[1], Р.И. Кузьмина[2], А.Н. Макагон[3],
О.В. Бурухина[4], Н.С. Яшин[5], Ю.А. Грачева[6]
[1]Д-р техн. наук, профессор, y.pechenegov@mail.ru
[2]Д-р хим.наук, профессор, kuzminaraisa@mail.ru
[3]Магистрант, makagonan@mail.ru
[4]Канд. хим. наук, доцент, dioksanochka@mail.ru
[5]Студент, yans98@mail.ru
[6]Магистрант, july08123@mail.ru
[1] Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина»
[2,3,4,5,6] ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Разработана конструкция отопительной печи с растянутым во времени процессом горения однократной загрузки твердого топлива, каталитическим дожигом горючих компонентов в образующихся дымовых газах и интенсифицированным их теплообменом с окружающим воздухом. Приведены результаты исследования топочного процесса в печи при сжигании различных сортов твердого топлива.

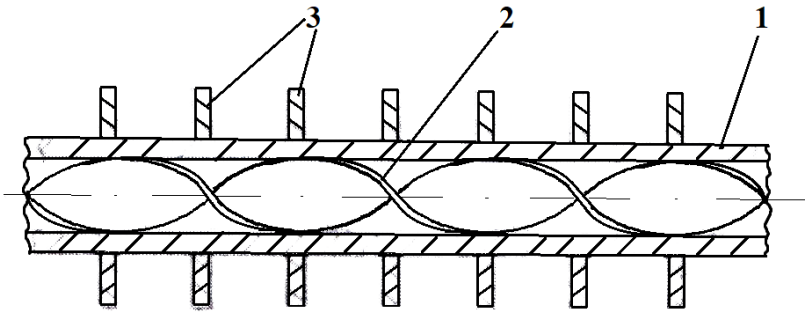
Ключевые слова: обогрев помещений, каталитическая твердотопливная печь, интенсификация теплообмена.

В промышленности, сельском хозяйстве, и коммунально-бытовом секторе встречается немало ситуаций, когда обогрев помещений приходится осуществлять с использованием печей, работающих на твердом топливе. Типичным представителем таких печей являются известные «печи-буржуйки». К недостаткам данных печей следует отнести наличие продуктов химического недожога в удаляемых из топки дымовых газах и низкий тепловой к.п.д. из-за малоинтенсивного теплообменагорячих поверхностей печи при контакте их с нагреваемым воздухом в помещении.

Нами разработана отопительная каталитическая твердотопливная печь [1], лишенная названных недостатков. Горение единовременной загрузки крупнокускового твердого топлива (уголь, торф, горючие сланцы, пеллеты, дрова, горючие отходы и др.) в топке печи осуществляется в тлеющем режиме и продолжается в течении заданного интервала времени (до 24 часов). Поступление воздуха через колосниковую решетку в слой топлива количественно регулируется в зависимости от назначенного времени сжигания загруженной порции топлива. Образующиеся при горении топлива дымовые газы пропускаются через неподвижный слой зернистого катализатора, где осуществляется доокисление содержащихся в них продуктов недожога и нейтрализация экологически вредных компонентов. Далее дымовые газы поступают в горизонтально расположенные дымогарные трубы, где

охлаждаются, передавая тепло через стенки труб воздуху в помещении. Подача воздуха в топку, движение дымовых газов через слой катализатора и далее через дымогарные трубы и дымовой тракт обеспечивается за счет самотяги, создаваемой вытяжной трубой.

Проведенный нами анализ показал, что с целью повышения эффективности и экономических показателей работы печи следует интенсифицировать процессы теплоотдачи от дымовых газов к стенкам дымогарных труб и от стенок к окружающему воздуху. Для этого предложено разместить в дымогарных трубах скрученные ленты, а на наружной поверхности труб установить кольцевые ребра (рисунок). Расчеты показывают, что данные конструктивные элементы обеспечивают значительно более высокую интенсивность теплообмена по отношению к гладким трубам и повышают эффективность работы печи.



Дымовая труба с интенсификаторами теплообмена: 1 – стенка трубы; 2 – скрученная лента; 3 – кольцевые ребра

Используемый в печи катализатор представляет собой твердые пористые частицы огнеупорного материала (легковесный шамот), пропитанные солями щелочных металлов [2].Катализатор производится по специальной технологии в Саратовском национальном исследовательском государственном университете им. Н. Г. Чернышевского. Результаты испытаний разработанной печи при сжигании в ней угля, дров, отходов древесностружечных плит показали полное отсутствие продуктов недожога и токсичных кислородсодержащих соединений в отходящих дымовых газах.

Литература

1. Патент РФ №2707778. Каталитическая твердотопливная печь. Опубл. 29.11.2019.

2. Патент РФ №2380612. Каталитический теплогенератор. Опубл. 27.01.2010.

УДК 620.91

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ И ПОТОКА ПРЯМОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ПАДАЮЩЕГО НА ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ПОМЕЩЕНИЯ

С.А. Яременко[1], Р.А. Шепс[2], А.А. Мерщиев[3], Д.В. Лобанов[4]
[1]Канд. тех. наук, доцент, jaremenko83@mail.ru
[2]Канд. тех. наук, старший преподаватель, romansheps@yandex.ru
[3]Старший преподаватель, sasha__1990@mail.ru
[4]Старший преподаватель, ldv-36@mail.ru
[1,2,3,4] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований прямого солнечного излучения центрально-черноземного региона. Проведена оценка интенсивности и потока прямого солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность помещения.

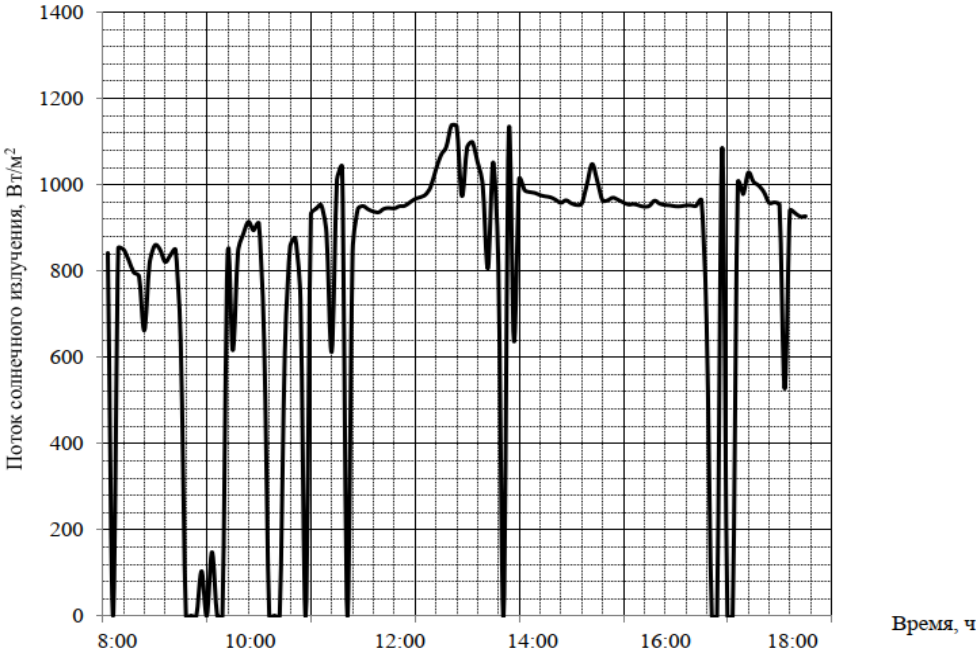
Ключевые слова: солнечное излучение, интенсивность, поток.

Возобновляемые источники энергии безустанно вызывают рост потребности на всех уровнях мирового сообщества. Возобновляемые источники энергии получили не только энергетическое, но и политическое значение. Происходит это вследствие повышенного интереса, прежде всего связанного с надеждами на экологически безопасное и устойчивое энергоснабжение человечества в будущем [1, 2].

Точное прогнозирование или расчет потоков солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность в конкретной географической точке на практике невозможно, так как метеорологическая информация не всегда доступна и достоверна [3]. Поэтому для расчета характеристик солнечных установок требуются использовать данные экспериментальных измерений параметров солнечного излучения в рассматриваемом месте. Наиболее точной информацией является величина прямого солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность.

Были проведены измерения потока прямого солнечного излучения на горизонтальной поверхности через светопрозрачную конструкцию. Экспериментальные данные получены с помощью измерительного устройства высшего класса в период времени с 1 июля по 1 августа. Результаты измерений показали интенсивное волнообразное изменение потока солнечного излучения в период времени равному 8 часам. Использование полученных значений позволит избежать большие ошибки при инженерном методе расчета производительности солнечных установок [4].

В работе описываются методы оценки интенсивности и потока прямого солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность помещения.



Изменение потока солнечного излучения (G_{on})

Данный метод оценки дневного излучения позволяет определить плотность потока суммарного и прямого излучения, по следующей формуле:

$$G_o = G_{on} \cos \Theta_z$$

где, G_{on} – плотность потока солнечного излучения; $\cos \Theta_z$ – угол падения прямого солнечного излучения на поверхность.

При применении данной оценки для расчета солнечных установок, используемых в центрально-черноземном регионе, их эффективность возрастет на 10%.

Литература

1. Sheps R.A., Yaremenko S.A., Pereslavtceva I.I. «Influence of solar energy on thermal protection of constructions», Energy saving and energy efficiency at the industrial enterprises housing and communal services. Proc. of 1st Russian scientific and technical conference devoted to memory of the Dr.Sci.Tech., Professor A.A. Sander (Energosberezhenie i energoeffektivnost' na promyshlennykh predpriyatiyakh zhilishchno-kommunal'nom khozyaystve. Materialy I Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati d-ra tekhn. nauk, professora A.A. Sandera.), 2017, pp. 199-209.

2. Sheps R. A., Portnova N. V., Shchukina T. V., Pereslavtseva I. I. The use of solar radiation in the application of energy-efficient walling. Bulletin of Voronezh state technical University. 2018. Vol. 14. No. 3. Pp. 46-51.

3. Sheps R.A., Kushchev L.A., Shashin A.V., Lobanov D.V. Vliyanie zapylennosti ograzhdayushchikh konstruktsiy na sposobnost’ pogloshchat’ solnechnuyu energiyu [Impact of dust walling the ability to absorb solar energy]. Privolzhskiy nauchnyy zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. 2017, no. 4 (44), pp. 51–59.

УДК 696.2, 004.94

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

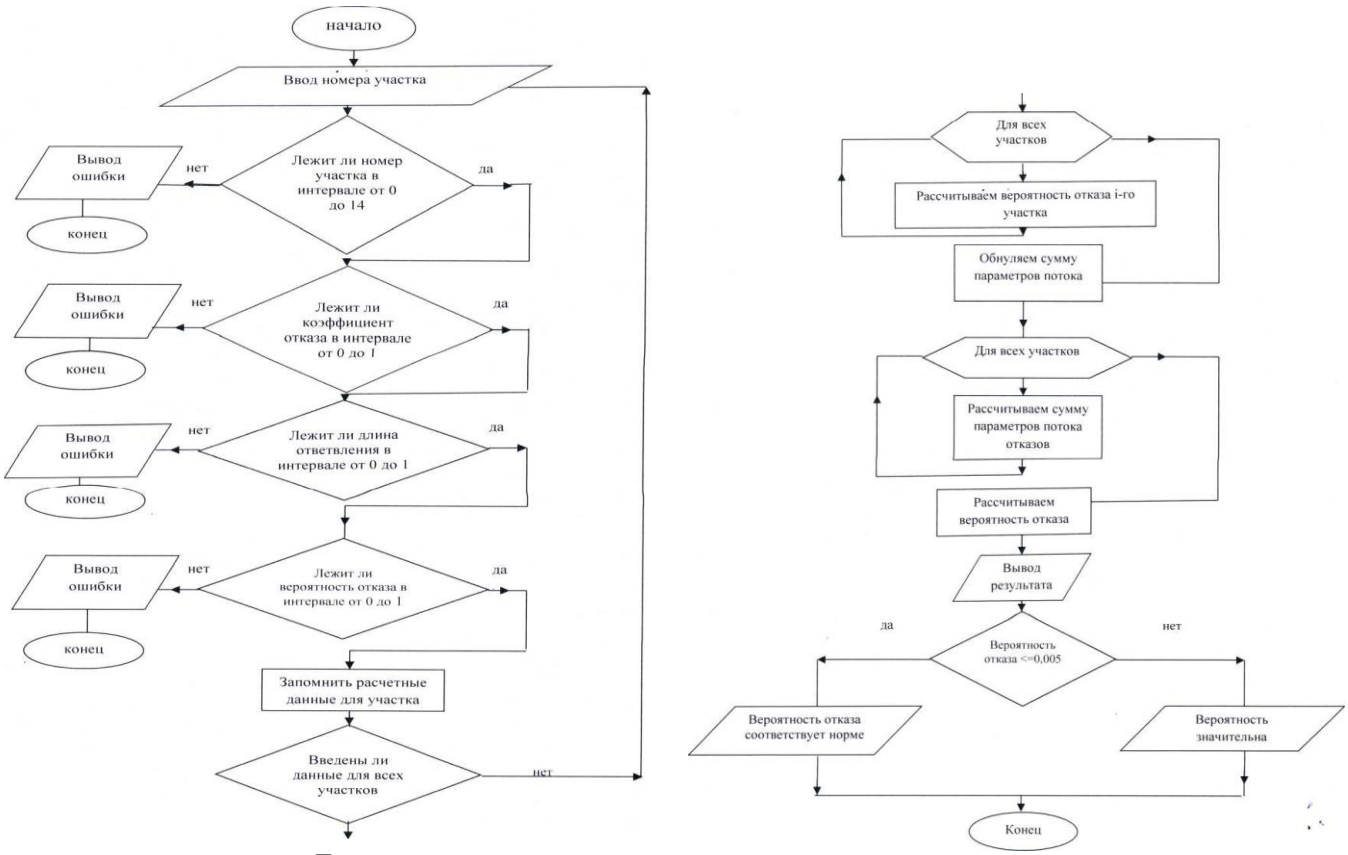
Г.Н. Мартыненко[1], Н.А. Петрикеева[2], С.А. Горских[3], А.А. Горских[4]
[1]Канд. техн. наук, доцент, glen2009@mail.ru
[2] Канд. техн. наук, доцент, petrikeeva.nat@yandex.ru
[3] Канд. техн. наук, доцент, gorskih@oblgaz.vrn.ru
[4] Канд. техн. наук, доцент, gorskih@oblgaz.vrn.ru
[1,2] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
[3,4] ОАО «Газпром газораспределение Воронеж»

В данной работе был разработан алгоритм оценки надежности газоснабжения отдельных предприятий и составлена блок-схема работы прикладной программы. Был произведен расчет в соответствии с постулатами теории вероятности отключения потребителей с использованием цифрового моделирования.

Ключевые слова: вероятность отказов, надежность газоснабжения, поток отказов элементов.

Системы газоснабжения — ремонтируемые системы. В связи с этим они характеризуются ремонтопригодностью. Основным показателем ремонтопригодности системы газоснабжения является время, за которое восстанавливают отказавший элемент. При изучении надёжности газоснабжения отдельных потребителей за исходные данные используются результаты вычислительного эксперимента для городской системы газоснабжения района г. Липецка, [1, 3] оснащённой управляемыми дросселями на семи отдельных участках, установленными на ответвлениях к энергоузлам-стокам [2]. Для решения задачи используется графический пользовательский интерфейс прикладной программы [4] для оценки надежности газоснабжения отдельных потребителей. Блок-схема программы представлена на рисунке.

Для расчёта вероятности отключения потребителей, в предложенном программном продукте вводятся соответствующие значения коэффициента отказа, длины ответвления и вероятности отказа оборудования для соответствующих участков. По соответствующим данным посредством цифрового моделирования производится расчёт вероятности отключения потребителей для цепных ответвлений городской системы газоснабжения интересующего нас района г. Липецка. Разработка программы производилась в среде Borland Delphi 7 на языке программирования Delphi Language. В результате проведенных исследований был разработан алгоритм оценки надежности газоснабжения отдельных предприятий, блок-схема работы прикладной программы.



Блок-схема прикладной программы вычислений

Был произведен расчет в соответствии с постулатами теории вероятности отключения потребителей. Результаты расчетов подтвердили адекватность разработанного алгоритма и прикладной программы.

Литература

1. Мартыненко Г.Н. Моделирование процессов оперативного управления городскими системами газоснабжения на основе факторного анализа: дис. … канд. техн. наук: 05.23.03 / Мартыненко Галина Николаевна; ВГТУ; науч. рук. М.Я. Панов. – Воронеж, 2004. – 182 с.

2. Мартыненко Г.Н. Оптимальный синтез гидравлических трубопроводных систем в области оперативного управления / Г.Н. Мартыненко, М.Я. Панов, В.И. Щербаков, И.П. Давыдова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2004. – № 2. (542). – С. 78-83.

3. Панов М.Я. Алгоритм идентификации гидравлических характеристик управляемых дросселей на ветвях структурного графа абонентских подсистем / М.Я. Панов, Г.Н. Мартыненко, И.А. Дмитриев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2008. – № 3 (11). – С. 106-112.

4. Мартыненко Г.Н. Создание оптимального режима газопотребления по средствам оперативного управления / Г.Н. Мартыненко, С.В. Стрижко, П.А. Першин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 1 (2). – С. 105-108.

УДК 62-83+621.314

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В.О. Беляков[1], В.А. Медведев[2], А.К. Муконин[3], Д.А. Тонн[4], В.А. Трубецкой[5]
[1] Магистрант, slavker.belakov@yandex.ru
[2,3,5] Канд. техн. наук, доцент, eayts@yandex.ru
[4] Канд. техн. наук, доцент, tonnda@yandex.ru
[1-5] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Рассматриваются возможности сохранения работоспособности частотно-регулируемого электропривода при обрыве одного или двух проводов питающей сети.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, автономный инвертор напряжения, преобразователь частоты.

Преобразователи частоты (ПЧ) частотно-регулируемых электроприводов средней и малой мощности обычно содержат трехфазный мостовой диодный выпрямитель, фильтр, состоящий из двух последовательно включенных конденсаторов, и трехфазный мостовой транзисторный инвертор, питающий трехфазную обмотку двигателя. Диодный мост подключается к трем линейным проводам трехфазной сети с напряжениями 380 В.

В ряде случаев предъявляются повышенные требования к надежности электропривода. К примеру, неисправность электропривода системы вентиляции современной птицефабрики приводит к массовой гибели птиц. Одной из причин отключения электропривода может быть обрыв проводов питающей сети.

В докладе рассматриваются возможности сохранения работоспособности частотно-регулируемого электропривода при обрыве одного или двух проводов трехфазной четырехпроводной сети. Данные возможности можно обеспечить за счет соединения общей точки конденсаторов фильтра и нулевого провода сети.

При указанном соединении и исправности всех сетевых проводов диоды моста и конденсаторы фильтра образуют сдвоенный трехфазный нулевой выпрямитель (СТНВ) [1]. Напряжение на выходе СТНВ примерно на 10% выше, чем в классическом ПЧ, что позволяет расширить диапазон частот электропривода.

В случае обрыва нулевого провода сети преобразователь работает как классический ПЧ с трехфазным мостовым выпрямителем. При обрыве двух любых линейных проводов выпрямитель функционирует как удвоитель напряжения, позволяющий получить требуемые для питания инвертора напряжения.

Когда оборваны любой линейный провод и нулевой провод звено постоянного напряжения является однофазным мостовым диодным выпрямителем со входным напряжением 380 В, что также обеспечивает необходимый уровень напряжения питания инвертора. При обрыве одного линейного провода также сохраняется работоспособность электропривода.

Моделирование и экспериментальное исследование частотного электропривода с рассматриваемой схемой преобразователя частоты подтвердило возможность сохранения работоспособности электропривода при обрыве одного или двух любых проводов трехфазной четырехпроводной питающей сети [2].

Литература

1. Муконин А.К. Частотные приводы с токовым управлением: монография / А.К. Муконин, А.И. Шиянов. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»,2006. 143с.

2. Муконин А. К. О совершенствовании характеристик частотного электропривода/ А. К. Муконин, А. Е Богомазов // Электротехнические комплексы и системы управления: науч.-технич. журнал – Воронеж: ВГТУ, 2015, №3 . С. 43-49.

УДК 621.315.592

ПРОБЛЕМЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Р. Алиев
Д-р техн. наук, профессор, alievuz@yahoo.com
Андижанский государственный университет

Приведены и обсуждены важные фундаментальные результаты по использованию достижений нанотехнологии – введение наночастиц металлов в поверхностные слои кремнии. Разработаны эффективные солнечные элементы с вертикальным *p-n*-переходом и солнечные фотоэлектрические энергетические устройства нового формата.

Ключевые слова: кремний, фотоэлектричество, преобразователи, наночастицы, нано-плазмоника, sentaurus TCAD.

Сообщается результаты научной и организационно-научной деятельности научной группы Андижанского государственного университета за последние 3 года в области возобновляемых источников энергии, точнее полупроводниковой фотовольтаики. В частности, организованы новые учебные и научные лаборатории по физике и возобновляемым источникам энергии. Анализирована эффективность выполнения международных образовательных проектов в рамках программы «Эрасмус+» и «Академического инновационного фонда Всемирного банка». Открыта новая научная лаборатория «Полупроводниковая фотовольтаика» и достигнуты некоторые рубежи современной наноэлектронной фотовольтаики на базе традиционного кремния.

Выполнены актуальные виртуальные и экспериментальные исследования по разработке фотоэлектрических преобразователей энергии 2- и 3-поколения на кремниевой основе [1-3]. В качестве метода исследования использованы «SentaurusTCAD» моделирование системы EUROPRACTIC. Проведен детальный анализ процесса реализации эффекта наноплазмоники в кремниевых структурах, определена роль размера и распределения наночастиц металлов, вида металла, а также пространственная локализация наночастиц в объеме кремния и фронтального антиображающего слоя окиси кремния.

Получены новые научные результаты с прикладными инновационными аспектами на основе использования квантово-размерных эффектов с целью повышения эффективности кремниевых солнечных элементов (СЭ) и фоточувствительности гальванических детекторов УФ излучения.

Путем выбора вида металла, размера наночастиц, их распределения и зоны локализации удалось погасить фототок в видимой области спектра кремниевых структур с одновременным повышением фоточувствительности в области ультрафиолетового (УФ) излучения. Показано, что таким методом можно варьировать спектральной чувствительности кремниевых структур.

Перечислены наиболее важные результаты, полученные за последние 2018-2020 гг. В частности, получены фундаментальные научные результаты:

- выявлены условии реализации эффекта наноплазмоники в кремниевых структурах (определена роль размера и распределения наночастиц металлов, вида металла, а также пространственная локализация наночастиц в объеме кремния и антиотражающего слоя окиси кремния);

- предложен способ повышения фоточувствительности кремниевых детекторов ультрафиолетового излучения.

Предложены и разработаны новые конструкции:

- высокоэффективных высоковольтных СЭ с вертикальным *p-n*-переходом и фототоком, превышающим до 4 раз фототок аналогов;

- фотоэлектрического модуля с кремниевыми СЭ и высокими (до 20 раз в сравнении с традиционными аналогами) выходными энергетическими показателями для различного бытового назначения;

- высокоэффективные солнечные энергетические установки с высокими (до 20 раз в сравнении с традиционными) выходными энергетическими показателями для больших и малых энергетических станций, предназначенных для внедрения в регионах Средней Азии.

Литература

1. S. Zajnabidinov, R. Aliev, M. Muydinova, B. Urmanov About optical efficiency of silicon photo-electric converters of solar energy. // Geliotenika. (Applied Solar Energy) 2018. №6. pp. 12-17.

2. R. Aliev, R. Ikrmov, M. Alinazarova Temperature Stimulation of Effective Value of Density of the Current of Semiconductor Solar Cells. // Energy and Power Engineering, 2019 й, - v. 11, No. 1, p.92-97.

3. С. Зайнабидинов, Р. Алиев, М. Муйдинова Особенности поглощения излучения в кремнии с поверхностной текстурой и его влияние на свойства фотоэлектрических преобразователей. // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2019, № 28-33, С. 312-317.

УДК 621.44

ПРИМЕНЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Э.А. Ахметов[1], Р.В. Ахметова[2], М.О. Григорьева[3]
[1]Канд. техн. наук, доцент, axmetovite@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, axmetovite@mail.ru
[3]Студент, grigoreva.m.o.703@gmail.com
[1,2,3]ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

В данной работе рассматривается возможность использования фреоновой турбины для выработки энергии электричества.

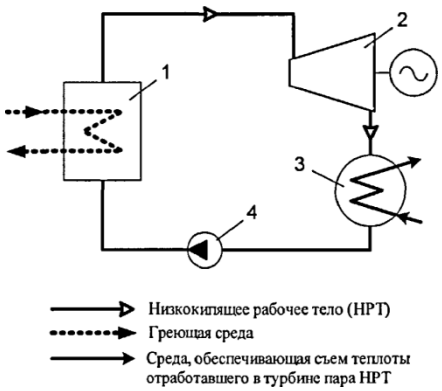
Ключевые слова: фреоновая турбина, органический цикл Ренкина, фреон как рабочее тело.

В настоящее время в российской энергетике имеется отставание в проектировании паротурбинных установок на безопасных низкокипящих рабочих телах фреонах. В России достаточно долго идет работа по внедрению технологий применения фреоновых турбин для производства электрической энергии, однако имеются трудности из-за ограничения информации, таких как проектирование электрических станций на низкокипящих рабочих телах.

Одним очень высокоэффективным способом использования низкокипящих рабочих тел фреонов, является выработка электрической энергии. Для дальнейшего исследования возьмем установку выработки электрической энергии с фреоновой турбиной. В предлагаемой установке будет вырабатываться дополнительная электроэнергия без дополнительных затрат топлива, используя низкопотенциальную энергию пара фреона.

Исследуемая установка работает по органическому циклу Ренкина. Фактически, все паровые турбогенераторы работают в цикле Ренкина или веговарияциях. Только органические жидкости имеют более высокую молекулярную массу, которая замедляет скорость вращения турбин. Из-за применения такого рабочего тела становится возможным использование низкотемпературных источников тепла (70-90°С). Это могут быть такие системы накопления тепла как: солнечные пруды, градирни, гейзеры, солнечные коллектора, и даже системы отопления. КПД подобных генераторов невелик, но из-за дешевизны такого вида тепла и большого суммарного КПД системы подобные генераторы могут занять свою нишу.

Установка состоит из испарителя, турбины, конденсатора и насоса (рисунок). В испарителе за счет тепла горячей воды рабочая среда- фреон вскипает и превращается в пар. Пары фреона в свою очередь отправляются в турбину. Здесь происходит процесс расширения. Далее охлажденный пар направляется в конденсатор, где пары фреона конденсируются после рекуперативного контакта с холодной средой. После, жидкая рабочая среда с помощью насоса возвращается в испаритель и цикл повторяется.



Установка выработки электрической энергии на базе фреоновой турбины:
1 — испаритель; 2 — турбина/генератор; 3 — конденсатор; 4 — компрессор

В лопаточном аппарате турбоустановки энергия потенциально сжатого и подогретого пара фреона преобразуется в кинетическую, что в свою очередь преобразуется в механическую работу — и приводит во вращение вал турбины. Вал соединен с генератором электрической энергии. При вращении вала генератора вырабатывается электрическая энергия.

Однако, использование предложенной схемы выработки электрической энергии пока не нашли широкого использования. Использование новых способов выработки энергии ограничивают такие факторы, как малая цена исходных органических топливных ресурсов, а также сопротивление со стороны производителей энергоресурсов.

Высокотехнологичные страны стремятся к разработкам энергоэффективных способов выработки энергоресурсов с минимальным потреблением первичных ТЭР.

Литература

1. Логинова Е.А. Повышение энергоэффективности целлюлозно-бумажного комплекса путем применения паротурбинных установок, работающих на пентане.// Энергетик/ 2014. Выпуск 3. С. 55-56.

2. G. Zyhowski. HFC-245fa in Organic Rankine Cycle Applications // Proceedings of 21st IIR International Congress of Refrigeration. Washington D.C.USA, 2003.

3. М.Б. Сапожников, Н.И. Тимошенко. Выбор давлений в паротурбинном цикле электрической станции, работающей на основе низкокипящих рабочих тел // Вести в электроэнергетике №1, 2005, с.55-58.

УДК 537.6

ПЕРЕХОД ФЕРРОМАГНЕТИК-АНТИФЕРРОМАГНЕТИК В ПЕРОВСКИТАХ ТИПА La_2MnNiO_6

Н.В. Терешко[1], М.В. Бушинский[2], О.С. Мантыцкая[3], Р.А. Лановский[4], Х.М. Виейра[5]
[1]Канд. физ.-мат. наук, tereshko@physics.by
[2]Канд. физ.-мат. наук, bushinsky@physics.by
[3]Канд. физ.-мат. наук, mantytskaja@physics.by
[4]Аспирант, rommelfiz1@gmail.com
[5]Д-р физ.-мат. наук, профессор, jvieira@ua.pt
[1,2,3,4]ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск, Беларусь
[5]Университет г. Авейро, Португалия

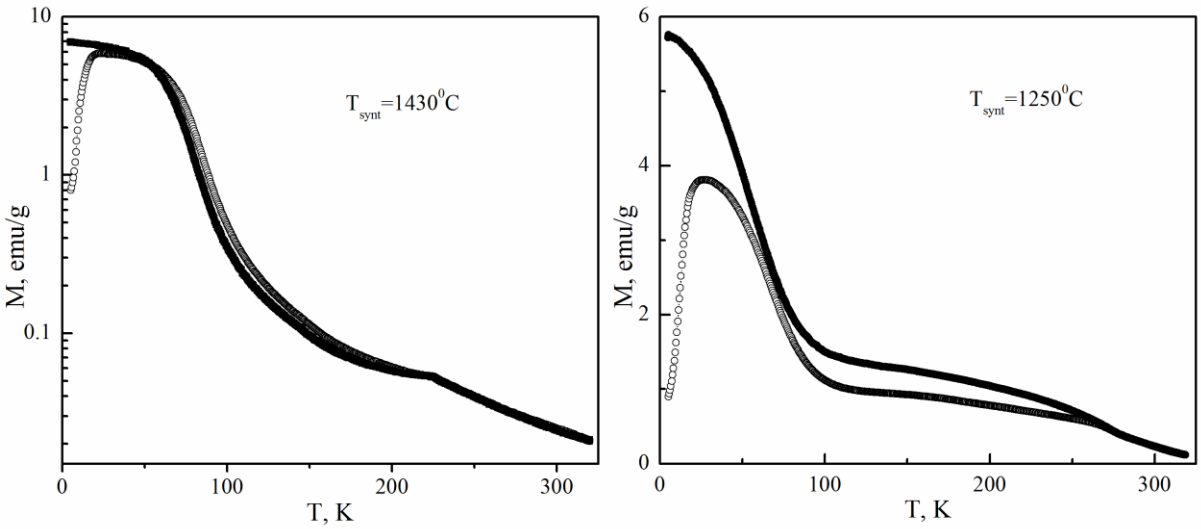
В данной работе приводятся результаты исследований влияния условий синтеза и концентрации ионов-заместителей на изменение доли ферромагнитных и антиферромагнитных обменных взаимодействий.

Ключевые слова: магнитная и кристаллическая структуры, манганиты, никелаты, фазовые переходы.

Сложные оксиды со структурой перовскита на основе 3d-переходных и редкоземельных элементов являются перспективными материалами для использования в качестве электродов, катализаторов, мембран и т.д. Сотни исследований во многих ведущих научно-исследовательских центрах различных стран были проведены для нахождения подходящих составов с наилучшим набором необходимых свойств для различных практических приложений [1-3].

В литературе имеются противоречивые объяснения возникновения антиферромагнетизма в манганитах, легированных ионами никеля, что обусловлено как разными условиями синтеза, так и недостатком экспериментальных данных [4, 5]. Для понимания свойств манганитов, легированных ионами никеля, мы исследовали составы с разным содержанием стронция при фиксированном содержании никеля $La_{1-y}Sr_yMn_{0.65}Ni_{0.35}O_3$ ($y \leq 0.3$), а также составы с разным содержанием никеля при фиксированном содержании стронция $La_{0.7}Sr_{0.3}Mn_{1-x}Ni_xO_3$ ($x \leq 0.35$), синтезированные при разных температурах. Концентрация ионов никеля и стронция была выбрана предельной, при которой образцы были однофазны.

Полученные в различных условиях образцы были исследованы методами дифракции нейтронов, магнитометрии и измерения магнитотранспортных свойств. Установлено, что образцы составов с $0.12 \leq x \leq 0.35$ и $0 \leq y \leq 0.3$ имеют ромбоэдрическую кристаллическую структуру (пространственная группа R-3c). Показано, что образцы, синтезированные при 1430°C характеризуются сосуществованием ферро- и антиферромагнитных фаз и наличием спин-стекольной компоненты. В составе x=0.3 обнаружено антиферромагнитное упорядочение G-типа с точкой Нееля около 230К. Понижение температуры синтеза ведет к появлению ферромагнитной компоненты с точкой Кюри около 275К.



ZFC (открытые символы) FC (закрытые символы) температурные зависимости намагниченности при 200 Э для образцов состава $La_{0.7}Sr_{0.3}Mn_{0.7}Ni_{0.3}O_3$, синтезированных при различных температурах

Ферромагнитная компонента обусловлена положительными обменными взаимодействиями $Ni^{2+} - O - Mn^{4+}$ и ионным упорядочением. Сделан вывод о том, что антиферромагнетизм в составе $x = 0.3$ связан с сильными отрицательными обменными взаимодействиями $Ni^{2+} - O - Ni^{2+}$ и $Mn^{4+} - O - Mn^{4+}$ и отсутствием ионного упорядочения.

Работа поддержана Белорусским фондом фундаментальных исследований (грант № Ф19МС-012)

Литература

1. B. Raveau, C. Martin, A. Maignan and M. Hervieu Insulator-metal like transition in air-synthesized Mn^{4+}-rich $La_{1-x}Ba_xMnO_3$: grain boundary phase effect / J. Phys.: Condens. Matter, 2002, Vol. 14, No. 6, pp. 1297-1306.

2. Wu J., Leighton C. Glassy ferromagnetism and magnetic phase separation in $La_{1-x}Sr_xCoO_3$ // Phys. Rev. B 67 (2003) 174408.

3. Y. Tomioka, Y. Okimoto, J.H. Jung, R. Kumai and Y. Tokura Critical control of competition between metallic ferromagnetism and charge/orbital correlation in single crystals of perovskite manganites / Phys. Rev. B, 2003, Vol. 68, No.9, pp. 094417-1-094417-7.

4. T.F. Creel, J. Yang, M. Kahveci, S.K. Malik, S. Quezado, O.A. Pringle, W.B. Yelon, and W.J. James Structural and magnetic properties of $La_{0.7}Sr_{0.3}Mn_{1-x}Ni_xO_3$ (x=0.4) / J. Appl. Phys., 2013, Vol. 114, No. 1, pp. 013911-1-013911-7.

5. Feng J-W., Hwang L-P. Ferromagnetic cluster behaviors and magnetoresistance in Ni-doped $LaSrMnO_3$ systems // Appl. Phys. Lett., 1999, Vol. 75, No. 11, pp. 1592-1594.

УДК 538.935

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ И ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Калинин Ю.Е.
Д-р физ.-мат. наук, профессор, kalinin48@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе рассмотрены перспективы развития термоэлектрических систем охлаждения и генерации электрической энергии. Представлены физические основы термоэлектрической эффективности термоэлектрических материалов, применяемых в термоэлектрических модулях, которая зависит от таких важных параметров как термоэдс, удельное электрическое сопротивление, а также теплопроводность.

Ключевые слова: термоэлектрические материалы, модуль и эффективность.

Термоэлектрические генераторы, работающие на эффекте Зеебека, обладают такими уникальными достоинствами, как полная автономность, экологичность, высокая надежность и долговечность, достаточно высокие удельные энерговесовые характеристики. Главный же недостаток термоэлектрических генераторов – их низкая эффективность, как правило, не превышающая ~ 10-12 %. Однако, даже не смотря на столь низкую эффективность, применение термоэлектрических генераторов постоянно растет. Более того, во многих случаях применение термоэлектрических генераторов является фактически безальтернативным (системы энергопитания космических объектов для освоения дальнего космоса, энергоустановки на морских и подводных объектах, различные устройства, удаленные от линий электропередач, например, функционирующие в условиях высокогорья и Крайнего севера и т.д.).

Низкая эффективность термоэлектрических генераторов, в первую очередь, определяется свойствами используемого термоэлектрического материала. Для эффективной термоэлектрической генерации за счет эффекта Зеебека, используемый материал должен обладать оптимальным сочетанием таких физических свойств, как высокая удельная электропроводность, высокое значение термо-ЭДС (или коэффициента Зеебека), низкая теплопроводность. К настоящему времени, только для ограниченного числа материалов удалось добиться удовлетворительного сочетания этих свойств, определяющих их термоэлектрическую добротность и делающих пригодными для коммерческого использования.

Ключевым элементом термоэлектрических систем кондиционирования являются полупроводниковые материалы, используемые для такого преобразования и называемые термоэлектриками. Эффективность термоэлектрического преобразования энергии определяется величиной, называемой термоэлектрической добротностью, которую чаще всего

используется в виде безразмерной комбинации [1]

$$ZT = \frac{\sigma S^2 T}{\chi}, \qquad (1)$$

где σ−электрическая проводимость; S− термоэдс; χ − теплопроводность.

Термоэлектрическая добротность непосредственно определяет эффективность работы термоэлектрического устройства, поэтому это очень удобный параметр для сравнения потенциальной эффективности преобразователей, использующих различные материалы. Значения $ZT = 1$ при комнатной температуре сегодня считаются хорошими. Возрастание добротности до 2 − 3 привело бы к увеличению КПД термоэлектрических преобразователей примерно до 20 % и к резкому расширению области их применения, а величина ZT около 3-4 представляется достаточной для того, чтобы термоэлектрические устройства могли конкурировать по эффективности с электрическими генераторами и холодильными агрегатами, работающими на других принципах [2].

В работе будут рассмотрены физические принципы работы термоэлектрических модулей охлаждения и генерации электрический энергии, а также пути повышения их эффективности. В частности, параметры реальных термоэлементов зависят не только от эффективности используемых материалов, но и от физико-химических явлений, происходящих на границе раздела термоэлектрический материал - контактный слой. При малых длинах ветвей термоэлементов существенную роль в термоэлектрической эффективности играет контактное сопротивление. Увеличение контактного сопротивления термоэлементов, может происходить вследствие диффузии примесей из коммутирующих материалов в пограничный слой термоэлементов. Достижение низкого контактного сопротивления и высокой адгезионной способности коммутационных слоев являются одной из важнейших задач технологии термоэлектрических преобразователей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-48-360010).

Литература

1 Гриднев С.А. Физические основы увеличения термоэлектрической добротности наноструктурированных материалов / С.А. Гриднев, Ю.Е. Калинин, В.А. Макагонов // Альтернативная энергетика и экология, 2019, № 34-36, с. 41-72.

2 Дмитриев А.В. Современные тенденции развития физики термоэлектрических материалов / А.В. Дмитриев, И.П. Звягин // Успехи физических наук. 2010. №8. С. 821 – 837.

УДК 62-213.6

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИСПЫТАНИЙ ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В.И. Максименков[1], М.В. Молод[2], В.И. Федосеев[3]
[1]Д-р тех. наук, профессор, maksimenkov.v.i@mail.ru
[2]Д-р тех. наук, доцент, molodmv@yandex.ru
[3]Инженер-конструктор, vladislav.f@inbox.ru
[1,2] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
[3]Филиал ПАО «Корпорация «Иркут» в г.Воронеже

В соответствии с нормами ИКАО с целью проведения акустических испытаний двигателя для сертификации самолета по шуму на местности применяется противотурбулентное устройство (ПТУ).

В работе рассмотрены вопросы разработки конструкции ПТУ для проведения модельных испытаний двигателя.

Ключевые слова: устройство, испытание турбореактивного двигателя, сотовая конструкция.

На рисунке приведена схема конструкции ПТУ, форма которой определялась методом аэродинамической продувки. Особенность конструкции заключается в том, что она имеет шарообразную, приплюснутую форма, что минимизирует возмущения воздушного потока. Поверхность шара представляет собой ячейки сотового заполнителя, которые выполнены в виде сотопакетов, соединенных с ребрами жесткости.

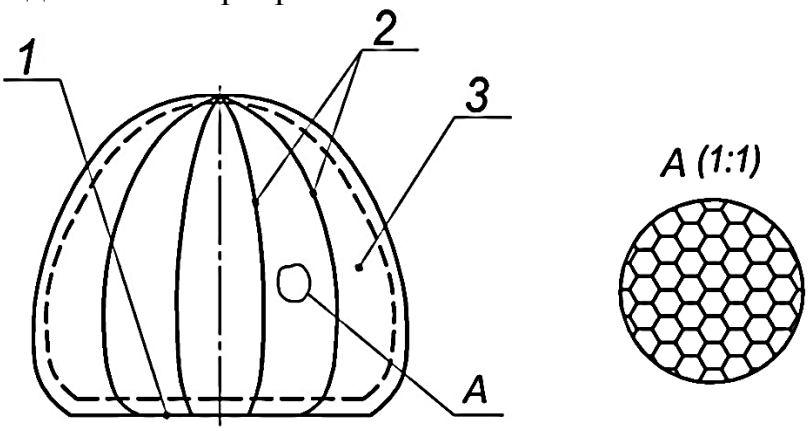


Схема конструкции противотурбулентного устройства:
1 – обод; 2 – ребра жесткости; 3 – сектор сотового заполнителя

С целью обоснования геометрических размеров ячейки использовался программный продукт «COSMOS Flow Works». В результате проведенных продувок для различных геометрических размеров ячейки были получены картины течения воздушного потока через ячейку и цветовые эпюры распределения скорости потока по сечению и длине канала ячейки, что позволило считать оптимальным значением ячейки с размерами сторон a=2,5 мм и высотой h=25 мм.

Разработана технология изготовления ПТУ.

При этом определены количество ребер жесткости и соответствующим образом проведена разбивка на сектора. Каждый сектор, состоящий из сотопакета, формуется в специальном ложементе в автоклаве при температуре 150 °С. Отформованные сотопакеты методом склейки соединяются с ребрами жесткости, образуя шаровую поверхность.

Рассмотренные методы изготовления слоистых конструкций [1] не позволяют получать изделия требуемого качества. Разработан метод склейки, позволяющий достигать качественного соединения склеиваемых поверхностей, обеспечивая расчетное давление режима склейки [2].

Эффективность ПТУ определялась при моделировании режимов взлета, набора высоты и посадки самолета на специальном стенде, обеспечивая снижение неоднородности входного потока и снижение уровня тональных составляющих шума на 8-10 дБ.

Таким образом ПТУ обеспечивает моделирование акустического поля, максимально приближенного к полетному.

Проведенный анализ позволяет осуществлять выбор конструктивных элементов ПТУ с учетом характеристик турбореактивного двигателя.

Литература

1. В.Ф. Панин, Ю.А. Гладков «Конструкции с сотовым заполнителем» Справочник М. Машиностроение 1991, 272 с.

2. Патент 2544043 Российская Федерация, С2 МПК В 32 В 7/12. Способ изготовления сотовой конструкции / Максименков В.И., Милешин В.И., Халецкий Ю.Д., Молод М.В. и др.; заявитель и патентообладатель ВГТУ - №2012145635/05; заявл. 25.10.2012, опубл. 05.02.2015. Бюл. №12. - 5с.: ил.

УДК 53.097

ПОВЫШЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДОБРОТНОСТИ МАТЕРИАЛА $Bi_2Te_{2.4}Se_{0.6}$ ПУТЕМ ТЕРМООБРАБОТКИ В ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

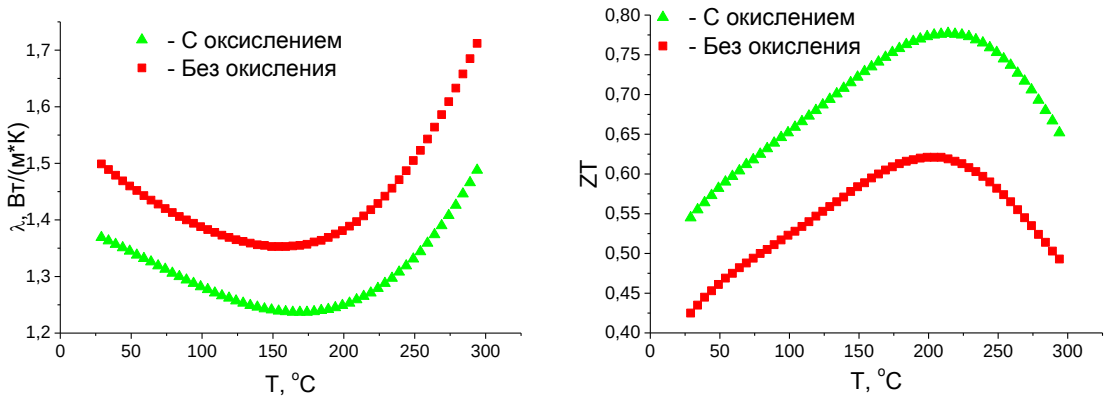
В.А. Юрьев [1], О.А. Дежина [2], О.В. Жилова[3]
[1]Студент, vladislav-al1003@rambler.ru
[2]Студент, dezhinaksu@mail.ru
[3]Канд. физ.-мат. наук, ведущий инженер, zhilova105@mail.ru
[1,3] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
[2] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

В данной работе приводятся результаты исследований влияния термической обработки в окислительной среде на термоэлектрическую добротность материала $Bi_2Te_{2.4}Se_{0.6}$.

Ключевые слова: термоэлектричество, теплопроводность, твердый раствор, термоэлектрическая добротность.

В настоящее время в мире постоянно идет поиск новых альтернативных источников энергии, одними из них являются термоэлектрики. Но на данный момент эффективность их применения не велика в силу небольшой добротности (ZT). Совсем недавно был предложен один из вариантов её повышения, за счёт снижения теплопроводности, путём оксидирования [1].

Для изучения влияния термообработки на характеристики термоэлектрического материала состава $Bi_2Te_{2.4}Se_{0.6}$ – n-типа проводимости были получены образцы по следующей технологии: синтез исходной шихты, измельчение в шаровых мельницах до размера зерна не менее 64 мкм и не более 1 мм, брикетирование, отжиг при 300°С в атмосфере, горячее прессование в вакууме. После проделанных операций исследовались температурные зависимости проводимости, термо-ЭДС и теплопроводности и вычислялась безразмерная термоэлектрическая добротность.



Температурные зависимости теплопроводности и термоэлектрической добротности

По полученным данным можно сказать, что оксидные включения, образовавшиеся на границах зерен, благоприятно влияют на термоэлектрическую добротность, увеличивая рассеяние фононов, тем самым понижая теплопроводность [2]. Так же увеличивается коэффициент Зеебека, но вместе с этим понижается электрическая проводимость, но в сумме все эти параметры дали значительный прирост добротности. Дополнительно получилось сместить максимум в область более высокой температуры, повысив рабочую температуру термоэлектрического материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-48-360010.

Литература

1. Дмитриев А.В. Современные тенденции развития физики термоэлектрических материалов / А.В. Дмитриев, И.П. Звягин // Успехи физических наук. – 2010. – № 8. – С. 821 – 837.

2. Булат Л.П. Наноструктурирование как способ повышения эффективности термоэлектриков / Л.П. Булат, Л.В. Бочков, И.А. Нефедова, Р. Ахыска // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. Т. 4. № 92. – С.48-56.

УДК 621.3

ПОДГОТОВКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 6 – 20 КВ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА НИЗКООМНЫЙ РЕЖИМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ

К.В. Колесникова[1], С.А. Косарев[2], Н.Н. Смотров[3]
[1]Аспирант, инженер 1-й категории, KolesnikovaXV@mpei.ru
[2] Аспирант, инженер, KSmpei@yandex.ru
[3] Канд. тех. наук, ассистент, smotrovnn@mpei.ru
[1,2,3] ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

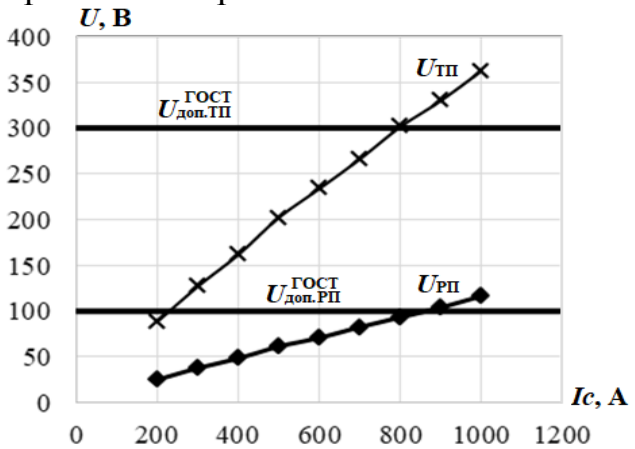
В данной работе проводятся результаты исследований, посвящённые разработке рекомендаций по учёту особенностей кабельных сетей среднего напряжения с точки зрения электробезопасности при переходе на низкоомный резистивный режим заземления нейтрали. Было показано, что существенными факторами, влияющими на обеспечение электробезопасности, являются величина ёмкостного тока, а также величины уставок по времени релейных защит от однофазных замыканий на землю.

Ключевые слова: электробезопасность, кабельная распределительная сеть, напряжение повреждения.

Для распределительных сетей среднего напряжения (6 – 20 кВ) одним из актуальных вопросов является вопрос выбора режима заземления нейтрали, поскольку от него зависит то, какой набор мероприятий необходимо применять для ликвидации однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) – одного из наиболее распространённых видов аварий в данных сетях [1]. В распределительных сетях крупных мегаполисов, в которых величины ёмкостных токов могут составлять сотни ампер, применение компенсированного и комбинированного заземления нейтрали может быть малоэффективно с точки зрения ликвидации ОЗЗ из-за остаточного тока в месте замыкания на землю, достаточного для поддержания горения дуги. Вследствие этого, при проектировании новых и реконструкции уже существующих кабельных сетей среднего напряжения всё чаще предлагается выбор резистивного низкоомного режима заземления нейтрали. Однако из-за возросших значений токов ОЗЗ требуется учёт обеспечения требований к электробезопасности.

В работе [2] с использованием разработанной в программе EMTP-RV (Powersys, Франция) расчётной модели было показано, что неучёт растекания токов по поводящим оболочкам кабелей приводит к значительному (34 – 42%) занижению напряжения повреждения. Используя расчётную модель распределительной сети 10 кВ, включающий в себя центр питания, питающие кабельные линии между центром питания и распределительной подстанцией (РП), выполненные трёхжильными кабелями сечением 240 мм^2, РП 10 кВ, распределительные кабельные линии между РП и трансформаторными подстанциями (ТП) 10/0,4 кВ, выполненные трёхжильными кабелями сечением

95 мм^2, были получены зависимости напряжений повреждений для РП и ТП от суммарного ёмкостного тока сети с учётом времён срабатывания релейных защит от ОЗЗ, а также сопоставлены с допустимыми согласно [3] значениями напряжений повреждения для этих времён. На основании полученных результатов были подготовлены рекомендации о необходимости дополнительных мероприятий по обеспечению электробезопасности при ёмкостных токах, превышающих 800 А. Показано, что при оценке электробезопасности при ОЗЗ, необходимо учитывать не только нормальные, но и ремонтные режимы работы сети, а также изменения величины ёмкостного тока, обусловленные изменением схемы сети за счёт оперативных переключений.



Зависимости напряжений повреждения для РП и ТП от емкостного тока

В качестве мероприятий по обеспечению электробезопасности в проектируемых и реконструируемых кабельных сетях 6 – 20 кВ было предложено обеспечение координации уровней ёмкостных токов в нормальных и/или ремонтных режимах, а также ограничение времени срабатывания защит от ОЗЗ. Полученные результаты могут быть применены проектными и сетевыми организациями с целью повышения электробезопасности в сетях среднего напряжения.

Литература

1. Телегин А.В., Ширковец А.И. Проблематика замыканий на землю и режим заземления нейтрали в сетях стран Европы и Америки // Релейная защита и автоматизация, Чебоксары: ООО «Рекламно-издательский центр «Содействие развитию релейной защиты, автоматики и управлению в электроэнергетике», №3 – 2012. С. 30 – 39.

2. Оценка электробезопасности распределительных сетей с учётом растекания токов по проводящим оболочкам кабелей / Ю.П. Гусев, К.В. Колесникова, Н.Н. Смотров, Г.Ч. Чо // Энергобезопасность и энергосбережение. 2019. №6. С. 5 – 8.

3. ГОСТР 50571–4–44 – 2011 {МЭК 60364-4-44: 2007) Часть 4-44 Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех 442.2.1 - М.: Изд-во Москва Стандартинформ 2012.

УДК 612.314.522

ПРЕДИКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕЖРЕМОНТНЫМ ПЕРИОДОМ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В.З.Ковалев[1], О.В.Архипова[2], А.В.Черкасова[3], А.О.Парамзин[4], Е.Д. Егорова[5]
[1]Д-р техн. наук, профессор, vz_kovalev@mail.ru
[2]Старш.преп., arkh82@mail.ru
[3] Магистрант, a.v.cherkasova@mail.ru
[4]Магистрант, prado1404@yandex.ru
[5]Студент evgenia_egorova23@mail.ru
[1,2,3,4]ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», г. Ханты-Мансийск
[5]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе рассматривается надежность агрегата для откачки пластовой жидкости из скважины. С целью увеличения межремонтного периода предлагается применение принципиально нового подхода к обслуживанию и сборке насосного агрегата. Вводится понятие элементарной электрической машины.

Ключевые слова: погружной электродвигатель, математическая модель, элементарная электрическая машина, межремонтный период.

Погружной электродвигатель (ПЭД) – один из основных элементов установок для добычи нефти. Работоспособность и надежность ПЭД в значительной мере определяют жизненный цикл всего добывающего оборудования.

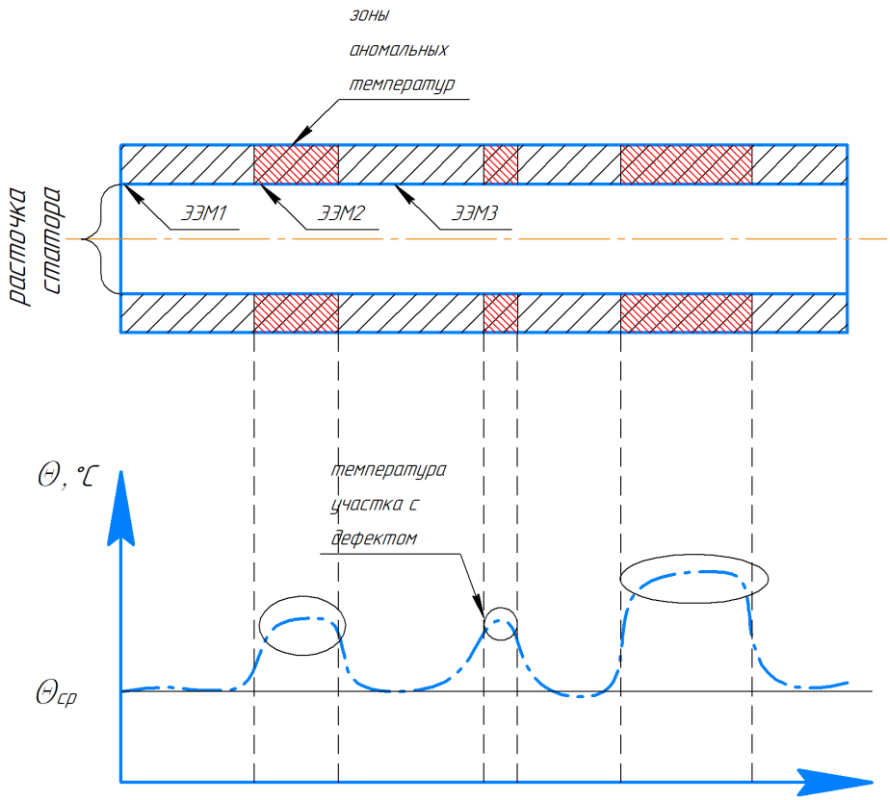
Как правило, надежность оборудования для откачки пластовой жидкости описывается двумя понятиями – срок наработки ПЭД на отказ и межремонтный период (МРП) агрегата.

В настоящее время, при производстве ПЭД и его ремонте используется достаточно грубая отбраковка комплектующих, что удорожает в целом процесс и не гарантирует отсутствие аварийных случаев. В частности, одной из причин выхода из строя ПЭД является местный перегрев обмотки статора. По данным «ВНИИЭМ» увеличение температуры на 8-10^{0}С снижает срок службы изоляции вдвое из-за преждевременного разрушения изоляции и, как следствие, короткого замыкания в обмотке статора, что в наибольшей степени является причиной выхода их строя ПЭД.

Причиной местного перегрева обмотки статора может быть либо дефект изоляции и обмоточного провода (остается за рамками рассмотрения данной статьи), либо локальный нагрев части магнитопровода. Последнее обусловливается либо нарушениями при шихтовке магнитопровода, либо неудачным сочетанием толщин соседних листов стали из-за допуска на толщину проката. Существующие методики обнаружения таких дефектов сложны и дороги в эксплуатации и приводят к отбраковке изделия при обнаружении дефекта.

Расширим ранее введенное [1] в рассмотрение понятие «Элементарная электрическая машина» (ЭЭМ) – «часть погружного электродвигателя (включая участок обмотки статора, участок вала, участок системы охлаждения)

физически совпадающая» с температурно-однородным участком пакета статора.



Распределение температуры вдоль расточки статора

Данное определение позволяет выделить «потенциально опасные» участки вдоль расточки статора ПЭД и представить их в виде ЭЭМ. Затем, применение модификации технологии “Smart – Select” [2], позволяет скомпоновать роторную часть ПЭД «парирующую» потенциально опасные в магнитном отношении участки.

Энергетическая математическая модель ПЭД построенная по алгоритмам предложенным в [1], и с параметрами идентифицированными по алгоритмам разработанным в [3] показала, что для ПЭД габарита 117, при комплектации по принципу оптимизации тепловых параметров ЭЭМ, МРП увеличивается на 20-35%, в зависимости от свойств имеющихся в наличии комплектующих.

Литература

1. Ковалев В.З., Архипова О.В. Методика управления энергоэффективностью и надежностью электротехнического комплекса УЭЦН / Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 188.

2. Дюба Е.А., Архипова О.В., Ковалев В.З. Технология Smart-Select При Ремонте Погружных Электродвигателей / Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 1-2 (43). С. 24-27.

3. Ковалев В.З., Щербаков А.Г., Архипов А.В., Ковалев А.Ю., Аникин В.В. Идентификация параметров схемы замещения погружных асинхронных двигателей / Промышленная энергетика. 2012. № 1. С. 38-41.

УДК 621.311.22

ПРИМЕНЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩЕГО ШАРОВОГО КРАНА ДЛЯ РЕГУЛИРОВНИЯ РАСХОДА ГАЗА НА КОТЛОАГРЕГАТЫ ТЭС

И.А. Болдырев[1], Н.В. Харитонов[2], П.Д. Меньшиков[3], А.А. Беокаш[4]
[1]Канд. техн. наук, зав. кафедрой boldyrev@vfmei.ru
[2]Инженер
[3]Магистрант, pavel-menshikov@mail.ru
[4]Магистрант, beokash12@gmail.com
[1,2,3,4]ФГБОУ ВО «Национальный Исследовательский Университет «МЭИ»

В работе приводится описание конструкции и алгоритмов управления быстродействующим запорно-регулирующим шаровым краном расчет надежности системы регулирования расхода природного газа на котлоагрегат ТЭС.

Ключевые слова: котлоагрегат, регулирование, природный газ, регулирущий кран.

Предлагаемый быстродействующий запорно-регулирующий шаровой кран (БЗРШК) предназначен для применения в системах газового хозяйства тепловых электростанций для регулирования расхода природного газа на горелки парового или водогрейного котла. Применение БЗРШК позволяет существенно сократить количество и номенклатуру запорно-регулирующей арматуры газового тракта, а также улучшить качество регулирования сжигания топлива в котлоагрегатах.

Конструкция изделия включает элементы: шаровой кран, вставка быстродействия, электромагнитная муфта сцепления, электропривод [1]. Одним из отличий устройства от известных является применение указателя положения запорного элемента крана, что позволяет оценивать состояние устройства в любом режиме работы.

В соответствии с требованиями [2] к надежности системы, коэффициент готовности ПТК должен составлять не менее 0,99 при периоде технического обслуживания в 1 месяц (приблизительно 700 часов).

Схема расчета надежности с применением БЗРШК показана на рисунке.

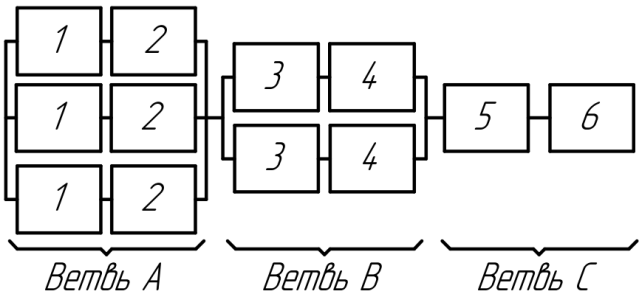


Схема надежности системы с применением БЗРШК:
1 – блок питания, 2 – датчик давления, 3 – ПЛК, 4 – модуль ввода-вывода.
Функции БЗРШК: 5 – вставка быстродействия, 6 – шаровой кран

В результате расчетов определена вероятность безотказной работы системы, равная 0,991.

Для системы с применением БЗРШК разработан алгоритм работы в системе газоснабжения в соответствии с требованиями [3].

Алгоритмы работы и испытания характеристик успешно проведены на прототипе БЗРШК.

Литература

1. Патент RU 194 386 Болдырев И.А., Харитонов Н.В., Вдовенко А.Н., Афонин А.В., Меньшиков П.Д., Беокаш А.А. Быстродействующий запорно-регулирующий шаровой кран. - Опубликовано: 09.12.2019 Бюл. № 34.

2. Руководящий документ «Технические требования к подсистеме технологических защит, выполненных на базе микропроцессорной техники» РД 153-34.1-35.137-00 – М.: РАО «ЕЭС России», 2001. – 65 с.

3. Руководящий документ «Технические условия на выполнение технологических защит и блокировок при использовании мазута и природного газа в котельных установках в соответствии с требованиями взрывобезопасности» РД 153-34.1-35.108-2001. – М.: РАО «ЕЭС России», 2001. – 48 с.

УДК 004.67

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЭП ГЕНЕРИРУЮЩИХ СИСТЕМ

Э.К. Аракелян[1], И.А. Болдырев[2], К.В. Евсеев[3], Ю.А. Горбань[4]
[1]Д-р тех. наук, профессор, ArakelianEK@mpei.ru
[2]К.т.н., boldyrev@vfmei.ru
[3]Аспирант, kirillevseyev@gmail.com
[4]Аспирант, yuliya.bk.ru@mail.ru
[1,3,4] ФГБОУ ВО НИУ «Московский энергетический институт»
[2,3,4]Филиал ФГБОУ ВО НИУ «Московский энергетический институт» в г. Волжском

В работе описывается метод оптимизации расчёта технико-экономических показателей (ТЭП) генерирующих систем с помощью машинного обучения; решается задача определения влияния параметров на эффективность управления энергетическим объектом.

Ключевые слова: АСУ ТП, ТЭП, машинное обучение, регрессионный анализ, генерирующая система.

При работе энергооборудования важно обеспечивать его наиболее экономичную эксплуатацию, прогнозировать ремонт, оценивать качество проведения наладочных и эксплуатационных испытаний. Эта информация может быть получена расчётом технико-экономических показателей (ТЭП).

Информация, необходимая для расчёта ТЭП, поступает в автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУ ТП) по информационным каналам с датчиков [1], в то же время количество сигналов может достигать больших значений, что может привести к усложнению расчёта, при этом не обязательно повышая точность результата. Справедливо, что не все сигналы, поступающие в систему управления, оказывают равное влияние на результат расчёта. В работе ставится задача выделения параметров, влияющих на результат расчёта ТЭП наиболее сильно и информирование оператора, на какие параметры следует обратить внимание при регулировании генерирующего оборудования тепловых станций, а также величину их влияния.

Поставленная выше задача может быть решена с помощью машинного обучения для отбора параметров среди множества входных сигналов. Архивные и данные реального времени могут быть использовании при обучении модели машинного обучения для прогнозирования состояния системы. В свою очередь, для обучения могут быть применены методы снижения размерности данных, чтобы получить модель, дающую высокий процент точности. Особенностью ряда моделей машинного обучения является способность решения задач классификации и регрессии на данных, которые трудно строго линейно разделить [2].

Применение такого подхода так же обусловлено необходимостью расчёта оперативных ТЭП, для которых характерно прогнозирование ряда параметров в пределах 10-15 минут вперёд [3].

Литература

1. Аракелян Э.К., Галустян М.К. Методические подходы к расчёту годовых технико-экономических показателей энергетического оборудования автономного комплекса производства электроэнергии и тепла // Общие вопросы электроэнергетики.- 2012.- №5.- с. 16-28.

2. Sebastian Raschka Python machine learning / Sebastian Raschka.- Packt publishing, 2015.- 456 p.

3. Аракелян Э.К. Проблемы современных автоматизированных систем управления технологическим процессом на базе программно-технических комплексов и возможный путь их решения / Аракелян Э.К., Васильев Е.Д., Хуршудян С.Р. // Вестник Московского энергетического института, 2014. с. - 15-20.

УДК 532.54

ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВКИ «КУПОЛ-СЕПАРАТОР» ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРОРЫВА УГЛЕВОДОРОДОВ В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКИХ ВОДОЁМОВ

А.С. Чиглинцева[1], И.А. Чиглинцев[2], А.А. Насыров
[1] Д-р физ.-мат. наук, доцент, changelina@rambler.ru
[2] Канд. физ.-мат. наук, schnik@mail.ru
[3] Канд. физ.-мат. наук, nasaza@mail.ru
[1] ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»
[2] Бирский филиал ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»

В данной работе приводятся результаты исследований влияния различных материалов на теплофизические свойства установки «купол-сепаратор».

Ключевые слова: газ, нефть, гидрат, купол-сепаратор.

«Купол-сепаратор» позволяет аккумулировать газонефтеную смесь, на больших глубинах (свыше 500 м) для дальнейшего её сепарирования и поставки на суда-транспортеры. Однако, подобные условия эксплуатации благоприятны для возникновения гидратов газа. С целью предотвращения их образования необходимы изменения термофизических условий внутри устройства. Данная работа – это попытка ответить на вопрос: какой материал корпуса более всего пригоден для минимизации неблагоприятных эффектов?

Функционирование подобных устройств было описано в работах [1, 2, 3]. Исследование является дальнейшим продолжением и развитием работ [4,5] и поддержана грантом президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - докторов наук (Конкурс - МД-2020) № МД-2179.2020.1

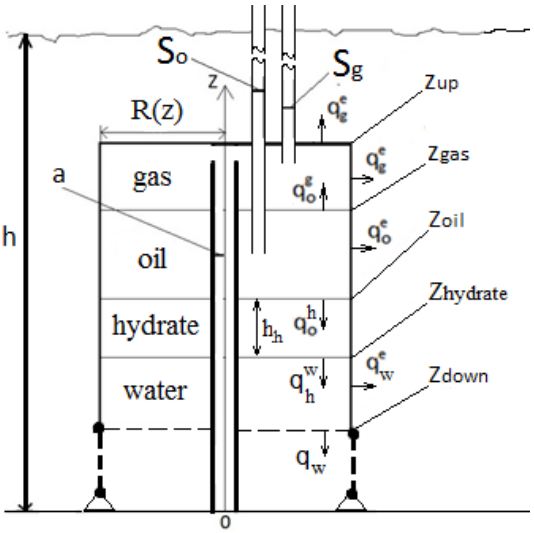


Схема установки «купола-сепаратора»

На основе проведенных расчётов можно сделать вывод о том, что в куполе-сепараторе из резины процесс разложения гидрата происходит быстрее чем в полиуретановом и дюралюминиевом.

Литература

1. Жуков А. В., Звонарев М. И., Жукова Ю. А. Способ добычи газа из глубоководных месторождений газогидратов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. №10, ч.1. С. 16-20.

2. Gimaltdinov I.K., Kildibaeva S.R. About the theory of initial stage of oil accumulation in a dome-separator // Thermophysics and Aeromechanics. 2015. Т. 22. № 3. С. 387-392. (https://doi.org/10.1134/S0869864315030130)

3. Gimaltdinov I.K., Kildibaeva S.R.On the theory of accumulation of hydrocarbons in a dome used to eliminate a technogenic spill at the bottom of the ocean // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2018. Т. 91. № 1. С. 246-251. (https://doi.org/10.1134/S0869864318010079)

4. Насыров А. А. Моделирование процесса наполнения «купола – сепаратора», предназначенного для ликвидации нефтегазовых выбросов в зоне морского дна // Вестник Кемеровского государственного университета. 2015. №2(62). Том 1. С. 41-45.

5. Chiglintsev I. A., Nasyrov A. A. Modeling of the Process of Filling a Dome Separator with the Decomposition of a Gas Hydrate Formed During the Mounting of the Installation // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2016. Vol. 89. Issue 4. Pp. 854–863. (https://doi.org/10.1007/s10891-016-1446-0).

УДК 62.51

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСАМИ ВИЭ

А.А. Смирнов [1], В.С. Луненко [2], И.А. Болдырев[3]
[1] Аспирант, lehasmirnov1@gmail.com
2 Аспирант, kuponosovavalentina@mail.ru
[3] Канд. техн. наук, зав. кафедрой boldyrev@vfmei.ru
[1,2] ФГБОУ ВО «Национальный Исследовательский Университет «МЭИ»
[3] Филиал ФГБОУ ВО «Национальный Исследовательский Университет «МЭИ» в г. Волжском

В работе приводится описание системы управления комплексами возобновляемых источников энергии с оптимизацией режимов работы на основе цифровых двойников оборудования.

Ключевые слова: солнечные коллекторы, тепловой насос, цифровые двойники, управление.

В настоящее время широкое развитие получает применение комплексов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для генерации тепловой и электрической энергии. Одним из важных аспектов использования совокупности различных типов ВИЭ является осуществление в реальном времени оптимизации комбинаций задействованного оборудования.

Разработанный авторами алгоритм выбора комбинаций возобновляемых источников энергии для повышения энергоэффективности комлексов учитывает текущие значения параметров работы оборудования, прогноз потребления энергии, а также прогноз выработки энергии каждым из компонентов комплекса. Прогнозирование выработки осуществляется на основе разработанных моделей цифровых двойников оборудования возобновляемых источников энергии [1].

Реализуемая на базе рассматриваемого алгоритма САУ, имеет трехуровневую структуру, включающую уровень полевого оборудования и приборов, уровень локального управления комплексом, а также облачный уровень реализации оптимизационных задач.

Применение развернутого описания оборудования позволяет использовать цифровые двойники не только для управления по показателям энергоэффективности системы, но и проводить действия по виртуальной пусконаладке, переходить на техническое обслуживание системы по состоянию оборудования, а также создавать тренажеры для обучения персонала, обслуживающего комплекс [2].

Отработка алгоритмов управления комплексами ВИЭ и идентификация параметров цифровых двойников проводились на оборудовании Полигона возобновляемых источников энергии филиала НИУ «МЭИ» в г. Волжском [3].

Расчеты показывают, что применение предлагаемых алгоритмов позволяет получить прирост энергоэффективности комплексов ВИЭ до 20% для объектов, имеющих высокую суточную неравномерность потребления энергии.

Литература

1. Пат. RU 2018619534 Болдырев И.А., Купоносова В.С. Программа для моделирования работы грунтового теплового насоса. - опубл. 23.07.2018; бюл. № 8.

2. Программа для ЭВМ RU 2019661005 Султанов М.М., Болдырев И.А., Луненко В.С., Смирнов А.А., Меньшиков П.Д.Программа для организации проверки знаний и навыков выполнения технологических операций по эксплуатации КИПиА.

3. Кузеванов В.С. Исследование эффективности функционирования комбинации нетрадиционных и возобновляемых источников электрической и тепловой энергии (научная статья) Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – №14. –с.49-51.

УД 544.65; 620.98

ПРОБЛЕМЫ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Кудряш В.И.[1], Шалимов Ю.Н.[2], Корольков В.И.[3]
[1]Канд. физ.-мат. наук, доцент, kudrjash_vi@mail.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, shalimov_yn@mail.ru
[3]Д-р техн. наук, профессор, korolkov_vi@bk.ru
[1]Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации», г. Воронеж, Россия
[2,3] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе рассмотрены вопросы перспективного использования водородных технологий в энергетике и на транспорте. Намечены ключевые задачи, обозначены перспективные направления развития технологий.

Ключевые слова: водорода, транспорт, энергетика, экология, безопасность.

Водородное энергетика, начало ее активного применения позволило еще в довоенные годы в СССР создать уникальные технологии повышениях энергоэффективности и энергосбережения. Использование водорода для охлаждения обмоток электрических машин значительно увеличило КПД электрогенерации. А сэкономленные средства в масштабе всего государства позволили совершить дополнительный технологический рывок.

На данном этапе водород является ключевым компонентом для повышения эффективности транспортных средств и обеспечения энергопитания различных устройств. В частности, для перспективных авиационных комплексов, достигающих при движении скоростей в диапазоне гиперзвуковых значений, для беспилотных летательных аппаратов различных классов, для средств наземного транспорта. Опыт полученный при эксплуатации Ту-155 является убедительным доказательством.

Надлежащее отношение к проблеме утилизации отходов открывает новые возможности получения водорода на их основе. То есть бытовые отходы, отходы сельскохозяйственной, лесной и пищевой промышленности являются ресурсом для получения стратегического продукта - водорода. Такое целостное понимание взаимосвязей в природе позволяет формировать новую научно-технологическую парадигму, в которой водороду отведена ключевая роль. Опора на водородную энергетику позволит решить вопросы обеспечения растущих энергопотребностей человечества, сохраняя экологический баланс за счет технологий с завершенным циклом переработки отходов.

Возобновляемые биоресурсы являются источником топлива для систем газогенерации, которые обеспечивают выход газового продукта. В этом газовом продукте водород, его концентрация может быть существенно увеличена. При этом водород, как рабочий элемент системы резервирования энергии, позволяет

создать системы, регулирующие расход и генерацию топлива. Это достигается посредством соответствующих электрохимических преобразователей. Ключевая задача – повышение эффективности средств аккумулирования водорода в структуре вещества, уход от небезопасных технологий высокого давления и использование структурно-функциональных ресурсов металла-накопителя.

Доступ к дешевым водородным технологиям позволит усилить оборонный и производственный потенциал государства, сформировать задел для нового технологического уклада, а возможно и общественного устройства.

Литература

1. Шалимов Ю.Н. Водородные энергоустановки для летательных аппаратов// Шалимов Ю.Н., Астахов А.В., Брысенкова Н.В., Руссу А.В. Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2018. № 19-21 (267-269).

УДК 621.31

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ТРАНСФОРМАТОРА

А.А. Тихомиров[1], К.А. Яковлев[2]
[1]Канд. физ.-мат. наук, доцент, sasha.82@mail.ru
[2]Студент, jakov.1599@yandex.ru
[1,2] ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»

В данной работе приводится модель прогнозирования планово-предупредительного ремонта маслонаполненных трансформаторов с естественным воздушным охлаждением.

Ключевые слова: электроэнергетика, силовой трансформатор, прогнозирование.

В научно-технической литературе отмечается, что на производстве наибольшую популярность получил планово-предупредительный метод, который подразумевает проведение ремонтных и диагностических работ по назначенному ресурсу без учета фактического технического состояния [1]. Такой подход зачастую предполагает ремонт фактически исправного оборудования, что ведет к необоснованным эксплуатационным затратам.

Согласно последним тенденциям для повышения надежности работы оборудования и снижения затрат на непредвиденный ремонт на сегодняшний день рассматриваются два основных метода:

- внедрение системы круглосуточного мониторинга основных параметров оборудования [2];
- проведение мероприятий по ремонту и диагностике оборудования с коротким межповерочным интервалом [3].

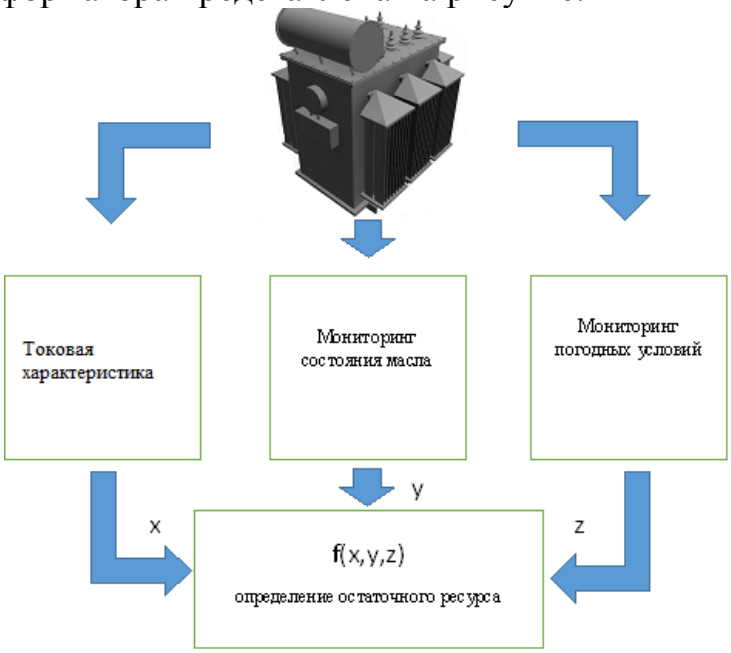
В [3] была рассмотрена оптимизация работы маслонаполненных трансформаторов за счет внедрения автоматической системы охлаждения, использующей данные мониторинга режимов работы, с последующей оценкой целесообразности эксплуатации оборудования. То есть сравнение двух возможных вариантов с точки зрения экономической выгоды:

1. использование остаточного ресурса оборудования, при этом с дополнительными потерями, возникшими в ходе эксплуатации, сэкономив на стоимости оборудования;
2. установка нового трансформатора с лучшими технико-экономическими показателями и минимальной вероятностью недоотпуска электроэнергии, вследствие вывода в ремонт – экономия на потерях.

При эксплуатации трансформатор может подвергаться перегрузкам, и как следствие перегреву токоведущих и изолирующих элементов. Это негативно сказывается на их свойствах и сроке службы.

В настоящей работе предложена модель прогнозирования технического состояния маслонаполненного трансформатора. Модель основана на мониторинге режима работы и моделировании на его основе, а также ряда дополнительных параметров остаточного ресурса.

Для прогнозирования старения изоляции и состояния масла трансформатора необходимо знать график нагрузки трансформатора и влияние второстепенных факторов, такие как параметры трансформаторного масла (растворенные газы, степень износа, температура), погодные условия (температура). Структурная схема системы прогнозирования технического состояния трансформатора представлена на рисунке.



Структурная схема прогнозирования технического состояния трансформатора

Модель прогнозирования технического состояния трансформаторного оборудования позволяет оптимизировать затраты на обслуживание силового трансформатора с определением оптимальных сроков проведения профилактических и ремонтных работ.

Литература

1. Вдовико В.В. Автоматизация диагностирования высоковольтного оборудования в режиме мониторинга под рабочим напряжением // Автоматизация и IT в энергетике. - 2015. - №3 (68). - С.25.

2. Лобачев А. Техническая диагностика для надёжной работы электроустановок // Автоматизация и IT в энергетике. - 2007. - №11. - С 28-29.

3. Комков Е. Ю, Тихонов А. И. Система управления охлаждением силового трансформатора на основе проектно-диагностикческой модели / Е. Ю. Комков, А. И. Тихонов // Автоматизация и IT в энергетике. - 2009. - №5.- С.16-20.

4. Кабышев А.В Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования: учеб. пособие. - Томск.: Изд-во Томского политехнического университета. 2007. - 186 с.

УДК 621.438

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА БАЗЕ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ С ПРИВОДОМ ОТ АКТИВНО-РЕАКТИВНОЙ ТУРБИНЫ

Д.А. Базыкин[1], А.В. Бараков[2]
[1]Аспирант, bazykin.denis@yandex.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, pt_vstu@mail.ru
[1,2]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе предложена новая конструкция источника электропитания, использующего в качестве топлива попутный нефтяной, а также любой низконапорный газ. Установка выполнена на базе турбопривода в виде активно-реактивной турбины, в которой устранены недостатки существующих аналогов, приведена принципиальная схема установки, а также принцип ее работы.

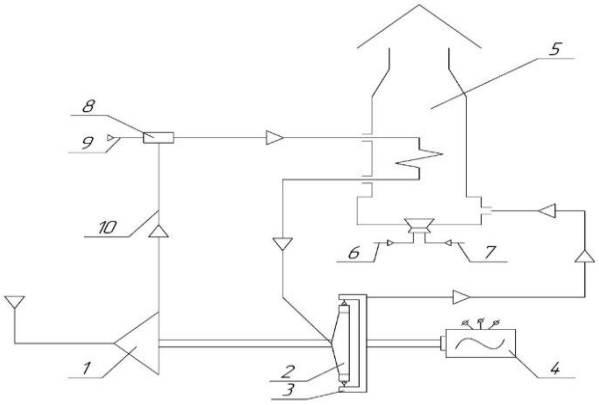
Ключевые слова: газотурбинная установка, активная турбина, реактивная турбина, попутный нефтяной газ, низконапорный газ.

Нефтяные и газовые месторождения – это такие объекты, на которых чаще всего существует острая необходимость в автономных источниках электрического питания, используемых для различных технологических нужд. Необходимость обусловлена сильной удаленностью месторождений от линий электропередач, развитой инфраструктуры, а также тем, что при добыче выделяется большое количество собственных энергоносителей, которым нужно найти целесообразное применение. Такими энергоносителями являются: попутный нефтяной газ (ПНГ), низконапорный, неочищенный природный газ. Поэтому задача создания локальных электростанций, выполненных в виде автономных генерирующих установок и использующих в качестве топлива газы, образующиеся в процессе добычи, несомненно является актуальной.

В последнее время в качестве автономных источников электрического питания на месторождениях используются преимущественно газотурбинные установки, с помощью которых возможно одновременное решение двух проблем – утилизации низконапорных, попутного нефтяного газов, а также электроснабжения промыслового оборудования [1]. Но у каждой из этих установок имеются свои недостатки. Основная задача, стоящая при проектировании – разработка газотурбинной установки на базе турбопривода в виде активно-реактивной турбины, в которой отсутствуют недостатки известных в настоящее время аналогов, при этом разрабатываемое оборудование должно быть надежным, эффективным, а также иметь длительный межремонтный период.

Выявлен возможный вариант решения поставленной задачи. Газотурбинная установка включает в себя компрессор (воздуходувку) 1, подогреватель 5 воздуха, варианты конструкции которого представлены в [2, 3], реактивную

часть 2 турбины, активную часть 3 турбины, электрогенератор 4 и атмосферное горелочное устройство. Рабочим телом в приведенной установке является атмосферный воздух.



Принципиальная схема конструкции газотурбинной установки с приводом от активно-реактивной турбины

Предлагаемое техническое решение позволяет:

– обеспечить безопасность, повысить экономичность процесса;

– осуществить нагрев рабочего тела турбины в теплообменном аппарате до меньшей температуры, по сравнению с имеющимися аналогами, так как вырабатываемая мощность в основном зависит от расхода рабочего тела, проходящего через сопловой аппарат реактивной части турбины;

– организовать процесс горения попутного нефтяного, а также низконапорного, неочищенного газа, что значительно упрощает технологию, снижает трудоемкость.

Литература

1. Казанчева А.Н. Утилизация попутного нефтяного газа с помощью газотурбинной установки // Перспективы развития технических наук. 2017. № 1. С. 16-19.

2. Патент 2686357 Российская Федерация, МПК F 24 H 3/08, F 24 H 3/10. Подогреватель газообразных сред / Лачугин Иван Георгиевич (RU), Шевцов Александр Петрович (RU), Хохлов Владимир Юрьевич (RU), Сухов Анатолий Иванович (RU), Базыкин Денис Александрович (RU), заявитель и патентообладатель ООО ФПК «Космос-Нефть-Газ» (RU). № 2018105811; заявлено 15.02.2018; опубл. 25.04.2019; Бюл. № 12. 8 с.

3. Патент 2708175 Российская Федерация, МПК F 24 H 3/08. Воздухоподогреватель / Лачугин Иван Георгиевич (RU), Шевцов Александр Петрович (RU), Хохлов Владимир Юрьевич (RU), заявитель и патентообладатель ООО ФПК «Космос-Нефть-Газ» (RU). № 2018135351; опубл. 04.12.2019; Бюл. № 34. 9 с.

УДК 537.32

РАЗРАБОТКА И ВЕРИФИКАЦИЯ СКВОЗНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРНЫХ МОДУЛЕЙ

Д.П. Шматов[1], К.В. Кружаев[2], А.А. Афанасьев[3], Т.А. Башарина[4], И.Г. Дроздов[5]
[1]Канд. тех. наук, доцент, rd-vgtu@mail.ru
[2]Канд. тех. наук, доцент, rd-vgtu@mail.ru
[3]Канд. физ.-мат. наук, доцент, rd-vgtu@mail.ru
[4]Ассистент, rd-vgtu@mail.ru
Д-р техн. наук, проф.
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», ВГТУ, Воронеж

В данной работе представлена разработанная методика расчета термоэлектрических генераторных модулей, основанная на итерационном алгоритме, увязывающем термодинамику процесса горения, термоэлектрические элементы, баланс тепла в системе нагрева и в системе охлаждения. Проведено сравнение расчетных параметров генераторного модуля на основе термоэлектрических батарей различной геометрии.

Ключевые слова: источники тока, термоэлектрический генераторный модуль, термоэлектричество.

Термоэлектрические генераторные модули (ТЭГМ), основанные на полупроводниковых батареях, получили широкое применение в области альтернативной энергетики, обеспечивая выработку электроэнергии в труднодоступных и отдаленных районах на многих объектах народного хозяйства. Потребители данных устройств в настоящее время повышают требования к экономичности и гибкости работы устройств – возможности реагирования параметров системы в широких пределах [1].

В данных условиях важную роль играет предварительное моделирование термодинамических, тепловых и термоэлектрических процессов, позволяющее оценить влияние входных параметров на работу ТЭГМ в целом. Для решения указанной проблемы разработана методика поверочного сквозного расчета термоэлектрического генератора.

Методика основана на итерационном алгоритме, увязывающем в двух «больших» итерациях баланс тепла в системе нагрева и баланс тепла в системе охлаждения ТЭГМ. Каждая из больших итераций содержит «малые» – внутренние – итерации для определения теплового баланса для отдельных способов передачи тепла.

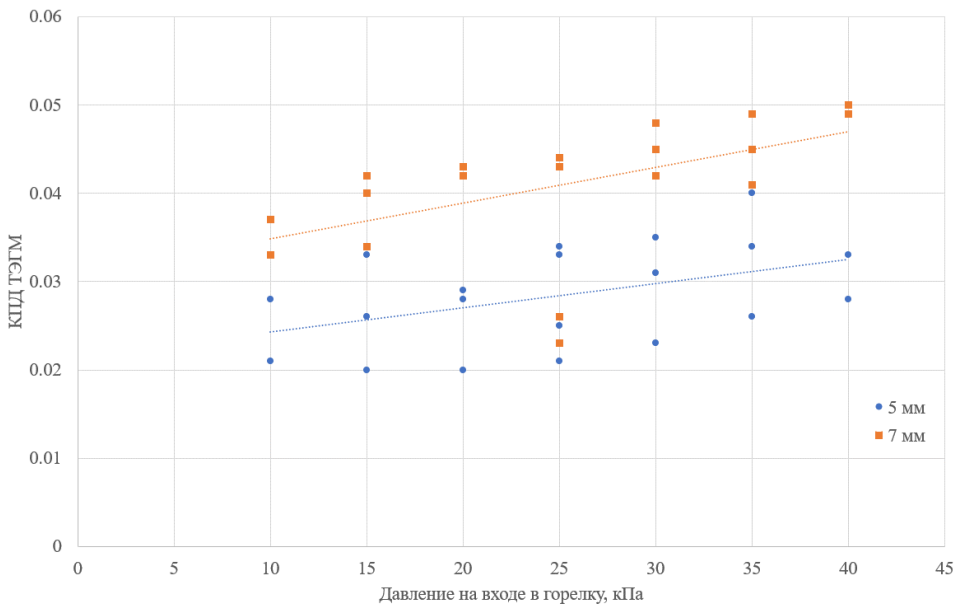
В качестве исходных данных при проведении моделирования задается планируемая геометрия элементов системы нагрева, термоэлектрических батарей (ТБ) и системы охлаждения ТЭГМ, свойства теплоносителей, а также свойства термоэлектрического материала. Входными параметрами при моделировании являются давление сжигаемого газа на входе в систему нагрева, сопротивление электрической нагрузки и температура окружающего воздуха.

Для оценки работоспособности ТЭГМ в диапазоне входных рабочих параметров разработан алгоритм оптимального заполнения пространства поиска, позволяющий наиболее рационально построить поле расчетных точек.

Рассмотрен вариант ТЭГМ на основе ТБ с высотой ветви 5 мм спроектированной для работы в режиме максимального КПД батареи. При исследовании режимов регулирования с помощью сквозной методики было отмечено значительное снижение мощности на крайних режимах регулирования. Для парирования данного эффекта предложен вариант батареи на основе кольца с высотой ветви 7 мм.

Наиболее сбалансированным при регулировании оказался вариант батареи на основе кольца с уменьшенным на 12% внутренним диаметром (в сравнении с 5 мм батареей), который привел к незначительному повышению давления в термосифоне системы нагрева, при этом обеспечивал значительный выигрыш в мощности и КПД во всем диапазоне параметров регулирования.

На графике, показанном на рисунке, представлена зависимость КПД от давления газа на входе в горелку, построенная на основе алгоритма оптимального заполнения пространства поиска.



Зависимость КПД ТЭГМ от давления газа на входе в горелку

Разработанная математическая модель предоставляет возможность имитировать работу всех систем ТЭГМ при различных внешних условиях, что позволяет оценить эффективность принимаемых конструкторских решений на ранних этапах проектирования.

Литература

1. Марченко О.В. Методы расчета термоэлектрических генераторов / О.В. Марченко, А.П. Кашин, В.И. Лозбин и др. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995. – 222 с.

УДК 697.921.452+621.1.016.4

РАЗРАБОТКА И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕПЛООБМЕННИКОВ С ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ «ВОЛНА»

В.В. Белая[1], А. А. Цынаева[2]
[1]Аспирант, bonyparkery@gmail.com
[2]Канд. тех. наук, доцент, a.tsinaeva@gmail.com
[1,2]Самарский государственный технический университет, Россия

В данной работе приведены результаты исследования влияния интенсификаторов формы «Волна» на теплообмен в пластинчатых теплообменных аппаратах.

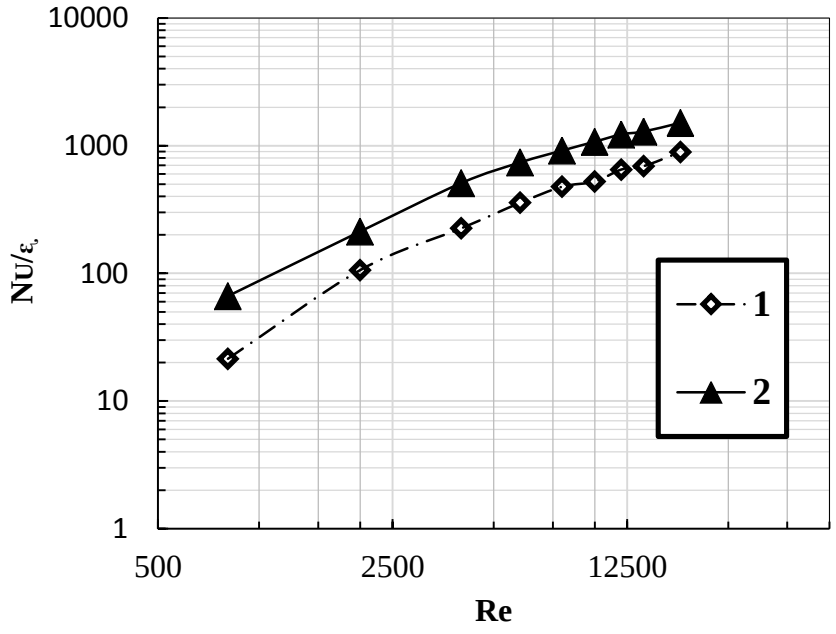
Ключевые слова: пластинчатые теплообменные аппараты, интенсификаторы теплообмена, теплообмен.

Данная работа посвящена исследованию методов управления теплообменом в турбулентном потоке за счет реализации управляемого отрыва потока от стенки, разработке конструктивных решений для теплообменных аппаратов систем обеспечения микроклимата и анализу влияния теплогидравлической эффективности этих решений. В частности, применение поверхностных интенсификаторов «Волна».

Проверка адекватности численного исследования производилась путем сравнения с экспериментальными данными [1]. Заимствованный эксперимент проводился в щелевом канале с нанесенными на нагреваемую поверхность лунками цилиндрического типа [2]. Оценка исследования производилась по следующим главным критериям: для теплообмена - температуре на стенке канала и температуре в потоке, для гидросопротивления – давление в канале. Задача была решена с использованием RANS подхода с моделью турбулентности k-omega SST при помощи программ моделирования [3;4]. В качестве регулируемого конструктивного параметра был использован размер и тип лунок с одинаковой площадью пятна.

Было рассмотрено влияние применения интенсификаторов «Волна» на теплообмен при различных скоростях потока (Re=800-18000). На рисунке показаны результаты численного исследования теплогидравлической эффективности оригинальных интенсификаторов типа «Волна».

Оригинальное конструктивное решение может быть использовано для усовершенствования конструкций теплообменных аппаратов. По результатам численного решения получено критериальное уравнение для расчета теплообменного аппарата с интенсификаторами «Волна».



Зависимость Nu_d /ξ (Re)

Литература

1. Белая В.В. Численное исследование теплоотдачи и гидравлического сопротивления в каналах с выемками // В сборнике: Новые вопросы в современной науке Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2017. С. 43-50.

2. Габдрахманов И.Р., Щелчков А.В., Попов И.А., Исаев С.А. Применение пластинчатых теплообменных аппаратов с поверхностными интенсификаторами теплоотдачи в системах «EGR» для улучшения экологических характеристик ДВС// Вестник технологического университета. 2015. Т.18, №5. УДК 536.24.

3. Электронный ресурс. http://code-saturne.org/cms/.

4. Электронный ресурс. http://salome-platform.org/.

УДК 620.9

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН

Е.Г. Гашо[1], А.В. Говорин[2], А.И. Киселева[3]
[1]Д-р техн. наук, доцент 290461@bk.ru
[2]Аспирант a.govorin@mail.ru
[3]Аспирант sashulka_kiseleva@mail.ru
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

В представленной работе рассматривается возможность применения гибридных (комбинированных) систем для теплоэнергоснабжения объектов разных климатических зон. Исследуется возможность применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и теплонасосных установок в таких системах.

Ключевые слова: гибридные системы, теплоэнергоснабжение, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.

Задача создания комбинированных источников энергии для покрытия разноплановых (тепловых, электрических и др.) нагрузок является не совсем новой. В странах Европейского союза (ЕС) гибридные системы энергоснабжения зданий, в которых сочетается отопление, ГВС, а также и кондиционирование воздуха, давно получили широкое распространение. Принятые в этих странах программы и нормативные документы, по повышению энергоэффективности теплоснабжения и использованию для этого возобновляемых источников энергии (ВИЭ), поспособствовали широкому внедрению гибридных систем и установок [1]. В России, хоть эти системы пока и не пользуются высоким спросом, создавались ТЭЦ разного типа и мощности как раз для решения таких задач, были разработаны разные типы турбин, набор соответствующих схемных решений. В основном, это касалось крупных потребителей (промышленных предприятий, городов), в настоящее же время вновь стала актуальной проблема обеспечения надежного энергоснабжения удаленных и труднодоступных поселений вне систем централизованного энергоснабжения.

Целью работы было создание эффективных комбинированных систем для надежного покрытия тепловых и электрических нагрузок разноплановых потребителей [2]. В этом случае речь идет об объединении в схемы нескольких разноплановых энергоисточников малой мощности для эффективной выработки необходимой потребителям энергии.

Для решения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. анализ соотношений тепловых и электрических (Q/N) нагрузок потребителей в разных климатических зонах;

2. анализ наличия нетрадиционных, вторичных, возобновляемых ресурсов в зоне потребления;

3. комбинирование разных энергоисточников в схемные решения.

В результате исследования был разработан алгоритм создания гибридных (комбинированных) систем и установок, который включает в себя следующие этапы:

1. Анализ объекта (территории). Данный этап включает в себя исследование климатических параметров территории с целью определения тепловой мощности и возможностью внедрения нетрадиционных источников в схему.

2. Уточнение характера тепловых и электрических нагрузок, их динамики и увязки.

3. Интеграция в схемы. Слияние энергоисточников должно основываться на следующих принципах:

– обеспечение максимальной надежности, экономичности и экологичности схемных решений;

– использование всего потенциала топлива;

– увязка режимов генерации и потребления тепловой/электрической энергии;

– максимально возможное использование отечественной техники и оборудования.

При рассмотрении комбинированных схем с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии была предложена следующая типология схем:

- каскадная – от одного источника (ТЭЦ, тригенерация, энерго-технологическое комбинирование, топливные элементы);

- кольцевая – на примере кольцевых систем теплоснабжения с применением ТНУ (ИРИС, и др.);

- матричная – равноправное участие нескольких источников в общей схеме.

Внедрение таких установок в схемы теплоснабжения городов даст возможность увеличить надежность систем энергообеспечения. Использование ВИЭ позволит сократить экономические затраты на эксплуатацию систем тепло- и энергоснабжения, а также существенно снизит эмиссию CO_2 и долю выброса парниковых газов в атмосферу.

Литература

1. E.G. Gasho. Green energy for individual building / Energy saving. – 2020. – Vol. 1. – No. 1. – pp. 48-55.

2. Li K., Liu C., Jiang S., Chen Y. Review on hybrid geothermal and solar power systems / Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 250. – No. 20. – pp. 1-27.

УДК 536.24:697.278

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОГО АККУМУЛЯТОРА

А.В. Хименко[1], О.С. Пранцуз[2]
[1]Канд. техн. наук, education.science@yandex.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, oksana.prantsuz@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)»

В результате проведения теоретических и экспериментальных исследований были получены данные об изменении температуры стенки каналов теплоаккумулирующих элементов и температуры нагреваемого воздуха в воздушных каналах твердотельного электротеплового аккумулятора (ЭТА). Рассчитаны тепловые характеристики твердотельного ЭТА стандартной и предложенной конструкции.

Ключевые слова: электротепловой аккумулятор, теплоаккумулирующий элемент, режим заряда и отдачи теплоты, шамот, магнезит, тепловые характеристики.

В системах теплоснабжения различного назначения может возникать несоответствие между выработкой и потреблением теплоты. Применение тепловых аккумуляторов (ТА) может помочь устранить данное несоответствие, поэтому ТА является важным элементом в подобных системах. ТА могут выполнять следующие задачи: 1. При «пиковых» нагрузках системы теплоснабжения ТА могут компенсировать часть этой нагрузки. При этом возможно снизить эксплуатационные затраты на топливо, т.к. при аккумулировании теплоты в ТА используется избыточная теплота от энергоустановки с номинальной мощностью; 2. При непостоянной или неравномерной выработке теплоты (возобновляемые источники энергии) ТА могут компенсировать "пиковые" нагрузки или же заполнять провалы выработки теплоты; 3. Резервное аккумулирование в случае аварийных ситуаций или временной остановки теплогенерирующих установок; 4. Расположение ТА в непосредственной близости от потребителей значительно снижает потери теплоты при транспортировке теплоносителя.

Теплоемкостные ТА получили достаточно широкое распространение. ТА данного типа применяются в различных системах тепло- и хладоснабжения бытовых потребителей, в агропромышленном секторе и рыбоводстве, в пищевой, строительной и металлургической промышленности для утилизации теплоты вторичных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) (нагретый воздух, пар, дымовые газы) [1-3], а также в системах активного и пассивного солнечного теплоснабжения (ТА с пористой матрицей) [3].

В данной работе проведены исследования тепловых процессов в высокотемпературном ЭТА теплоемкостного типа. Определены средние коэффициенты теплоотдачи от поверхности корпуса ЭТА $\alpha_{н_ср}$, а также значения средней теплоотдачи в каналах теплоаккумулирующих элементов из

магнезита и шамота при естественной и вынужденной конвекции $\alpha_{к_ест_ср}$ и $\alpha_{к_ср}$.

Получены значения средней отдачи теплоты в каналах теплоаккумулирующих элементов $Q_{к_ср}$, общей отдачи теплоты Q_0 с учетом конвективной и лучистой теплоотдачи от поверхности корпуса ЭТА и количества аккумулируемой теплоты $Q_{ак}$ ЭТА [4].

Определен средний темп нагрева и охлаждения теплоаккумулирующих элементов из магнезита и шамота в режиме отдачи теплоты ЭТА. Получены аналитические выражения для определения избыточной температуры теплоаккумулирующих элементов из шамота и магнезита с учетом их темпа охлаждения.

Предложена конструкция ЭТА с шамотными теплоаккумулирующими элементами и каналами круглой формы, которая позволяет увеличить на 15 % отдачу теплоты в каналах теплоаккумулирующих элементов $Q_{к_ср}$ и снизить стоимость ЭТА минимум на 15 % по сравнению с существующими аналогами [5,6].

Предложена методика теплотехнического расчета ЭТА, в которой используются полученные экспериментальные данные и рассчитанные тепловые характеристики ЭТА.

Литература

1. Левенберг В.Д. Аккумулирование тепла / В.Д. Левенберг, М.Р. Ткач, В.А. Гольстрем. – К.: Техника, 1991. – 112 с.

2. Бекман Г. Тепловое аккумулирование энергии / Г. Бекман, П. Гилли; пер. с англ. В.Я. Сидорова, Е.В. Сидорова; под ред. В.М. Бродянского. – М.: Мир, 1987. – 272 с.

3. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / Р.Р. Авезов, М.А. Барский-Зорин, И.М. Васильева и др.; под ред. Э.В. Сарнацкого и С.А. Чистовича. - М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.

4. Хименко А.В. Расчетное и экспериментальное исследование тепловых процессов в твердом теплоаккумулирующем материале с высокими теплоаккумулирующими свойствами / А.В. Хименко // Весник НТУ «ХПИ». Серия: Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. – Х.: НТУ «ХПИ», 2016. – №10 (1182). – С. 44-49. – ISSN 2078-774X. – doi:10.20998/2078-774X.2016.10.06.

5. Хименко А.В. Оценка эффективности аккумулирования теплоты твердыми теплоаккумулирующими элементами электротеплового аккумулятора / А. В. Хименко // Вестник Национального университета «Львовская политехника». Серия: Теория и практика строительства. – 2016. – №844. –С. 210-215. – ISSN 0321-0499.

6. Хименко А.В. Оценка эффективности отдачи теплоты теплоаккумулирующими элементами электротеплового аккумулятора / А.В. Хименко // Энергетика: экономика, технологии, экология. – 2017. – №4. – С. 83-94. – ISSN 1813-5420. doi: 10.20535/1813-5420.4.2017.127551.

УДК 620.9 536.2

РАСЧЕТНЫЙ ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ТЕМПЕРАТУР АГРЕГАТОВ АВТОНОМНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

Д.А. Мельник[1], В.В. Скорлыгин[2], А.С. Григорьев[3], О.Г. Лосев[4]
[1]Старший научный сотрудник, Melnik_DA@nrcki.ru
[2]Канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник Skorlygin_VV@nrcki.ru
[3]Канд. техн. наук, Grigoriev_AS@nrcki.ru
[4]Старший научный сотрудник, Losev_OG@nrcki.ru
[1,2,3,4]НИЦ «Курчатовский институт»

В данной работе приводятся математические модели стационарных и нестационарных тепловых процессов и рассчитанные ожидаемые значения характерных температур элементов автономной энергоустановки для Арктической климатической зоны.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, Арктика, теплообмен, тепломассоперенос, автономная энергоустановка.

В качестве модельной задачи было произведено вычисление нестационарного температурного поля в одном из прототипов аппаратного отсека энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии, изображенного на рис. 1. Данные энергоустановки изготавливаются для работы в Арктических регионах.

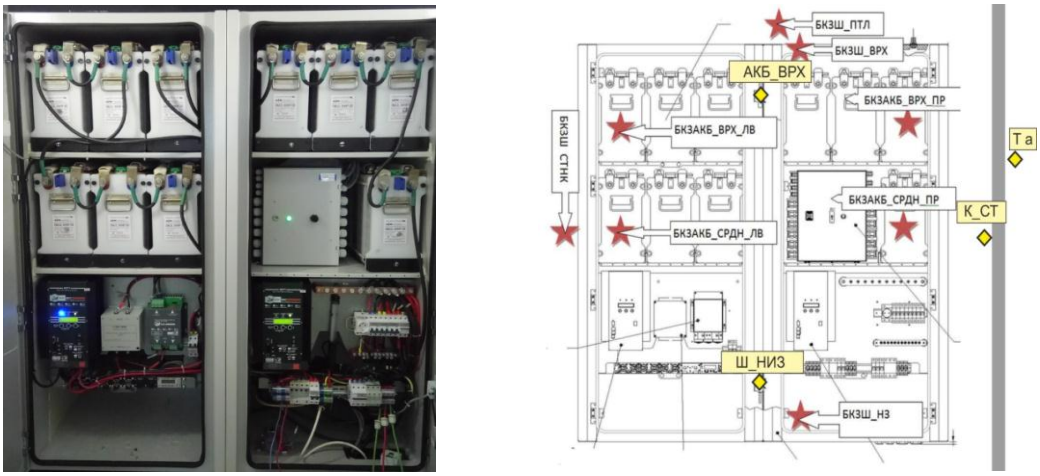


Рис. 1. Схема расположения контрольных точек температуры энергоустановки

Основные положение модели нестационарного тепломассообмена описаны в [1]. Данные по температуре наружного воздуха взяты из материалов метеостанций Московского региона за 2017 год [2]. Было допущено предположение полностью бесснежной зимы, минимальная температура аккумуляторной батареи при этом по результатам расчёта не опускается ниже минус 25°С, причем минимальная температура окружающего воздуха составила минус 36.2°С. Наиболее тяжелым режимом является крайне маловероятный вариант полностью бесснежной зимы. Прогноз изменения характерных температур элементов энергоустановки в зимнее время представлен на рис. 2.

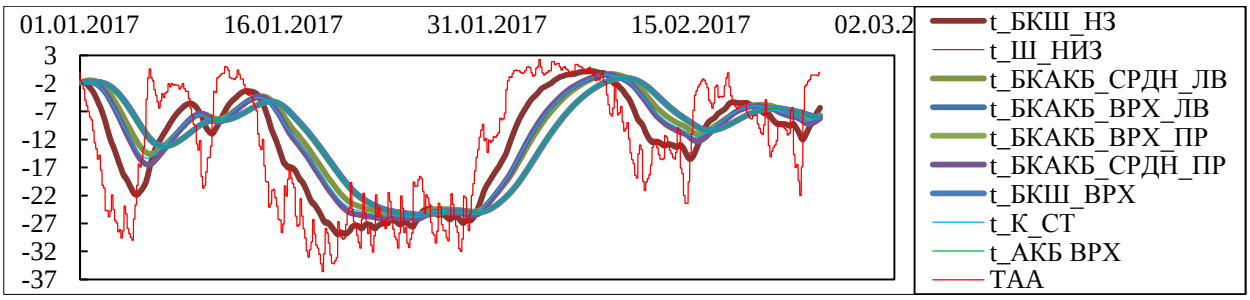


Рис. 2. Температура в контрольных точках энергоустановки без снежного покрова t_БКШ_НЗ – температура внизу блок-контейнера, соответственно t_БКШ_ВРХ – вверху блок-контейнера , t_Ш_НИЗ – температура внизу климатического шкафа расположенного в блок-контейнере, t_БКАКБ_СРДН_ЛВ, ВРХ_ЛВ,ВРХ_ПР,СРДН_ПР температуры аккумуляторных батарей расположенных в климатическом шкафу, t_К_СТ – температура внутренней стенки блок-контейнера, ТАА – температура окружающей среды

Однако нормальной ситуацией для Арктического региона является значительный снеговой покров, удерживающийся до середины апреля. Данные условия способствуют хорошей теплоизоляции энергоустановки, температура внизу контейнера не опускается ниже минус 12°С. В этих условиях ожидаемый ход температур изображен на рис. 3.

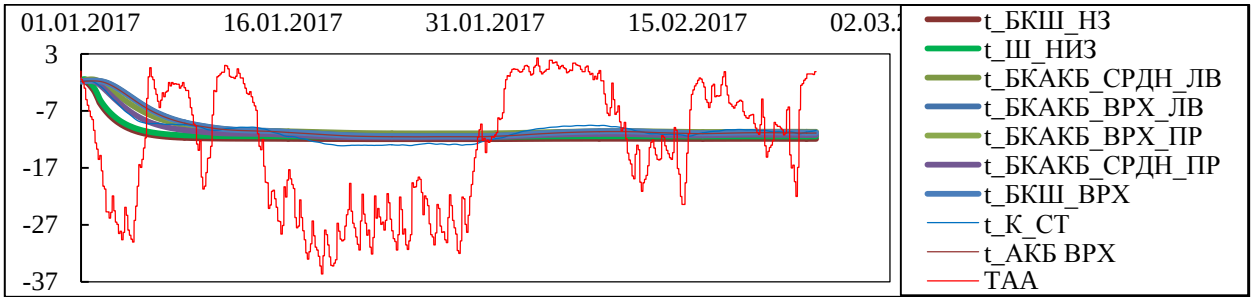


Рис. 3. Температура в контрольных точках энергоустановки со снежным покровом

С использованием разработанных моделей были оптимизированы основные геометрические и массовые параметры энергоустановки, сформулированы предложения по модернизации установки и улучшения ее эксплуатационных характеристик.

Работа выполнена НИЦ «Курчатовский институт» в рамках гранта по приказу от 14.08.19 № 1808».

Литература

1. Alexander S. Grigoriev, Vladimir V. Skorlygin, Sergey A. Grigoriev. «Models of thermal processes for design optimization of power plants based on renewable energy sources and fuel cells». Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade. – 2018. – Thermal Science. – T. 22. https://doi.org/10.2298/TSCI180710281G.

2. Электронный ресурс: www.rp5.ru.

УДК 62-83+621.314

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В.О. Беляков[1], В.А. Медведев[2], А.К. Муконин[3], Д.А. Тонн[4], В.А. Трубецкой[5]
[1] Магистрант, slavker.belakov@yandex.ru
[2,3,5] Канд. техн. наук, доцент, eayts@yandex.ru
[4] Канд. техн. наук, доцент, tonnda@yandex.ru
[1-5] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Рассматриваются возможности совершенствования ряда характеристик частотно-регулируемых электроприводов за счет подключения общей точки конденсаторов фильтра к нулевому проводу сети.

Ключевые слова: электропривод, преобразователь частоты, двигатель переменного тока.

В современных частотно-регулируемых электроприводах малой и средней мощности широко используются преобразователи частоты (ПЧ) с промежуточным звеном постоянного напряжения, выполненные по схеме «неуправляемый выпрямитель - автономный инвертор напряжения» (НВ – АИН). Такие ПЧ обычно содержат трехфазный мостовой диодный выпрямитель, конденсаторный фильтр и трехфазный мостовой транзисторный инвертор. В рассматриваемой системе НВ – АИН можно выделить два основных варианта, отличающихся уровнем напряжения питания. Сравним эти варианты.

В первом варианте величина трехфазных линейных напряжений на входе ПЧ 380В. В этом случае фильтр выполняется в виде последовательного соединения двух конденсаторов, шунтированных для выравнивания напряжений резисторами. Такое соединение обусловлено тем, что допустимые напряжения используемых электролитических конденсаторов обычно равны 400-450В, а входное напряжение фильтра выше 500В. Максимальные выходные линейные напряжения рассматриваемого ПЧ порядка 380В, что позволяет соединять трехфазную обмотку двигателя в звезду.

Второй вариант ПЧ рассчитан на трехфазные входные линейные напряжения 220В. Часто такой преобразователь питается однофазным напряжением 220В, при этом выпрямитель работает как однофазный мостовой. Напряжения конденсаторов фильтра и при трехфазном, и при однофазном питании обычно лежат в окрестностях 300В, соответственно, максимальные выходные напряжения ПЧ не превышают 220В. Трехфазную обмотку двигателя в этом случае соединяют в треугольник, что приводит к протеканию нежелательных токов нулевой последовательности.

В докладе рассматривается возможность питания одного и того же ПЧ как трехфазным напряжением 380В, так и однофазным напряжением 220В. Такая возможность обеспечивается за счет включения в схему питания общей

точки конденсаторов фильтра (ОТКФ). При выведенной ОТКФ можно выделить три основных варианта питания ПЧ. Первый вариант – классический, когда трехфазное напряжение 380В поступает на вход трехфазного диодного моста. Во втором варианте однофазное напряжение 220В подается между ОТКФ и любым входным выводом диодного моста. В этом случае выпрямитель работает как удвоитель напряжения. В третьем варианте на входные клеммы диодного моста подаются линейные напряжения 380В, а ОТКФ соединяется с нулевым проводом сети. В таком случае звено постоянного напряжения работает как сдвоенный трехфазный нулевой выпрямитель (СТНВ) /1/.

Экспериментальные исследования и моделирование выполнялись на базе привода с преобразователем частоты MICROMASTER 440, рассчитанным на питание трехфазным напряжением 380В. Эксперимент показал работоспособность привода при наличии однофазного напряжения 220В между любой входной клеммой трехфазного диодного моста и общей точкой конденсаторов фильтра. Кроме того, моделирование свидетельствует о возможности расширения диапазона регулирования скорости привода в случае использования предложенного решения.

Литература

1. Муконин А.К. Частотные приводы с токовым управлением: монография / А.К. Муконин, А.И. Шиянов. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»,2006. 143с.

2. Муконин А. К. О совершенствовании характеристик частотного электропривода/ А. К. Муконин, А. Е Богомазов // Электротехнические комплексы и системы управления: науч.-технич. журнал – Воронеж: ВГТУ, 2015, №3 . С. 43-49.

УДК 620.9

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ РЕАКТИВНОЙ НИЗКОНАПОРНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ТУРБИНЫ

О.О. Бозаров[2], Р. Алиев[1]
[1] Д-р философии (PhD), старший преп., obozarov7@inbox.ru
Андижанский филиал ТГАУ
[2]Д.т.н., проф. alievuz@yahoo.com
Андижанский государственный университет

В данной работе проведен обзор имеющих на настоящее время гидротурбин. Предложена конструкция реактивной низконапорной гидравлической турбины, которая работоспособна, проста в изготовлении и может быть положена, как основа для создания новых высокоэффективных вертикальных гидротурбин для микро-ГЭС.

Ключевые слова: пропеллерные турбины, водоток в рабочем колесе, КПД гидротурбины, конструкция реактивной низконапорной гидравлической турбины.

Преимущественно природные реки, каналы водоснабжения имеют относительно низкие напоры и они могут служить источниками малой гидроэнергетики. Использование такого гидроэнергетического потенциала с целью получения электрической энергии представляет собой особый интерес. При этом становится очень важным наиболее полное преобразование гидравлической энергии в механическую при помощи гидротурбин и последовательно в электрическую при помощи генераторов.

Выбор конструкции гидротурбин для такой задачи становится решающим в создании микро-гидроэнергетических устройств. При этом гидротурбины, работающие по реактивному принципу представляют большой интерес. Существующим конструкциям реактивных гидротурбин (радиально-осевые, пропеллерные (Пр), поворотно-лопастные (ПЛ), двух перовые) характерно то, что они эффективно работают при напорах более 4 м [1-3].

Анализ литературных источников показывает что, пропеллерние турбины имеют существенный недостаток, заключающийся в том, что с изменением нагрузки резко изменяется их КПД, а зона высоких значений КПД наблюдается только в узком диапазоне изменения мощности. Этот недостаток существенно снижает эффективность пропеллерных турбин при использовании их в системах с дефицитом энергии [3]. При низких напорах КПД этих турбин резко уменьшается, что часто показывает при низконапорном водотоке неудовлетворительный результат.

По предложению авторов данной работы, решение поставленной цели достигается тем, что в реактивной низконапорной гидравлической турбине, содержащей рабочее колесо с каналами для оттока воды и статор с отражателями с целью повышения КПД за счет улучшения реактивной отдачи и упрощения конструкции рабочее колесо выполнено в виде цилиндра. Лопасти и каналы с выходным соплом для оттока воды расположены на одной

горизонтальной плоскости дна рабочего цилиндра. Каналы для оттока воды представляют собой вогнутое конусообразные в сечении трубы, расположенные перпендикулярно внутреннему радиусу рабочего колеса, имеющее выходное сопло, позволяющее перпендикулярно направить выходящий из сопла поток воды на касательную плоскость, проведенной к точке центра дуги вогнутого и вертикально установленного кругло-цилиндрического отражателя [7].

Поток воды внутри цилиндра двигаясь от центра по радиусу рабочего колеса действует активными силами на внутренние лопатки и при дальнейшем движении отражается от внутренней стенки сопла и направляется к выходу, отдавая реактивную силу.

Для определения энергетических и геометрических параметров предложенной конструкции необходимо проанализировать динамику движения водотока в рабочем колесе. Решением уравнения Бернулли вместе с уравнениями неразрывности, относительно скорости водотока и используя общую теорему об изменении кинетического момента вращательного движения для вращательного момента сила реакции и частоты вращения рабочего колеса, получена следующая зависимость между параметрами гидротурбины [8]:

$$M_z = -N\rho\pi R_c^3 \vartheta_c(\vartheta_c - \omega_z R_c) = -N\rho\pi R_c^3 \vartheta_c^2 (1 - \cos\beta). \quad (1)$$

$$\omega_z = \frac{\vartheta_c^2 (R_c^2 - r_c^2)}{R_3^2 R_c \vartheta_3 + R_c^3 \vartheta_c}. \quad (2)$$

Момент инерции относительно оси вращения рабочего колеса состоит из алгебраической суммы собственного момента инерции металлического корпуса и момента инерции воды внутри рабочего цилиндра.

В результате выполнения теоретического расчета для рассматренной конструкции реактивного микро-ГЭС получены практически интересные результаты. При постоянном выходном радиусе и количестве сопла рабочего колеса при увеличении напора воды более 5 м наблюдается медленное возрастание КПД и мощности микро-ГЭСа, соответственно увеличивается расход жидкости. При постоянных размерах гидротурбины увеличение напора приведет к возрастанию количество расхода воды в связи с ростом скорости выхода воды. Высокий КПД гидротурбины наблюдается только при критическом значении радиуса выпускного отверстия сопла. Такого типа гидротурбин целесообразно использовать в местах, где есть возможность увеличивать расход воды.

Таким образом, предложенная конструкция реактивной низконапорной гидравлической турбины работоспособна, проста в изготовлении и может быть положена, как основа для создания новых высокоэффективных вертикальных гидротурбин для микро-ГЭС.

Литература

1. http://weswen.ru/hydro_frensis/.

2. http://weswen.ru/hydro_kaplan/.

3. https://studopedia.ru/4_106730_reaktivnie-gidroturbini.html. 21 янв. 2015 г.

4. RU 2340795. МПК C1, F 04 D29/22; F 03 B3/12, публ. 10.12.2008. Центробежное реактивное рабочее колесо.

5. RU 2345243. МПК C1, F 03 B3/12, публ. 27.01.2009. Трубчато-лопастное рабочее колесо.

6. RU2019729 . МПК C1, F 03 B3/02, публ. 15.09.1994. Реактивная гидравлическая турбина.

7. Патент UZ FAR № 01287. Реактивная гидравлическая турбина. // О.Бозаров, Р.Алиев, Р.Захидов, Д.Кодиров. // Официальный бюллетень, Ташкент, 2018. №3(201), С.85-86.

8. Алиев Р.У., Бозаров О.О. Разработка и испытание микро-ГЭСа с реактивной гидравлической турбиной мощностью до 100 КВт. Научный вестник ТГТУ, Ташкент, 2018, № 4 . С.77-82.

УДК 621.59:621.643

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ЗАХОЛАЖИВАНИЯ ДЛИННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖИДКОГО ВОДОРОДА

О.В. Калядин[1], А.В. Сергеев[2]
[1]Канд. физ.-мат. наук, доцент, kaljadin@gmail.com
[2]Канд. физ.-мат. наук, доцент, sergeev-av@bk.ru
[1,2] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе приводится математическая модель, описывающая переходный процесс захолаживания криогенной магистрали потоком переохлажденного водорода, а также результаты расчета температуры потока и стенки трубопровода по его длине в различные моменты времени.

Ключевые слова: жидкий водород, математическая модель, длинный трубопровод.

При транспортировке криогенных жидкостей по теплым магистралям, сопровождающейся частичным или полным испарением, распределение температур в стенке и параметры потока определяются путем решения системы дифференциальных уравнений в частных производных [1]. Точное решение поставленной задачи сопряжено с большими трудностями, поскольку законы и формы совместного движения жидкости и газа гораздо сложнее и многообразнее, чем законы и формы движения гомогенных потоков. Кроме того, для ее решения необходимы дополнительные экспериментальные зависимости, которые получены только для некоторых частных случаев и не имеют универсального характера из-за сложной природы двухфазных потоков.

В данной работе предложена упрощенная модель охлаждения длинных изолированных трубопроводов при протекании по ним жидкого водорода, позволяющая определять параметры потока в различные моменты времени и оценивать время выхода магистрали в рабочий режим. Сущность модели состоит в том, что поток кипящего водорода рассматривается как однофазный, у которого плотность в каждом сечении является функцией массового содержания и плотности каждой из фаз. При разработке модели были приняты некоторые допущения, в частности: предполагалось, что линейные скорости жидкости и пара равны, сами фазы находятся в состоянии термодинамического равновесия, а для определения коэффициента трения двухфазного потока применимы зависимости, полученные для однофазного течения. Данные допущения (вполне оправданные с технической точки зрения) позволили существенно упростить систему исходных уравнений и ее решение. В итоге были получены уравнения: неразрывности потока (1), движения (2), энергии (3) и теплопроводности для стенок трубы (4-6):

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial (\rho W)}{\partial z} = 0, \qquad (1)$$

$$-\frac{\partial R}{\partial z}-\frac{2\tau_W}{R_1}=\rho\frac{\partial W}{\partial \tau}+\rho W\frac{\partial W}{\partial z}, \quad (2)$$

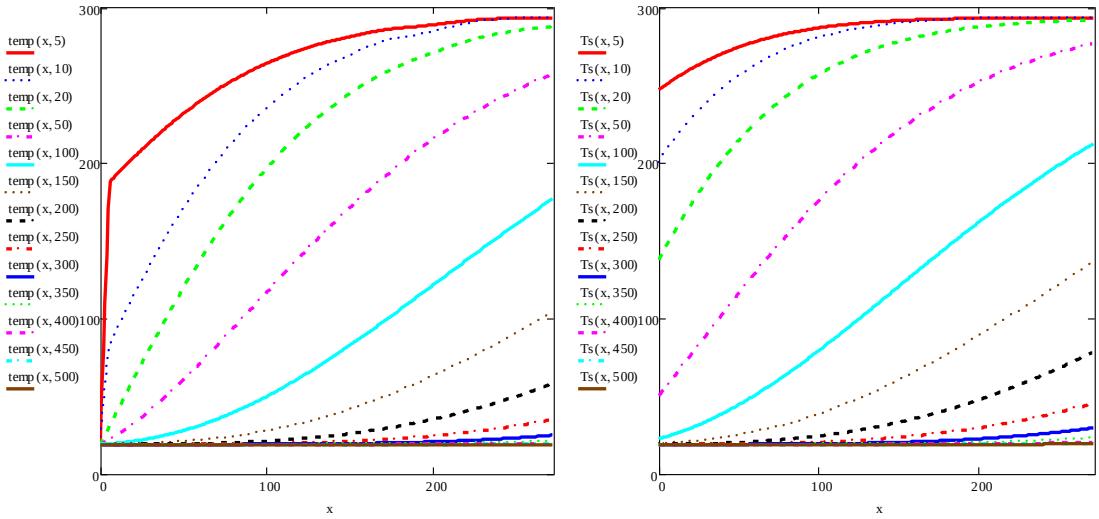
$$\rho\frac{\partial i}{\partial \tau}+\rho W\frac{\partial i}{\partial z}=\frac{2q}{R_1}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial T_W}{\partial \tau}=a\left(\frac{\partial^2 T_W}{\partial R^2}+\frac{1}{R}\frac{\partial T_W}{\partial R}\frac{\partial^2 T_W}{\partial z^2}\right), \quad (4)$$

$$\lambda_W\frac{\partial T_W(R_1\tau)}{\partial R}=q=\alpha[T_W(R_1\tau)-T], \quad (5)$$

$$-\lambda_W\frac{\partial T_W(R_2\tau)}{\partial R}=q_{\text{н}}, \quad (6)$$

где $q_н$ – плотность теплового потока на наружной поверхности трубопровода; q – на внутренней; R_1 и R_2 – внутренний и наружный радиусы трубы; T_W и T – температура стенки и потока; W – скорость потока; ρ – плотность потока.



Распределение температуры потока (а) и стенки (б) по длине трубопровода в различные моменты времени

Принимая, что массовая скорость потока известна, теплопроводность стенки равна нулю в направлении движения и бесконечно велика в направлении нормали, а сама стенка идеально изолирована от окружающей среды и, задавая в качестве граничных условий распределение температуры в газе и стенке в начальный момент времени и температуру газа на входе: $T(0,z) = f(z)$; $T_W(0,z) = \varphi(z)$; $T(\tau,0) = \psi(\tau)$, система была решена численно методом конечных разностей. В результате были получены зависимости температуры водорода и стенки по длине трубопровода в различные моменты времени. Графическое отображение результатов позволяет наглядно анализировать процесс захолаживания и определять время, необходимое для полного охлаждения трубопровода. При подаче в магистраль длиной 272 метров переохлажденного до 19 К жидкого водорода оценочное время захолаживания составляет ~ 500 с, что хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Литература

1. Архаров А.М., Кунис И.Д. Криогенные заправочные системы стартовых ракетно-космических комплексов // МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 252 с.

УДК 517.977

РАЗРАБОТКА АДАПТАЦИОННОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕМ ПОТРЕБИТЕЛЯ

Ю.А. Клименко[1], А.П. Преображенский[2]
[1]Аспирант, klm71165@mail.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, app@vivt.ru
АНООВО «Воронежский институт высоких технологий»

В данной работе представлена разработка, направленная на улучшение качества поставляемых энергоресурсов потребителям. Результат достигается применением адаптивных систем на основе контроля и управления параметрами состояния электрической сети для применения интеллектуального распределения электрических мощностей между потребителями.

Ключевые слова: распределительная сеть; качество; модуль; адаптивная система; управление; критерий; алгоритм.

Адаптационный модуль управления энергоснабжением потребителя (АМ) 0,22 кВ является частью адаптивной системы управления для устранения несимметричности нагрузки фаз электросети 0,4 кВ, которая будет использоваться в концепции создания комплекса контроля и управления качеством электроэнергии участка распределительной электрической сети 10/0,4 кВ [1] . АМ предназначен для равномерного распределения однофазной нагрузки по фазам трехфазной сети 0,4 кВ. АМ содержит входные зажимы A, B, C, N для подключения питающей сети и выходные зажимы «Фаза» и N для подключения нагрузки, а также включает в свой состав измерительное устройство, устройство выбора фаз (коммутатор), устройство управления и передачи данных, устройство связи, дистанционный пульт управления (рисунок).

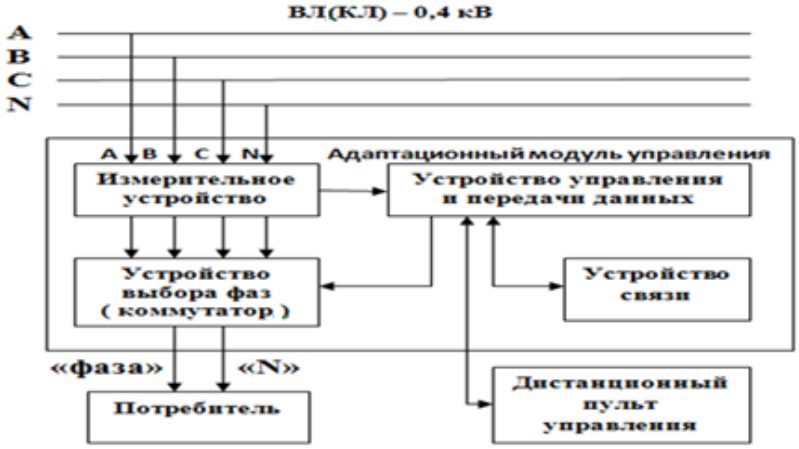


Схема адаптационного модуля управления энергоснабжением потребителя

Измерительное устройство (ИУ) производит: измерение основных величин параметров электрической сети и расхода электроэнергии (ЭЭ), передачу данных измерений в устройство управления и передачи данных (УУПД), направляет электроэнергию (ЭЭ) в устройство выбора фаз. Устройство

управления и передачи данных (УУПД) производит: сбор и анализ данных о состоянии параметров электрической сети, передачу информации в УИК о состоянии параметров сети, подачу команд в УВФ на производство переключения нагрузки потребителя на одну из выбранных фаз, приём и передачу информации от дистанционного пульта управления (ДПУ). Устройство выбора фаз (УВФ) осуществляет переключение электроснабжения потребителя в зависимости от выбранной фазы УУПД. Устройство связи (УС) осуществляет взаимодействие АМ и УИК. Дистанционный пульт управления осуществляет: приём данных о состоянии электрической сети, информации о расходе ЭЭ, передачу команд на принудительное переключение (выключение) потребления ЭЭ.

Задачей АМ устройства является достижение симметрирования фазных токов (нагрузок) трехфазной распределительной сети 0,4 кВ, уменьшение объема и стоимости аппаратных средств, обеспечивающих реализацию цели симметрирования фазных токов (нагрузок).

Данный АМ работает следующим образом. Электроснабжение каждого потребителя осуществляется через АМ, который устанавливается на опоре линии электропередачи в месте подключения ответвления ВЛ (КЛ) - 0,4 кВ. Электропитание подаётся на входные контакты АМ по фазам. Измерительное устройство (ИУ) определяет величину параметров электросети по каждой из фаз: электрического напряжения, токовой нагрузки, коэффициента мощности, электрической мощности потребления электроэнергии (полной, активной, реактивной) и других. ИУ направляет данные о состоянии электросети в УУ и ПД для анализа данных с точки зрения соответствия нормативам ГОСТ [2]. УУ и ПД каждого АМ передаёт данные о состоянии электрической сети в каждом конкретном пункте ВЛ (КЛ) - 0,4 кВ через УС в измерительный управляющий комплекс (ИУК) для обработки данных измерений и принятия решения на переключение определённых потребителей для симметрирования нагрузок по фазам линии электропередачи, а также передаёт управляющие команды конкретным АМ для переключений и выравниванию нагрузок. УУ и ПД обрабатывает принятую информацию, принимает решение и передаёт команду в УВФ на переключение определённого потребителя на фазу, которая соответствует заданным требованиям. УВФ, получив команду, производит переключение энергоснабжения потребителя на заданную фазу и сообщает в УУ и ПД информацию о выполнении переключения.

Реализация данной системы исключает использование дополнительных аппаратных средств регулирования параметров несимметричности фаз сети 0,4 кВ.

Литература

1. Александров, А. Г. Оптимальные и адаптивные системы / А. Г. Александров. – М.: Высшая школа, 2003.–287 с.

2. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения./http://www.garant.ru.

УДК 620.9

РАЗРАБОТКА ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

О.Г. Лосев[1], Д.А. Мельник[2], А.С. Григорьев[3]
[1]Старший научный сотрудник, Losev_OG@nrcki.ru
[2]Старший научный сотрудник, Melnik_DA@nrcki.ru
[3]Канд. техн. наук, Grigoriev_AS@nrcki.ru
[1,2,3]НИЦ «Курчатовский институт»

В данной работе приводятся результаты расчётов и моделирования энергоустановки на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) и анализ современных технологий, которые могут быть применимы для реализации новых структурных решений в распределённых энергетических системах различного масштаба мощности.

Ключевые слова: распределенная энергетика, возобновляемые источники энергии, электрохимический топливный элемент, природный газ, интернет энергии.

Потребность в развитии технологий, позволяющих создавать распределённые сети очевидна. В настоящее время и в ближайшей перспективе ежегодные приросты потребления электроэнергии по стране будут расти. Дефицит мощностей при этом может составить порядка 60 ГВт [1]. Данные условия в сочетании с намеченной реконструкцией и модернизацией традиционных объектов генерации ставит перед энергетикой задачу, решение которой должно не только обеспечить необходимый спрос в энергетике населения и промышленности, но и иметь потенциал для обеспечения высоких темпов развития экономики Российской Федерации в будущем (рис. 1).

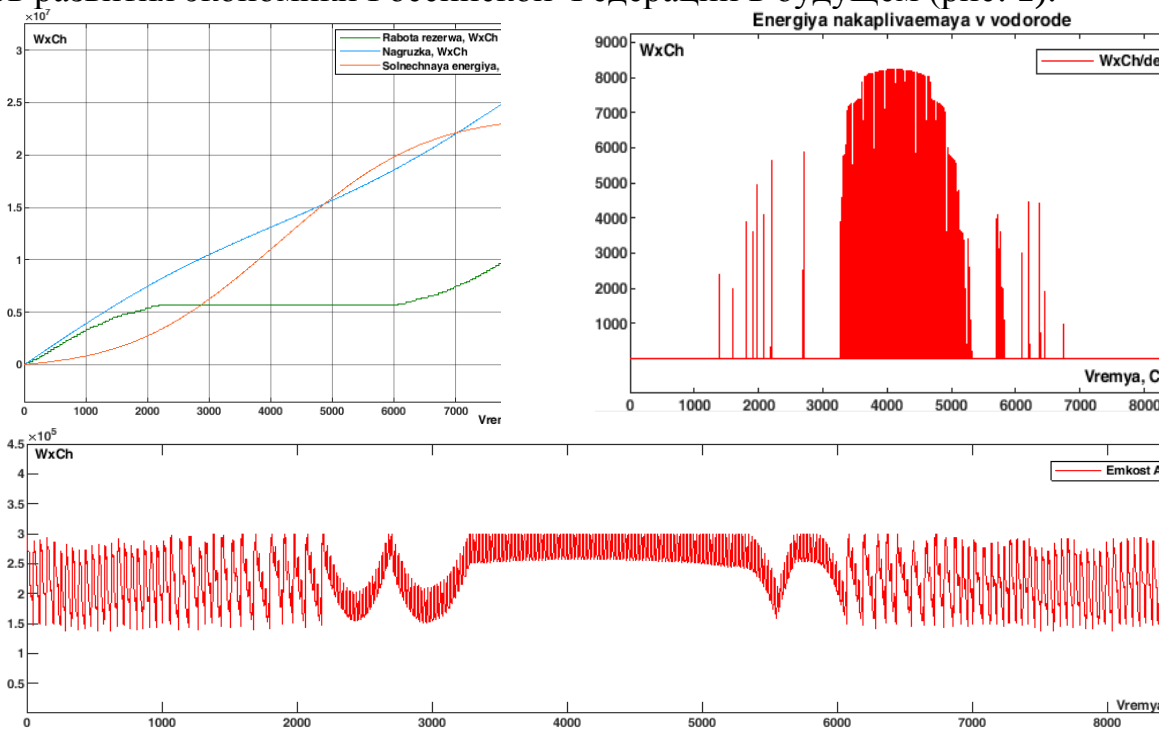


Рис. 1. Модель работы солнечной энергоустановки на 58 широте

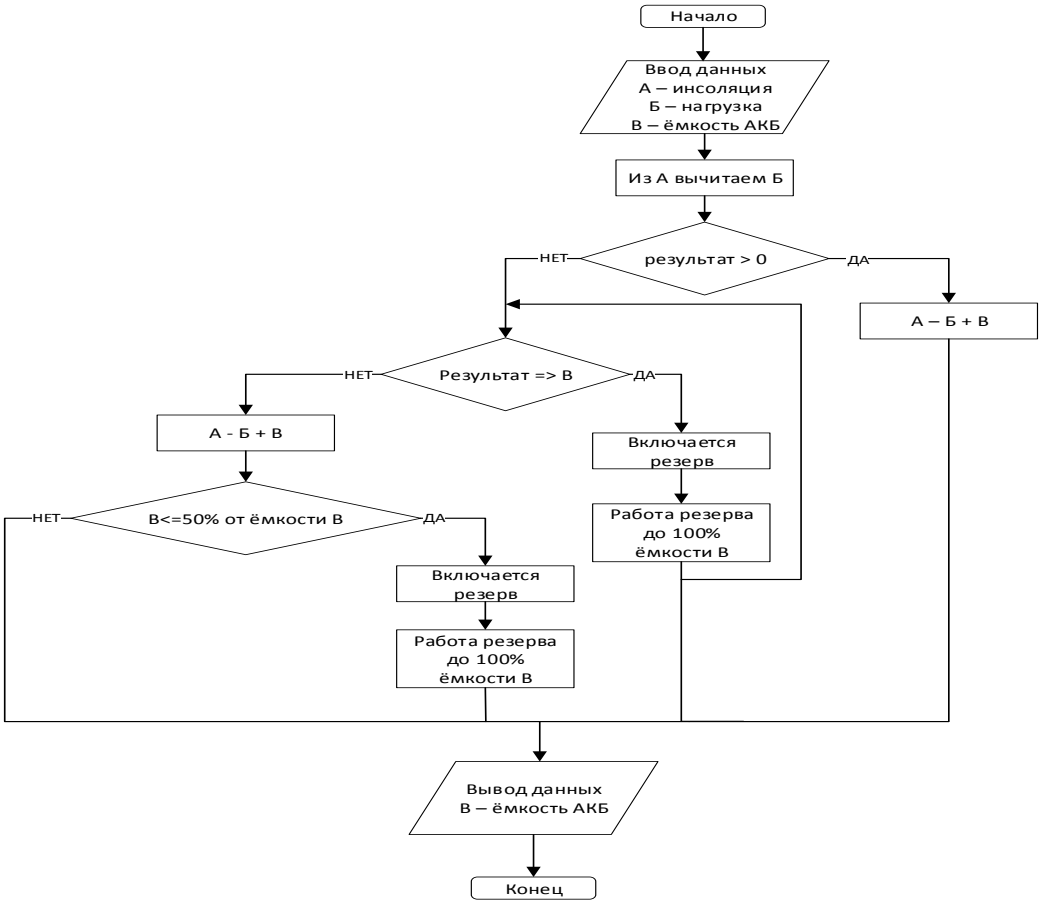


Рис. 2. Алгоритм расчёта энергетического баланса

В качестве дальнейших шагов по развитию распределённой энергетики необходимо консолидироваться на следующих направлениях:

- совершенствование низкоэмиссионных экологичных технологий генерации электроэнергии в топливных элементах на водороде, метане и спиртах;
- совершенствование технологий накопления и хранения энергии с помощью электрохимических аккумуляторных батарей;
- разработка и оптимизация различных схем построения распределённых энергосистем на постоянном токе, которые включали бы в себя перечисленные выше направления;
- разработка цифровых силовых контроллеров коммутации и преобразования электроэнергии в сетях постоянного тока;
- разработка цифровых технологий управления указанными энергосистемами с помощью Ethernet / Internet.

Работа ведётся при поддержке Минобрнауки России Грант № 05.604.21.0243. Уникальный идентификатор RFMEFI60419X0243.

Литература

1. Электронный ресурс: «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» https://minenergo.gov.ru/node/1026.

УДК.338.3

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГАРАНТИРОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЁННОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ПАРОВОЙ ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ

Ю.А. Клименко[1], А.П. Преображенский[2]
[1]Аспирант, klm71165@mail.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, app@vivt.ru
АНОО ВО «Воронежский институт высоких технологий»

В статье представлена структура модели управления оптимальным распределением ресурсов при работе паровой генерирующей установки (ПГУ) для малой энергетики. Разработана функциональная модель оптимального распределения ресурсов, определены главные функции и взаимосвязи модулей управления.

Ключевые слова: паровая генерация; комплекс; модуль; оптимизация; управление; критерий; алгоритм.

Целью данной работы является решение задачи применения паровых энергетических установок для генерации электроэнергии, а также использования энергетических мощностей для обеспечения горячим водоснабжением потребителей удалённых объектов [1].

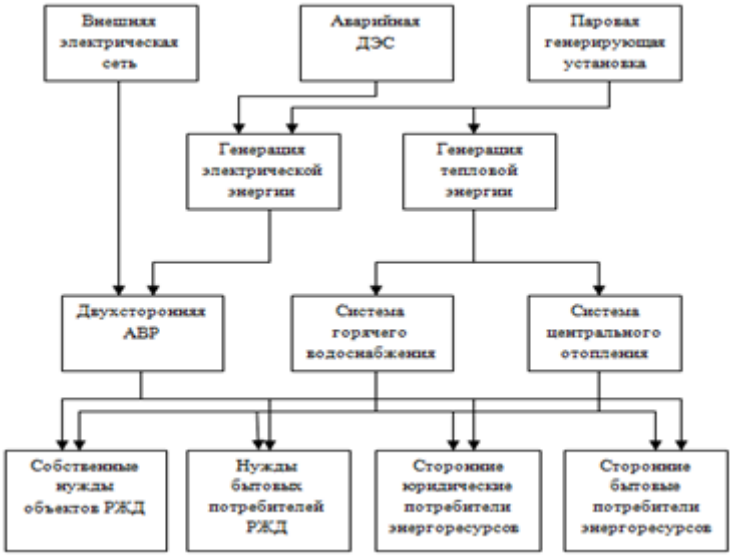


Рис. 1 Схема гарантированного энергоснабжения инфраструктуры удалённого объекта на основе паровой генерирующей установки

Система гарантированного электропитания, горячего водоснабжения и централизованного отопления объектов (рис. 1) особенно востребована в отдалённых районах Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока. Предлагаемая схема полностью удовлетворяет задачам стратегии по развитию и совершенствованию существующей системы энергоснабжения удалённых и труднодоступных населённых пунктов. Внедрение данной системы на основе применения автономных генерирующих мощностей, решает множество задач по обеспечению

потребностей населения и малой промышленности, что даёт импульс экономическому развитию данных территорий. Представлена структура модели управления оптимальным распределением ресурсов при работе парового генерирующего комплекса (рис. 2). Система состоит из модуля расчёта параметров, модуля задания условий работы ПГУ, модуля решения задачи оптимизации, модуля анализа полученных результатов и выдачи рекомендаций по оптимизации параметров работы ПГУ. Разработана функциональная модель оптимального распределения ресурсов, определены главные функции и взаимосвязи модулей управления.

Рис. 2 Структура модели оптимизации управления распределением сырьевых и топливно-энергетических ресурсов при работе ПГУ

Оптимальное распределение топливно-энергетических ресурсов является важной задачей. Технологические показатели работы различных ПГУ существенно отличаются друг от друга. При общем заданном расходе топлива для ПГУ необходимо иметь методику оценки эффективности использования данного ресурса и осуществлять его оптимальное распределение. В стать также представлена блок-схема (алгоритм) последовательности решения задачи расчёта оптимального режима работы ПГУ. Проведён сравнительный анализ эксплуатационных характеристик работы различных типов паровых машин для производства энергетических ресурсов. Приведена схема гарантированного энергоснабжения удалённых объектов. Предложено использовать паровые поршневые двигатели внешнего сгорания в распределённых и изолированных энергетических системах для генерации электроэнергии и горячего водоснабжения инфраструктуры населённых пунктов в удалённых и труднодоступных районах [2].

Литература

1. Дубинин В. С. Обеспечение независимости электро- и теплоснабжения России от электрических сетей на базе поршневых технологий: монография. М., 2009.

УДК 621.311.6, 62-533.7

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АППАРАТУРЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

И. И. Таболин[1], А.Д. Данилов[2]
[1]Аспирант, iwan.tabolin@yandex.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, danilov-ad@yandex.ru
[1,2]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе приведены результаты разработки состава и структуры аппаратуры регулирования и контроля системы энергоснабжения космического аппарата. Описан используемый принцип зонного регулирования.

Ключевые слова: система электроснабжения, аппаратура регулирования и контроля, бортовая сеть, космический аппарат.

Система энергоснабжения (СЭС) космического аппарата, обеспечивающая электропитание других систем, является одной из важнейших систем, определяющая геометрию космических аппаратов, конструкцию, массу, срок активного существования. Для обеспечения её работоспособности и обработки её параметров спроектирована аппаратура регулирования и контроля энергоснабжения бортовой сети (АРК), которая совместно с первичными источниками энергии – солнечными батареями (СБ), и вторичными источниками энергии – аккумуляторными батареями (АБ), обеспечивает потребителей бортовой сети электрической энергией на этапах наземных испытаний и предстартовой подготовки, а также во всех режимах полёта [1,2].

В состав АРК входят регуляторы тока СБ (РТ), зарядно-разрядные устройства АБ (ЗРУ), модуль микроконтроллера (ММК), стабилизатор напряжения (СН) и фильтр.

РТ выполнен в виде регулятора параллельного типа, обеспечивает непрерывное регулирование тока генератора СБ и автоматически включается в работу при подключении их ко входу СБ или наземного источника питания – имитатора СБ. РТ работает в режимах передачи электроэнергии от генератора СБ на шины СЭС, широтно-импульсного регулирования с частотой не менее 20 кГц, а также короткого замыкания генератора СБ.

ЗРУ обеспечивает процессы заряда и разряда АБ: заряд литий-ионных АБ с выравниванием токов заряда между АБ и с ограничением зарядного тока; ступенчатый заряд по командам с блока электроники; передача тока от АБ со стабилизацией напряжения шины СЭС на уровне 28,5 В и выравнивание токов разряда между АБ; ограничение разрядного тока АБ; приём и исполнение команд управления от блока электроники АБ.

ММК предназначен для обеспечения информационной связи между бортовым компьютером, РТ, ЗРУ, СН и блоком электроники АБ.

СН предназначен для обеспечения без гальванической развязки преобразования напряжения постоянного тока (20-37) В в стабилизированное напряжение (28,5±0,5) В в установившемся режиме и (28,5±1,5) В в переходных режимах, связанных со скачкообразным изменением нагрузки до 25 А; ограничения величины выходного тока на уровне (30±1) А; сохранения работоспособности после короткого замыкания в выходных цепях; передачи информации о текущем состоянии СН, значениях входных и выходных токов, выходного напряжения.

Фильтр по шине 28,5 В обеспечивает всплески и провалы выходного напряжения (от номинального значения 28,5 В) не более 1,5 В при скачкообразном изменении тока нагрузки на ±25 А.

Разработанная АРК предназначена для автоматической стабилизации выходного напряжения на уровне 28,5 В. Модули РТ, ЗРУ и СН образуют единую систему управления с отрицательной обратной связью, состоящую из корректирующих звеньев, исполнительных силовых ШИМ-преобразователей, датчиков обратных связей, силового фильтра и нагрузки. Для совместной работы данных модулей заложен принцип зонного регулирования с общим каналом управления по напряжению. Для этого вся область возможного изменения сигнала управления разбита на зоны работы, при этом каждому типу модулей выделена своя зона работы.

Разделение на зоны при общем канале управления осуществляется за счёт введения в цифровое ПИ-звено каждого из регуляторов своего значения смещения сигнала управления. При таком выполнении системы в зависимости от баланса мощности «потребитель-источники» в работу автоматически включаются требуемые регуляторы. Регуляторы РТ первыми отдают свою мощность. При наличии избыточной мощности в системе возможен заряд АБ, причём заряд каждой АБ обеспечивается по собственному алгоритму, но с выравниванием зарядных токов между отдельными АБ. Таким образом, вначале работает РТ1, затем, по мере увеличения нагрузки, подключаются следующие модули: РТ2, РТ3, РТ4; при дальнейшей нехватке энергии источником энергии является орбитальная пилотируемая станция и включается модуль СН, в самой верхней зоне при максимальной нагрузке или нахождении транспортного корабля в тени, энергией СЭС обеспечивают АБ.

Литература

1. Варенбуд Л. Р. Инновационные решения при разработке аппаратуры регулирования и контроля систем энергоснабжения космических аппаратов / Л. Р. Варенбуд, В. Н. Волокитин // Энергия - XXI век. – Воронеж, 2013 – №1 (84) – с. 16-27.

2. Савенков В. В. Принципы построения аппаратуры регулирования и контроля современных систем электроснабжения малоразмерных космических аппаратов / В. В. Савенков, А. К. Тищенко, В. Н. Волокитин // Решетневские чтения. – Красноярск, 2017 – Т. 1 – с. 325-326.

УДК 621.311.001.57

РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ *VR*-ТЕХНОЛОГИЙ

А.В. Стрижиченко[1], Е.Г. Зенина[2], Д.С. Кочергин[3], В.В. Ефимов[4]
[1]Канд. техн. наук, Strijichenko@yandex.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, Zeninaeg@mail.ru
[3]Магистрант, dimakochergin1995@gmail.com
[4]Студент, efimvlad999@yandex.ru
[1,2,3,4]ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», филиал в г. Волжском

В работе описаны результаты моделирования виртуального силового оборудования подстанции и системы учета электроэнергии с целью обучения и отработки действий персонала при плановых переключениях и аварийных ситуациях.

Ключевые слова: тренажер, подстанция, виртуальная реальность.

В настоящее время являются актуальными вопросы применения тренажеров на основе систем виртуальной реальности для обучения студентов и переподготовки персонала энергетических предприятий, которые позволяют отрабатывать действия персонала при проведении переключений при выводе в ремонт и вводе в работу оборудования подстанций, проведение осмотров оборудования, его ремонта и замены.

Достоинством использования систем виртуальной реальности (*VR)* в электроэнергетике является возможность создания виртуальной среды под конкретные технические ситуации. Виртуальная подстанция – это не только детальный тренажер с возможностью проведения тренировок без необходимости допуска к реальному оборудованию, но и инструмент для проверки знаний.

В качестве исследуемого объекта для создания виртуального тренажера переключений было выбрано силовое оборудование подстанции 110/10 кВ. Была произведена симуляция переключений для вывода в ремонт и ввода в работу силовых и измерительных трансформаторов, силовых выключателей, разъединителей, линий электропередач. Смоделированы возможные аварийные ситуации: аварийное отключение трансформатора из-за пробоя изоляции, отключение трансформатора по условию срабатывания газового реле, несрабатывание разъединителя по причине повреждения механической части, отключение линии из-за короткого замыкания и т.д. При работе с тренажером оператор имеет возможность выполнения следующих действий: осмотр оборудования, переключение коммутационных аппаратов, установка заземлений, вывешивание плакатов.

В случае выполнения оператором ошибочных действий в зависимости от степени критичности ошибки предусмотрена визуализация последствий с

возможностью исправления ситуации или прекращения тестового задания.

Кроме моделирования силовой части были проведены работы по симуляции работы с системами учета электроэнергии. Тренажер позволяет выполнять следующие действия: установка счетчика, симуляция действий, обеспечивающих безопасность выполнения работ при установке и замене электросчетчика, подключение фаз в определенном порядке с использованием приспособления для определения фаз. В тренажере возможно проведение осмотров счетчика с целью обнаружения деформаций, повреждений корпуса, проверки электрической изоляции, контроля правильности работы счетного механизма в аппарате учета, подтверждения отсутствия “самохода”, проверки порога чувствительности аппарата и т.д.

Также предусмотрена отработка действий по осмотру и ремонту счетчика при следующих возможных неисправностях: износ кернов при длительной эксплуатации; механические повреждении прибора и его частей, возникающие по причине вибрации; коррозия металлических частей прибора.

При подготовке специалистов по направлению «Электроэнергетика и электротехника» важным аспектом обучения является реализация практико-ориентированного подхода. При невозможности получения опыта на реальном оборудовании энергообъекта из-за отсутствия квалификации и потенциальной опасности для обучаемого, возникает потребность в применении тренажеров виртуальной реальности, которое позволяет отрабатывать действия персонала при плановых переключениях и аварийных ситуациях, производить проверку знаний обучаемого и осуществлять симуляцию различных режимов работы энергетического оборудования.

Литература

1. Акимов Е.Г. Трехфазные электронные счетчики/ Е.Г. Акимов, учебник, НЦР Руконт, 2011 - 124с.

2. Кочергин Д.С., Стрижиченко А.В. Разработка тренажера «Виртуальныйсчетчик» для подготовки и переподготовки специалистов/ Повышение энергоэффективности производства и передачи электроэнергии: Студенческая конференция в рамках программы корпоративного чемпионата Группы РусГидро по стандартам WorldSkills, г. Волжский, 9 октября 2018 г.: тезисы докладов. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2019 – С.14-18.

3. Кочергин Д.С., Стрижиченко А.В. Разработка тренажера «Виртуальный счетчик» для подготовки и переподготовки специалистов/ Энергетика и цифровизация – факторы стабильного развития современного города: Международная научно-практическая конференция, г. Волжский, 23–26 октября 2019 г.: тезисы докладов. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2020 – С.46-48.

УДК 621.3

РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УЗЛА Г.САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

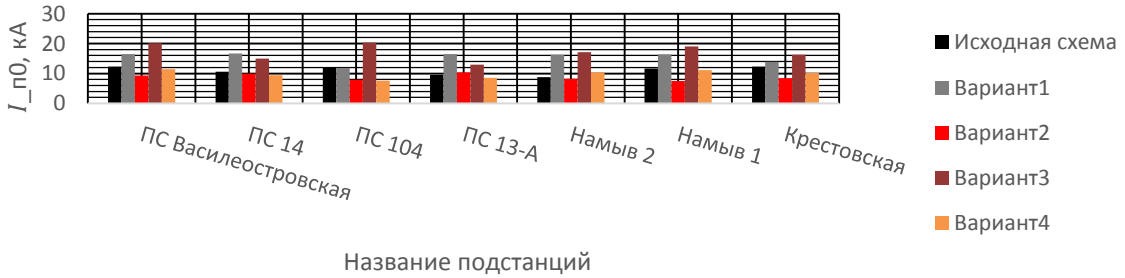
Ю. Н. Кондрашова[1], А.Ю. Турищев[2], А. М. Маркина[3]
[1]Канд. техн. наук, доцент, rotjuil720@mail.ru
[2] Инженер СРЗАИ, alexturant@yandex.ru
[3] Студент, mam98am@gmail.com
[1,3] ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова»
[2] ОАО «МРСК-Урал»-Челябэнерго

Представлены расчеты токов при симметричных трехфазных коротких замыканиях (СТКЗ) и определены остаточные напряжения на секциях для энергетического узла г. Санкт-Петербурга.

Ключевые слова: короткое замыкание, энергетический узел, расчет токов трехфазного короткого замыкания.

Для анализа устойчивости [1,2] рассматривают режимы[3] при коротких замыканиях, так как поведение синхронных машин отличается при коротком замыкании и после ликвидации СТКЗ. Для более комплексной оценки конфигураций схемы с учетом режимов работы коммутационного оборудования [4,5] и токоведущих частей. В исследовании рассчитаны и анализированы значения токов СТКЗ.

В исследовании был использован программный комплекс [6], в котором используется модифицированный метод последовательного эквивалентирования [7]. В качестве объекта исследования приведена система электроснабжения г. Санкт-Петербурга, имеющего в своем составе узловые подстанции и теплоэлектроцентраль (ТЭЦ-7). При расчетах используются различные конфигурации узла. При исследовании системы при СТКЗ на сборных шинах узловых подстанций были получены результаты значений токов короткого замыкания в начальный момент времени при разных конфигурациях существующей схемы узла. Для наглядной оценки получившихся значений были построены графики значений токов периодической составляющей в начальный момент времени при ТКЗ на секциях шин рисунок.



Значение токов периодической составляющей в начальный момент времени при различных конфигурациях СЭС г. Санкт-Петербурга

1. В существующей схеме более лучший вариант 4 по сравнению с наихудшим вариантом-3, где при СТКЗ на ПС Василеостровской токи СТКЗ отличаются в 1,8 раз. В следствие этого необходимо будет произвести замену коммутационного электрооборудование.

2. При сравнении вариантов схемы 2 и 4 выяснилось, что отличие токов СТКЗ составляет около 10 %.

Литература

5. Малафеев А.В. Анализ переходных процессов в системах электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями в режимах выхода на раздельную работу после короткого замыкания /Б.И. Заславец, В.А. Игуменщев, Н.А Николаев, О.В. Буланова, А.В. Малафеев, Ю.Н. Ротанова // Известия высших учебных заведений. Электромеханика.– 2009. – № 1. – С. 60-65.

6. Ротанова Ю.Н. Анализ переходных процессов в системах электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями в режимах выхода на раздельную работу после короткого замыкания / О.В. Буланова, А.В. Малафеев, Ю.Н. Ротанова // Вести высших учебных заведений Черноземья. .– 2008. – № 3 (13). – С. 43-45

7. Газизова О.В. Повышение эффективности управления режимами электростанций промышленного энергоузла за счет устойчивости при изменений конфигурации сети / Газизова О.В., Кондрашова Ю.Н., Малафеев А.В. // Электротехнические системы и комплексы. – 2016. – № 3(32). – С. 27-38.

8. Корнилов Г.П. Анализ надежности оборудования тепловой электростанции при внедрении преобразователей частоты/А.С. Карандаев, Г.П. Корнилов, О.И. Карандаева, Ю.Н. Ротанова, В.В. Ровнейко, Р.Р. Галлямов//Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». Вып. 12. -2009. № 34(167). -С. 16-22.

9. Одинцов К.Э. Методика прогнозирования остаточного ресурса электрооборудования при эксплуатации/ К.Э. Одинцов, Ю.Н. Ротанова, О.И. Карандаева, С.Е. Мостовой, П.В. Шиляев//Известия Тульского государственного университета. Технические науки -2010. -№ 3-1 -С. 192-198.

10. Комплекс автоматизированного режимного анализа КАТРАН 6.0. Игуменщев В.А., Малафеев А.В., Буланова О.В., Кондрашова Ю.Н., Панова Е.А., Хламова А.В., Тарасов В.М., Ягольникова Е.Б., Николаев Н.А., Зиновьев В.В. Программа для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. 2012. №2. С 500-501.

11. Малафеев А.В. Представление машин переменного тока в расчетах динамической устойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями / Заславец Б.И., Игуменщев В.А., Малафеев А.В., Буланова, О.В., Ротанова Ю.Н. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика- 2008. - № 11(111). – С. 3. -8.

УДК 691.33

РЕНТГЕНОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ ТВЕРДЕНИЯ В ПРИСУТСТВИИ ТЕХНОГЕННОГО КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ

Ю.В.Погорелова[1], К.Г. Попова[2], М.А. Агафонова[3], Д.Н. Коротких[4]
[1]Аспирант, pyv.vrn@mail.ru
[2]Студент, kristin.1995@yandex.ru
[3]Студент, maria.agafonowa1@yandex.ru
[4]Д-р техн. наук, профессор, korotkih@vgasu.vrn.ru
[1-4] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В статье приводятся результаты рентгенометрические исследования цементных систем твердения в присутствии техногенного карбоната кальция, являющегося побочным продуктом производства минеральных удобрений (в контексте снижения себестоимости производства самоуплотняющихся бетонов).

Ключевые слова: система твердения, цемент, техногенный карбонат кальция, микроструктура.

Широкое применение в современном строительстве самоуплотняющихся бетонных смесей во многом сдерживается их более высокой себестоимостью и более сложной технологией производства, связанной с многокомпонентным составом. Одним из возможных путей снижения себестоимости производства бетонных смесей является использование отходов промышленного производства [1].

В работах [2] рассмотрена с реологических позиций возможная замена природного сырья - известняковой муки на минеральный наполнитель (тонкодисперсный порошок) конверсионный мел - отход производства минеральных удобрений АО «Минудобрения» г. Россошь (за 20 лет в отвалах накопилось около 6 млн. тонн конверсионного мела - техногенного карбоната кальция).

По своей сути конверсионный мел представляет карбонат кальция ($CaCO_3$ – 95 %). Примесями являются ~3% аммонийных соединений, соединения Sr (1,38%), P_2O_5 (0,58%) и SiO_2 (0,49%), SO_4 (< 0,1%).

Проблемным вопросом является возможность изменения микроструктуры твердеющего цементного камня в присутствии техногенного карбоната кальция. Такая возможность обусловливается следующими вероятными факторами:

- техногенный карбонат кальция в тонкодисперсном состоянии может являться дополнительным центром кристаллизации в цементно-водной системе;

- химико-минералогическое сродство карбоната кальция с формирующимися при гидролизе и гидратации клинкерных минералов портландцемента гидросиликата кальция может приводить к образованию новых гидратных

соединений;

- частицы техногенного карбоната кальция могут заполнять микропоры цементного камня, повышая его плотность.

Для подтверждения данной гипотезы в лаборатории ЦКП ВГТУ были выполнены дифрактометрические исследования (рентгеновский дифрактометр ARL X'TRA) микроструктуры твердеющих цементных систем в присутствии техногенного карбоната кальция в возрасте 1, 3 и 7 суток.

Подход к исследованиям опирался на сформировавшиеся в современной науке представления о стадийных процессах твердения цемента. На первой и второй стадиях, по Ребиндеру П.А. [3], наблюдается пептизация частиц и формирование коагуляционной структуры с восстанавливающимися контактами между частицами твердой фазы. Цементная система находится в пластичном состоянии, которое характеризуется реологическими параметрами. На третьей стадии формируется кристаллизационная структура с необратимыми фазовыми контактами и система находится в состоянии, которое характеризуется сопротивлением разрушающей нагрузке и деформативностью.

В ходе экспериментальных исследований подтверждена многоплановая роль частиц техногенного карбоната кальция в формировании структуры цементного камня: заполняют пространство микропор, тем самым повышая плотность цементной системы; являются дополнительными центрами кристаллизации, ускоряя процессы твердения цемента; участвуют в химических реакциях образования новой фазы, обеспечивая формирование кристаллических сростков отличающегося состава.

Литература

1. Чернышов Е.М., Акулова И.И. Строительно-технологическая утилизация многотоннажных отходов отраслей промышленности как основа формирования чистой биотехносферно-совместимой региональной среды // В сборнике: Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт Материалы 6-ой Международной научно-практической конференции, посвящённой 40-летнему юбилею Института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ. 2019. С. 85-89.

2. Коротких Д.Н., Погорелова Ю.В. Явные реологические свойства обводненных систем техногенного карбоната кальция и известняковой каменной муки // В сборнике: Альтернативная и интеллектуальная энергетика Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 264-267.

3. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур. М., «Наука», 1966, с.3-16.

УДК 536.4

САМОВОЗГОРАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ КАК ОДНА ИЗ ПРИЧИН ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ

А.М. Зайцев[1], О.Б. Кукина[2], А.В. Звягинцева[3], Е.В. Хорохорин[4]
[1]Канд.техн. наук, доцент, zaitsev856@yandex.ru
[2]Канд.техн. наук, доцент, u00136@vgasu.vrn.ru
[3]Канд.техн. наук, доцент zvygincevaav@mail.ru
[4]Студент, egor.horohorin@yandex.ru
[1,2,3,4]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе акцентируется внимание на возможное самовозгорание скоплений органических материалов, как одной из причин возникновения природных ландшафтных пожаров, определяются теплофизические и погодные условия их возникновения.

Ключевые слова: самовозгорание органических материалов, лесной опад, сено, торф, температурный и влажностный режим, условия теплообмена, тление, пожар.

Ущерб от пожаров в нашей стране, как и в других развитых странах, составляет примерно 1% ВВП. Значительные потери наносят лесные и ландшафтные пожары.

Нами обращается внимание на такие природные явления как грозовая активность (в том числе и «сухие грозы») и самовозгорание органических материалов растительного происхождения, склонных к микробиологическому самонагреванию и самовозгоранию. Сено склонно к микробиологическому самовозгоранию, температура самонагревания составляет 70 ºС; температура тления составляет 204 ºС, а температура самовоспламенения 333 ºС. На рис. 1 и 2 изображены образования скоплений органических материалов различного происхождения и определенной толщины (торфа, лесного опада, сухой травы, опилок и др.) в природных условиях, которые приводят к микробиологическому самовозгоранию или тепловому самовозгоранию горных выработок и торфа.

Рис. 1. Самовозгорание террикона

Рис. 2. Самовозгорание торфа под слоем почвы

В Воронежской области в начале зимы после выпадения снега возникло самовозгорание лесного опада (хвои). Это обнаружил лесник в процессе обхода участка. Возгорание происходило вследствие снятия снежного покрова и поступления кислорода. Загорелась лесная подстилка [2].

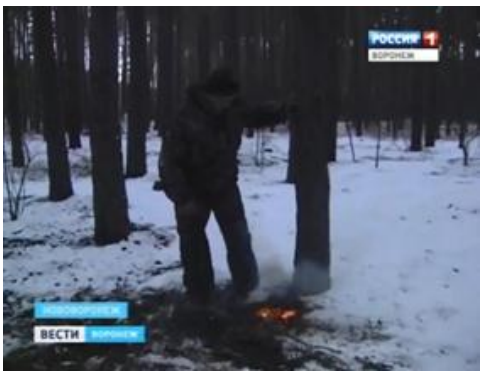


Рис. 3. Самовозгорание лесного опада (хвои) [2]

Рис. 4. Лесная подстилка [2]

При окислении и разложении органического вещества происходит выделение энергии в результате экзотермической реакции [3].

Наиболее близким по теплофизическим показателям к лесному опаду (хвои) относится сено и сосновые опилки (таблица).

Теплофизические показатели органических лесных материалов

Наименование материала	Температура самонагревания, ºС	Температура самовоспламенения, ºС
Опилки сосновые (влажность 30-40%)	80 ± 5	230 ± 5
Сено (влажность 7,5 %)	70 ± 5	204 ± 5
Хлопок	60 ± 5	205 ± 5

Зная теплофизические показатели органических лесных материалов и химические процессы самовозгорания устанавливаются причины возникновения ландшафтных пожаров, которые также связаны с жизне-деятельностью термофильных бактерий. Для описания процессов самонагревания и самовозгорания применяются математические методы планирования и определения минимальной толщины слоя лесного опада, времени вероятного возникновения самовозгорания. Это позволяет вовремя прогнозировать возможные ландшафтные пожары и планировать проведение противопожарных мероприятий с использованием цифровых технологий.

Литература

1. Горшков В.И. Самовозгорание веществ и материалов. - М.: ВНИИПО МЧС РФ, 2003.-446 с.

2. Лесники озадачены природным явлением: лесная подстилка горит под снегом/ ГТРК "Воронеж" [Электронный ресурс]. – Электрон. катал. – 2016. – Режим доступа. – http://www.vesti.ru/doc.html?id=2171191&cid=17.

3. Зайцев А.М. К вопросу возникновения лесных пожаров вследствие самовозгорания лесной подстилки / А.М. Зайцев, С.В. Губский // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2016. № 4(21). – С. 22-29.

УДК 537.9

СИНТЕЗ ПЛЕНОК Cu_2SnS_3 ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ФОТАКТИВНОГО СЛОЯ В УСТРОЙСТВАХ ФОТОЭЛЕКТРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

А.В.Буданов[1], Ю.Н. Власов[2], Г.И. Котов[3], Е.В. Руднев[4]
[1] Д-р физ.-мат. наук, профессор, budanova9@gmail.com
[2] Канд. физ.-мат. наук, доцент, youramail@mail.ru
[3]Д-р физ.-мат. наук, профессор, giktv@mail.ru
[4] Канд. физ.-мат. наук, доцент, rudneff@mail.ru
[1-3] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»
[4] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

В данной работе предложен способ изготовления пленок соединения Cu_2SnS_3, актуального для применения в устройствах солнечных элементов. Двухстадийная методика синтеза включает напыление металлического слоя из меди и олова заданного состава с последующим отжигом в парах серы. Методами рентгеноспектрального микроанализа и рентгенофазового анализа показана возможность синтеза однородного по фазовому составу слоя соединения Cu_2SnS_3.

Ключевые слова: солнечные элементы, тонкие пленки, сульфиды.

В последние годы возрос интерес исследователей по всему миру к тройной системе Cu-Sn-S для создания фоточувствительных полупроводниковых слоёв p-типа проводимости в тонкопленочной технологии солнечных элементов (СЭ). В частности прямозонное соединение Cu_2SnS_3 представляется многообещающим благодаря его низкой токсичности, высокому показателю поглощения света в видимом диапазоне длин волн (порядка 10^5 см$^{-1}$), более простой технологии синтеза, чем широко исследованные в настоящее время пятикомпонентные соединения кестеритов типа $Cu_2ZnSn(Se,S)_4$, на основе которых не удается создать СЭ с КПД выше 13 % [1].

Детали технологии синтеза плёнок тройного соединения Cu_2SnS_3 с использованием графитовой камеры квазизамкнутого объёма изложены в работе [2]. В данной работе исследовались свойства и условия формирования однородных по фазовому составу слоёв соединения Cu_2SnS_3 на различных подложках – на стеклянной подложке, на стеклянной подложке с полученным методом спрей-пиролиза слоем оксида индия-олова ITO n-типа проводимости, на металлической молибденовой подложке Mo. Выбор объектов исследования определялся возможностью дальнейшего перехода к технологии СЭ с p-n-переходом, в качестве p-слоя предполагается использовать плёнку Cu_2SnS_3. Формирование слоя сульфида на поверхности ITO позволяет изготовить гетеропереход типа p-Cu_2SnS_3/n-ITO, освещение в этом случае может поступать со стороны прозрачного для видимого света слоя ITO. Использование в качестве подложек металлического Mo предполагается для создания структур типа n-ZnS/p-Cu_2SnS_3/Mo с возможностью освещения со стороны ZnS.

В экспериментах для синтеза сульфида состав исходного металлического слоя прекурсора из меди и олова Cu:Sn варьировался от 2 до 1,8 в атомных долях. Для соотношения Cu:Sn от 1,8 до 1,9 в исходной металлической плёнке для всех типов подложек удается сформировать однородный по фазовому составу слой сульфида без примесей вторичной фазы узкозонного полупроводника Cu_2S, наличие которого в синтезированном слое существенно снижает его удельное сопротивление. Появление избытка меди в результате высокотемпературного (выше 420°C) отжига прекурсора в парах серы объясняется в литературе эффектом испарения с поверхности растущей пленки сульфидов олова [3]. Этот эффект удаётся компенсировать с одной стороны снижением содержания меди в составе прекурсора, а с другой стороны повышением давления паров серы над слоем растущей плёнки до уровня ~ 0,2 ÷ 0,3 мм.рт.ст., что достигается простым увеличением температуры источника серы в условиях камеры квазизамкнутого объёма. Кроме того, при увеличении давления паров серы увеличивается скорость протекания химической реакции сульфуризации, что позволяет несколько снизить температуру подложки (до 420°C) в процессе отжига и обеспечить более равновесные условия протекания физико-химических процессов в синтезируемом слое сульфида, что делает его однородным как по фазовому составу, так и по морфологии поверхности. Данный результат согласуется с теоретическими изысканиями оптимальных условий роста соединения Cu_2SnS_3, проведёнными в работе [4].

Таким образом, описанная выше двухстадийная технология изготовления однородных по фазовому составу пленок соединения Cu_2SnS_3 представляется полезной для формирования фотоактивных слоев СЭ.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-32-00971 - мол_а.

Литература

1. Reddy V. R. M. Review on Cu_2SnS_3, Cu_3SnS_4, and Cu_4SnS_4 thin films and their photovoltaic performance / V. R. M. Reddy et al. // Journal of Industrial and Engineering Chemistry - 2019. - V. 76. - Pp. 39–74.

2. Budanov A. V. Synthesis of a Cu_2SnS_3 ternary compound by thermal annealing of a metal layer in sulfur vapor / A. V. Budanov et al. // Journal of Physics: Conference Series - 2019. - V. 1347. - P. 012105.

3. Pallavolu M. R. Effect of sulfurization temperature on the phase purity of Cu_2SnS_3 thin films deposited via high vacuum sulfurization / M. R. Pallavolu et al. // Applied Surface Science - 2018. - V. 462. - Pp. 641-648.

4. Guan P.-W. Phase stability of the Cu-Sn-S system and optimal growth conditions for earth-abundant Cu_2SnS_3 solar materials/ P.-W. Guan et al. // Solar Energy - 2017. - V. 155. - Pp. 745-757.

УДК 629.734

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

В.В. Приходько[1], А.М. Литвиненко[2]
[1]Студент, vi.ameli.u@gmail.com
[2]Д-р тех. наук, профессор, litvinenko@eauts.vorstu.ru
[1,2]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе был произведен сравнительный анализ современных концепций и методов планирования полета беспилотных летательных аппаратов, в частности, квадрокоптеров, и используемых принципов для реализации ручного режима управления полетом

Ключевые слова: квадрокоптер, тепловизор, мостики холода, БПЛА.

Повышение интереса к беспилотным летательным аппаратам (БПЛА) вызвано их успешным применением при решении задач в различных областях человеческой деятельности. Одной из ключевых проблем в области градостроения является наличие температурных мостов холода, которые значительно снижают эффективность термозащиты здания и срок его эксплуатации. Это рождает необходимость разработки эффективной системы поиска таких участков.

Для решения этой проблемы была выбрана концепция использования БПЛА и тепловизора, к которой были предъявлены следующие требования: дешевизна; высокая эффективность; простота использования; малые габариты.

В связи с этим был проведен анализ рынка необходимых для реализации проекта компонентов, в ходе которого были выбраны соответствующие заданным требованиям модели.

При сравнении систем управления (СУ) было определено, что неавтономная СУ является оптимальной для решения задачи по поиску мостиков холода внутри помещения.

В ходе работы была выработана концепция способа поиска температурных мостов удовлетворяющая заданным требованиям и рассмотрены возможные пути её реализации.

Литература

1. Kanatnikov A. N., Akopyan K. R., «Control of the plane motion of a quadrocopter», Mathematics and Mathematical Modeling, 2015, no. 2, s. 23–36.

2. V.P. Vavilov, A.N. Aleksandrov. Infrared thermographic diagnostics in construction and energy. - M.: NTF «Energoprogress» 2003. - 76 s.

УДК 621.341.572

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫБОРА БЛИЖАЙШЕГО ВЕКТОРА И ВЕКТОРНОЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ В УПРАВЛЕНИИ ТРЕХФАЗНЫМ МНОГОУРОВНЕВЫМ ИНВЕРТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ

Н.Н. Лопаткин
Канд. техн. наук, доцент, nikolay_lopatkin@mail.ru
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет имени В.М. Шукшина»

В работе решается задача управления многоуровневым инвертором напряжения на базе единого подхода, оперирующего со значениями целых и дробных частей относительных величин линейных напряжений задания и позволяющего сочетать использование пространственно-векторного управления с выбором ближайшего вектора и низкочастотной пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции с четвертьволновой симметрией выходных напряжений, применяя одну из указанных техник в зависимости от диапазона значений коэффициента амплитудной модуляции для получения выходной энергии наилучшего из двух альтернатив качества при малых динамических потерях в силовых полупроводниковых ключах.

Ключевые слова: многоуровневый инвертор напряжения, пространственно-векторное управление с выбором ближайшего вектора, пространственно-векторная широтно-импульсная модуляция.

При увеличении числа уровней многоуровневых инверторов напряжения (МУИН), связанном с необходимым ростом их выходных напряжений и токов, высокое качество последних достижимо без увеличения частоты переключений силовых ключей. В качестве возможных решений выступают как пространственно-векторное управление с выбором ближайшего вектора (ПВУ) [1], так и низкочастотная пространственно-векторная широтно-импульсная модуляция (ПВШИМ).

Комбинированное использование двух альтернатив, ПВУ и ПВШИМ, возможно в рамках единого подхода, оперирующего значениями целых и дробных частей отсчетов относительных величин линейных напряжений задания и реализующего двухкомпонентное формирование двух линейных напряжений. В отдельности именно таким образом были реализованы ПВШИМ с четвертьволновой симметрией выходных напряжений (ЧВС-ПВШИМ) [2] и новый алгоритм реализации выбора ближайшего вектора, без хранения данных в поисковых таблицах.

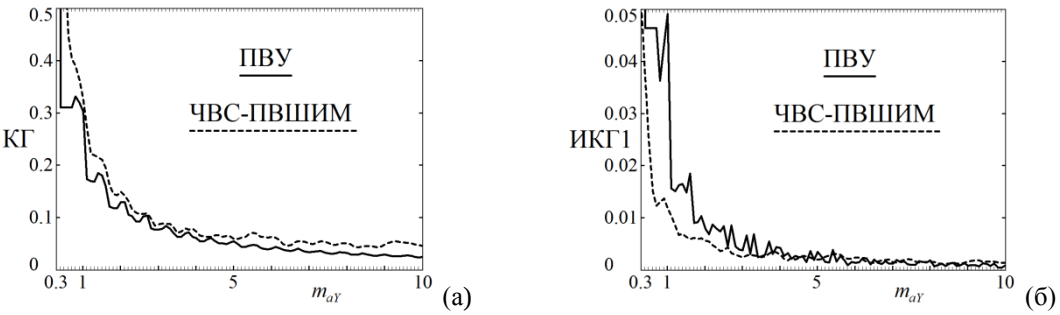
Два линейных напряжения генерируются следующим образом:

$$u^*_{EXExy}(t) = \lfloor u^*_{REFxy}(t) \rfloor + f_{EXExy}(t),$$

где $u^*_{EXExy}(t)$ - относительное мгновенное значение выполняемого линейного напряжения u_{xy}, $u^*_{xy} = \dfrac{u_{xy}}{U_{\text{d}}}$, U_{d} - единичный уровень питания (шаг по величине линейного напряжения), $u^*_{REFxy}(t)$ - относительное мгновенное значение

задаваемого синусоидального линейного напряжения, $f_{EXExy}(t)$ - импульсная функция, принимающая значения 0 или 1 в зависимости от числовых и логических условий в каждом из алгоритмов [2].

Проведены сравнения зависимостей коэффициента гармоник (КГ) и интегральных коэффициентов гармоник (ИКГ) [4] младших порядков (n=1, 2, 3), полученных моделированием кривых выходного напряжения МУИН при ПВУ с высокой частотой отсчетов, но малой частотой переключений и при ЧВС-ПВШИМ (при малых частотах отсчетов и переключений) от коэффициента амплитудной модуляции фазного напряжения m_{aY}. Выявлены диапазоны m_{aY} для использования каждой из двух данных техник по условиям минимизации значений КГ (для случая чисто активной нагрузки) и ИКГ (для случаев схем замещения обобщенной нагрузки, имеющих соответствующий порядок n=1, 2, 3). В частности, на всем интервале $1/3 < m_{aY} \le 10$ значения КГ ниже при использовании ПВУ, однако по значениям ИКГ порядка n=1 (ИКГ1) ПВУ проигрывает ЧВС-ПВШИМ при малых значениях коэффициента m_{aY}, например, при отношении частоты отсчетов к выходной частоте $m_f = 30$ это имеет место в диапазоне $m_{aY} \le 4{,}9$ (рисунок).



Зависимости КГ (а) и ИКГ1 (б) от коэффициента амплитудной модуляции

Таким образом, может быть просто реализован обеспечивающий малые потери на переключение вентилей обобщенный алгоритм, минимизирующий заданный параметр выходного напряжения МУИН (КГ или один из ИКГ) и, тем самым, КГ выходного напряжения или тока соответствующей нагрузочной цепи МУИН.

Алгоритм, как и его компоненты, пригоден для МУИН любой схемной конфигурации и любого количества равных выходных уровней.

Литература

1. Rodriguez J., Moran L., Correa P., Silva C. A Vector Control Technique for Medium-Voltage Multilevel Inverters // IEEE Trans. on Industrial Electronics. – 2002. – Vol. 49. – No. 4. – Pp. 882–888.

2. Lopatkin N.N. Simple Space Vector PWM Scheme with Quarter-Wave Symmetric Output Voltage Waveform for Three-Phase Multilevel Inverter // Proc. Multi-Int. Conf. on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). – 2017. – Pp. 433–438.

УДК 620.92

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ В АВИАЦИИ

А.П. Воронин[1], В.В. Рыжков[2], В.В. Самохвалов[3]
[1]Студент, antokha.voronin@mail.ru
[2] Канд. техн. наук, доцент, rizhkov-11@yandex.ru
[3] Канд. техн. наук, доцент, samohvalov-vv@yandex.ru
[1,2,3] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе представлено современное состояние разработок летательных аппаратов использующих энергию солнца. Проведен обзор проблем, возникающих при создании экспериментальных образцов самолетов.

Ключевые слова: солнечная энергия, летательный аппарат, дирижабль, самолет.

Идею о преобразовании солнечной энергии в поступательное движение летательного аппарата выдвинул К. Э. Циолковский, предполагая применение термоэлектрических батарей. На современном этапе развития преобразователей энергии больший успех достигается с использованием фотоэлектронных устройств.

В настоящее время идет подготовка к испытаниям стратосферного дирижабля на солнечной энергии STRATOBUS, для использования совместно со спутниками дистанционного зондирования Земли [1]. Stratobus функционирует на высоте 12,5 км, энергия получает от солнечных панелей, а также использует концентратор солнечной энергии внутри корпуса и обратимый топливный элемент. Хранение энергии для использования в ночное время осуществляется в инновационных сверхлегких элементах питания. Дирижабль имеет длину 100 м и диаметр 30 м, грузоподъемность 200 кг.

Другое направление разработок – это летательные аппараты (ЛА) тяжелее воздуха. В настоящее время известен целый ряд аппаратов использующих энергию солнца [2]. Использование возобновляемого источника энергии позволяет достичь высокой автономности полета. Но при проектировании (ЛА) возникает комплекс взаимосвязанных проблем [3].

Так, зависимость энергообеспечения от освещенности приводит к необходимости применения аккумуляторных батарей для запасания энергии на ночной полет. Статистика относительных масс самолетов с использованием солнечной энергии показывает, что 25% составляет масса аккумуляторных батарей, запасенная энергия которых используется для ночного полета [4]. Эффективно нахождение ЛА выше облаков. При этом высоки требования к отсутствию запыленности атмосферы, приводящей к значительному снижению энергоотдачи солнечных батарей, восстановить которую возможно лишь в ходе технического обслуживания.

Низкий КПД фотоэлектрических преобразователей ужесточает требования к экономичности движителя, требует увеличения площади поверхности для

размещения солнечных батарей, повышает требования к весовым характеристикам ЛА и к экономичности полета.

При этом установка дублирующего бензинового двигателя, например, на пилотируемом электросамолете Elektra One Solar, существенно ухудшает экономико-весовые показатели ЛА [2].

Повышенные требования к экономичности полета обусловили повсеместное применение самолетной схемы, стремление к обеспечению лучшей освещенности элементов –применение схемы высокоплан.

Экономически эффективны ЛА с малой потребляемой мощностью, а значит с малыми скоростями полета, высоким аэродинамическим качеством, большим удлинением крыла, малой нагрузкой на крыло и, вследствие этого имеющие большую потребную площадь крыла [4].

Увеличенная площадь поверхности вкупе с пониженными весовыми характеристиками приводит к низкой устойчивости аппарата от воздействий нестабильной атмосферы и повышает требования к динамической прочности конструкции, приводящие к преимущественному применению гибкого крыла, гасящего динамические воздействия.

Таким образом, существующие ЛА с солнечной энергетикой являются воплощением передового опыта авиаконструирования.

Литература

1. Ивченко Б.А., Мазур С.Н., Хмель Д.С. Стратосферный дирижабль-демонстратор на солнечной энергии // Идеи К.Э. Циолковского в контексте современного развития науки и техники Материалы 53-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. 2018. С. 209-210.

2. A. Noth. Design of solar powered airplanes for continuous flight/ Ph.D. dissertation, ETH, Switzerland, 2008.

3. Самойловский А.А., Лисейцев Н.К., Брусов В.С., Комаров В.А. Оценка необходимого уровня весового совершенства конструкции планера беспилотных летательных аппаратов с силовой установкой на солнечной энергии / Полет. Общероссийский научно-технический журнал. 2017. № 6. С. 10-16.

4. Лисейцев Н.К., Самойловский А.А. Современное состояние, проблемы и перспективы развития самолетов, использующих солнечную энергию для полета / Труды МАИ. 2012. № 55. С. 11.

УДК 542.06

СОЛЬВОТЕРМАЛЬНО-МИКРОВОЛНОВЫЙ СИНТЕЗ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ $Bi_2Te_{2.7}Se_{0.3}$, ЛЕГИРОВАННЫХ САМАРИЕМ

М.Н.Япрынцев[1], О.Н. Иванов[2], А.Е. Васильев[3], М.В. Жежу[4]
[1]Канд. физ.-мат. наук, yaprintsev@bsu.edu.ru
[2]Д-р физ.-мат. наук, профессор, ivanov.oleg@bsu.edu.ru
[3]Аспирант, 748070@bsu.edu.ru
[4]Аспирант, 1214239@bsu.edu.ru
[1,2,3,4] ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», НИУ «БелГУ»
[2] ФГАОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова»»

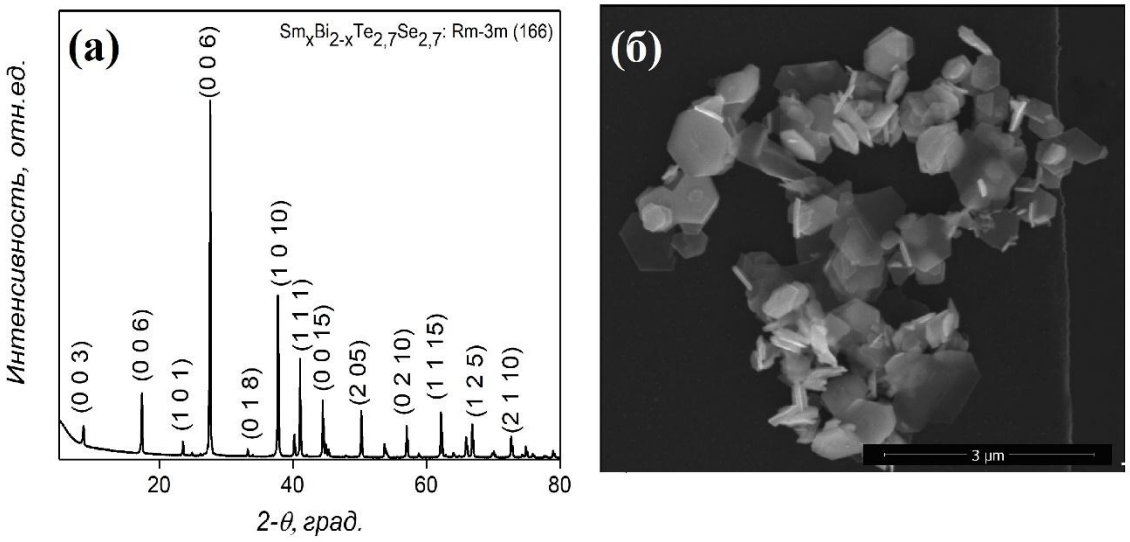
В данной работе приводится способ получения твердых растворов термоэлектрических соединений $Bi_2Te_{2.7}Se_{0.3}$ легированных самарием (Sm). Порошки получаемых соединений были аттестованы методами сканирующей электронной микроскопии, рентгеновской порошковой дифракции.

Ключевые слова: термоэлектрические материалы, сольвотермально-микроволновый синтез, легирование, редкоземельные элементы.

Термоэлектрические материалы осуществляют прямое преобразование тепловой энергии в электрическую энергию. Эффективность такого преобразования характеризуется термоэлектрической добротностью, которая является безразмерной величиной и определяется как $ZT = (S^2/\rho k)T$, где T, S, ρ и k есть абсолютная температура, коэффициент Зеебека, удельное электрическое сопротивление и полная теплопроводность [1]. В настоящее время теллурид висмута, Bi_2Te_3, и сплавы на его основе, являются лучшими полупроводниковыми материалами для низкотемпературных термоэлектрических применений [2]. Легирование различными элементами является одним из самых эффективных и часто используемых способов для улучшения термоэлектрической эффективности теллурида висмута [3].

Сольвотермально-микроволновым методом были синтезированы порошки состава $Bi_{2-x}Sm_xTe_{2.7}Se_{0.3}$ (где x=0; 0,005; 0,01; 0,02; 0.05). Для осуществления синтеза была использована лабораторная микроволновая система MARS 6. Для проведения реакции прекурсоры элементов растворяли в 80 $см^3$ этиленгликоля, с добавлением 5 г гидроксида калия и 1 г N-поливинилпирролидон, в качестве поверхностно-активного соединения. Полученный прозрачный раствор помещался в тефлоновый сосуд объемом 100 $см^3$, нагревался до температуры 180 $^{\circ}C$ и выдерживался при этой температуре в течение 15 мин. Полученные порошки отфильтровывали, промывали этиловым спиртом, сушили на воздухе при температуре 60 ºС.

Методом рентгенофазового анализа (рисунок (а)) было установлено, что синтезированный порошок является однофазным и имеет кристаллическую решетку, характерную для Bi_2Te_3 (пространственная группа симметрии R-3m).



Типичная рентгеновская дифрактограмма (а) и СЭМ-изображение (б) порошкообразного материала состава $Bi_{2-x}Sm_xTe_{2.7}Se_{0.3}$ где x=0; 0,005; 0,01; 0,02; 0.05

Методом сканирующей электронной микроскопии было показано, что синтезируемый порошок представлен пластинками с формой близкой к гексагональной (Рисунок (б)) со средним диаметром 600 нм и толщиной 60 нм. Также методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDAX) был исследован элементный состав полученных материалов. Установлено, что элементный состав всех порошкообразный материалы соответствует заданному ($Bi_{2-x}Sm_xTe_{2.7}Se_{0.3}$ где x=0; 0,005; 0,01; 0,02; 0.05).

В данной работы были получены легированные материалы заданного состава уже на стадии синтеза порошка.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-03-00672.

Литература

1. Snyder G.J. Complex Thermoelectric Materials /G.J. Snyder, E.S. Toberer //Nat. Mater. – 2008 – Vol.7. – P. 105-114.

2. Mahan G. Thermoelectric Materials: New Approaches to an Old Problem /G. Mahan, B. Sales, J. Sharp // Phys. Today. - 1997 – Vol.50. – P. 42-47.

3. Duan X.K. Microstructure and thermoelectric properties of Bi0.5Na0.02Sb1.482-xInxTe3 alloys fabricated by vacuum melting and hot pressing / X.K. Duan, K.G. Hu, D.H. Ma, W.N. Zhang, Y.Z. Jiang, S.C. Guo // Rare Met. – 2015. – Vol.34. – P.770 - 775.

УДК 539.26

СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНОЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ $(SnO_2/C)_n$

И.В.Бабкина[1], А.В.Ситников[2], С.Ю. Панков[3], В.А.Макагонов[4], О.И.Ремизова[5], Д.Н.Мосолов[6]
[1]Канд. физ.-мат. наук, доцент, ivbabkina@mail.ru
[2]Д-р физ.-мат. наук, профессор, sitnikov04@mail.ru
[3]Инженер, srgpank@mail.ru
[4]Канд. физ.-мат. наук, доцент, vlad_makagonov@mail.ru
[5]Канд. физ.-мат. наук, доцент, oxana.remizova@gmail.com
[6]Студент, mosolov.dmitry46@gmail.com
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Россия

В работе получена многослойная пленка $(SnO_2/C)_{77}$ с различными толщинами слоев. Исследована структура и фазовый состав пленки в исходном состоянии и после термической обработки. Рассмотрено влияние термообработки на электрические свойства образцов.

Ключевые слова: широкозонный оксидный полупроводник, рентгеновская дифракция, толщина бислоя, области когерентного рассеивания.

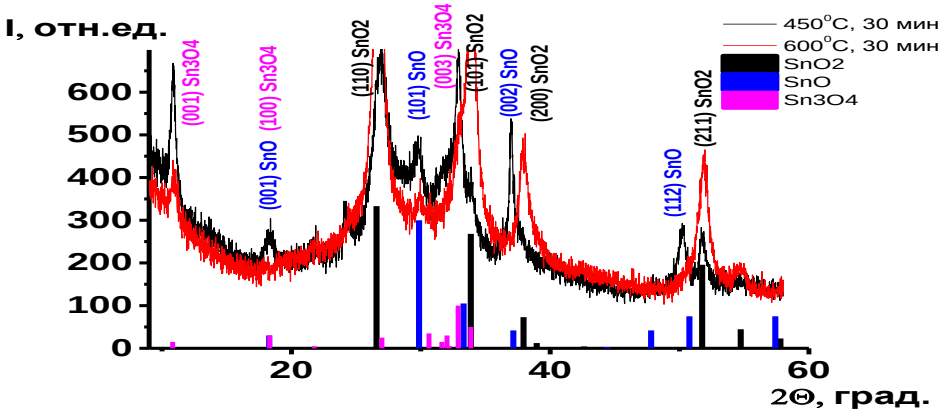
Широкозонные оксидные полупроводники являются основными функциональными материалами для резистивных газовых сенсоров. Нанокристаллическая структура оксида является необходимым условием высокой сенсорной чувствительности оксида олова. Многослойная пленка $(SnO_2/C)_n$ с наноразмерными толщинами слоев, где углерод имеет ограниченную растворимость в оксиде олова (до 1 ат. %), может быть хорошим объектом для создания стабильных нанокристаллических функциональных покрытий после процесса рекристаллизации образцов.

Образцы получены методом ионно-лучевого распыления двух мишеней (диоксида олова и углерода) на вращающуюся подложку из монокристаллического кремния. Для равномерного изменения толщины пленки между мишенью и подложкой размещался V – образный экран. Пленка многослойной гетерогенной структуры состояла из 77 бислоев. Толщина пленки изменялась от 54 нм до 270 нм в зависимости от расположения подложки относительно мишени. Структура пленок в исходном состоянии и после отжигов в вакууме в интервале температур от 300 ^{0}C до 600 ^{0}C с шагом 50^{0}C в течение 30 мин. изучалась методом рентгеновской дифракции в интервале двойного брегговского угла $2\theta=2^0$-60^0.

Дифрактограммы пленок $(SnO_2/C)_{77}$ в исходном состоянии соответствовали рентгеноаморфной структуре. Для малоугловой рентгеновской дифракции максимумы выявлены только в пленках, которые имеют толщину h больше 0,165 мкм, что можно интерпретировать, как наличие многослойной структуры пленок. В образцах с h=0,87 мкм и 0,053 мкм малоуглового дифракционного максимума не наблюдалось.

Анализ рентгеновской дифракции от образца толщиной 0,245 мкм (толщина бислоя – 3,2 нм) после термообработки (ТО) показал, что процесс кристаллизации

начинается при температуре 450 ˚С с образованием кристаллитов трех оксидов: оксиды SnO_2 и SnO имеют тетрагональную структуру и оксид Sn_3O_4- триклинную структуру (рисунок). При увеличении температуры отжига до 600 ^{0}С в процессе рекристаллизации уменьшается объемная доля оксидов SnO и Sn_3O_4, тогда как фаза SnO_2 увеличивает свое весовое присутствие в пленке. В таблице по размерам областей когерентного рассеивания, оцененных по максимумам дифракции, принадлежащим различным фазам, определены изменения размеров зерен оксидов.



Рентгеновская дифракция от пленок $(SnO_2/C)_{77}$ после ТО

Размер областей когерентного рассеивания от фаз SnO_2, SnO и Sn_3O_4, пленки$(SnO_2/C)_{77}$ после термической обработки

Температура отжига, ˚С	Размер области когерентного рассеивания SnO_2, нм	Размер области когерентного рассеивания SnO, нм	Размер области когерентного рассеивания Sn_3O_4, нм
450	-	19,9	~ 10
500	7,7	6,2	-
550	10,4	<5	-
600	11,9	-	-

Малоугловые зависимости рентгеновской дифракции от пленок $(SnO_2/C)_{77}$ с толщиной бислоя 3,2 нм, подвергнутых термообработке при различных температурах, показали, что при температуре кристаллизации многослойная структура образцов разрушается. Наиболее важным отличием многослойных структур оксида олова с прослойками углерода от гомогенных пленок является образование кристаллитов непредельных оксидов при кристаллизации образцов. Также выявлено некоторое увеличение температуры кристаллизации с 400 ^{0}С до 450^{0}С в многослойных пленках. После отжигов вплоть до 600 ^{0}С в системах с присутствием С наблюдается более мелкий размер кристаллитов Sn-O, что может быть связано с уменьшением скорости рекристаллизации пленки $(SnO_2/C)_{77}$ из-за повышенной концентрации атомов С в межкристаллитном пространстве (отдельной углеродсодержащей фазы не выявлено). После отжига при 600^{0}С в течение 30 мин. кривые ρ(T) характеризуются зависимостью ln(ρ(T))~T, характерной для термоактивированной проводимости в полупроводниках.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки в рамках государственного задания (проект № FZGM-2020-0007).

УДК 676.056.5

СУШИЛКА ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ ТЕРМОЛАБИЛЬНЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

А.Н. Борисов[1], В.И. Лукьяненко[2], Г.Н. Мартыненко[3], А.В. Исанова[4]
[1]Студент, taty5555@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, lukyanenko1@yandex.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, glen2009@mail.ru
[4]Канд. техн. наук, доцент, a.isanova@bk.ru
[1,2,3,4] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе приведена сушильная установка с псевдоожиженым слоем термолабильного мелкозернистого материала зарегистрированная заявкой на изобретение № 2019110796. Выполнен примерный тепловой и конструктивный расчет сушильной установки производительностью, широко используемой альтернативной мобильной сушильной установки для сельскохозяйственных культур выпускаемой Воронежским предприятием и разработана программа её расчёта.

Ключевые слова: сушильная установка, псевдоожиженный слой, термолабильный материал, сушильный агент, пшеница.

Зарегистрированная в федеральной службе по интеллектуальной собственности заявка на изобретение 2019110796 от 10.04.2019 имеет следующую конструкцию (рис. 1).

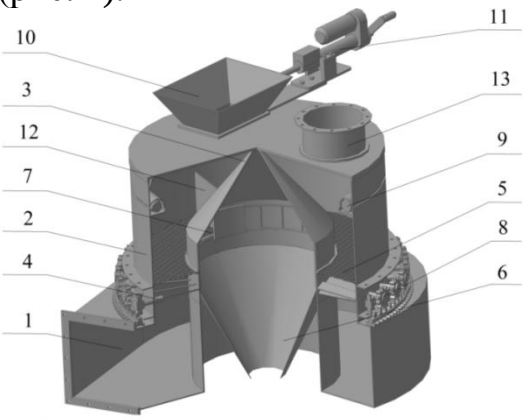


Рис. 1. Сушильная установка с псевдоожеженным слоем дисперсного материала: 1- газовая камера; 2- сушильная камера; 3- конус; 4 - газораспределительная решётка; 5- беспровальная решётка; 6- конусный жёлоб; 7- окно выгрузки высушенного материала из сушильной камеры; 8- привод регулировки угла наклона лопаток газораспределитьной решётки; 9- опорно-шарнирное устройство подвижности крышки сушильной камеры; 10- загрузочный бункер загрузки мелкозернистого материала для последующей сушки; 11- дозатор загрузки мелкозернистого материала; 12- перегородка; 13- выход отработанного сушильного агента

Представленная сушилка является изобретением, которое представляет интерес при осуществлении процесса сушки термолабильных сыпучих веществ и использует в технологическом цикле направленный перемеща-

ющийся кипящий слой. Такая конструкция сушильной установки представляет интерес для химической, пищевой и перерабатывающей отраслей промышленности, может использоваться при сушке зерна. Для изготовления предложенной сушильной установки возможно использование полимерных материалов и металлов, а технологично можно удешевить изготовление самой конструкции при помощи дешёвых методов. В данном случае речь о сгибании металла давлением или литьё полимеров. Материалы для производства сушилки выбираются исходя из их стоимости, простоты изготовления конструкции и максимальной безопасности во время эксплуатации. Безопасность крайне важна при сушке зерновых культур, так как процесс относится к пожаровзрывоопасным и находится в ведении инспекции Ростехнадзора. Предположительное её использование для сушки пшеницы послеуборочного периода перед отправкой на хранение на элеватор или для выполнения технологической переработки на мукомольных предприятиях. Алгоритм расчета параметров сушильной установки был разработан в программе PTC Mathcad Prime 6.0.0.0 на рис. 2.

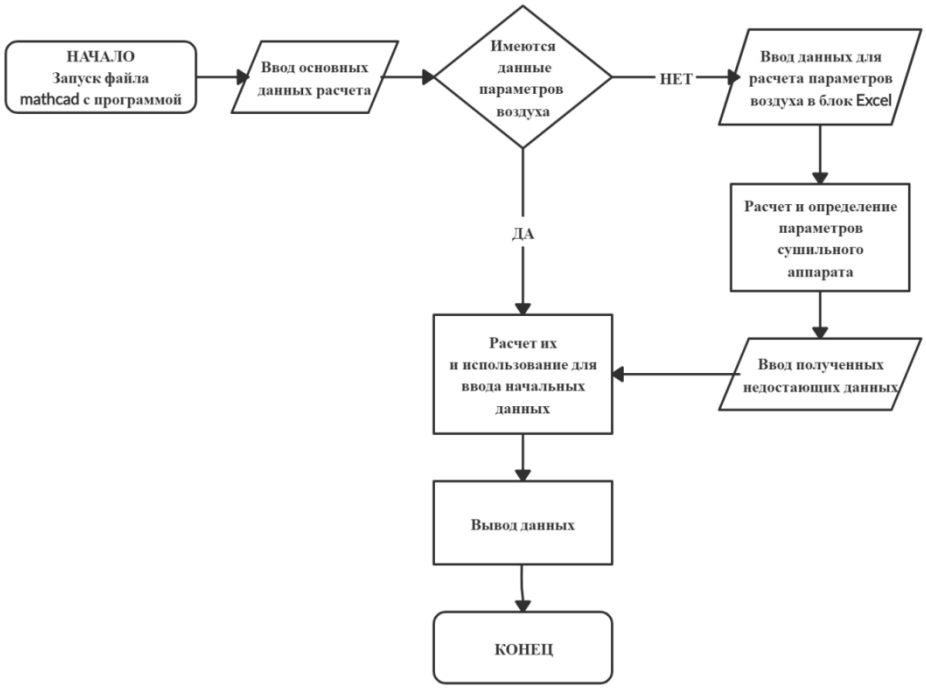


Рис. 2. Алгоритм расчета параметров сушильной установки

Литература

1. Заявка на изобретение №201910796 от10.04.2019 Федеральная служба по интеллектуальной собственности.

2. Акбаров Г.Б. Сушилка псевдоожиженного слоя термолабильных сыпучих материалов / Г.Б. Акбаров, Г.Н. Мартыненко, В.И. Лукьяненко // Физико-технические проблемы энергетики, экологии и энергоресурсосбережения. Труды 21 научно технической конференции. – Воронеж: ВГТУ, 2019. С. 21-24.

УДК 537.9

ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ Mg/ZrO_2

А. Н. Смирнов[1], О. В. Стогней[2]
[1]Аспирант, deadpunk@inbox.ru
[2]Д-р физ.-мат. наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе исследовано влияние температуры на электрическое сопротивление и морфологическую стабильность многослойной наноструктуры Mg/ZrO_2, состоящей из последовательно расположенных металлических (Mg) и диэлектрических (ZrO_2) слоёв наноразмерной толщины.

Ключевые слова: многослойная наноструктура, магний, материал-водородо-накопитель.

Использование водорода в качестве энергоносителя сопряжено с рядом проблем, одной из которых является проблема безопасного хранения и транспортировки водорода [1]. Возможным вариантом решения данной проблемы является создание многослойных наноструктур, состоящих из последовательно расположенных слоев нанометровой толщины химически активного металла и диэлектрика-катализатора. Используемые методы наводораживания предполагают нагрев материала до температур 150 - 450 ^{0}C, поэтому к многослойной структуре предьявляются жесткие требование по температурной стабильности. Исследованная ранее перспективная многослойная структура Mg/NbO оказалась нестабильной при нагреве: происходило окисление магниевых слоёв за счет распада оксида ниобия [2]. Чтобы исключить окисление магния в данной работе в качестве диэлектрика-катализатора был выбран более стабильный ZrO_2.

Получение многослойной структуры Mg/ZrO_2 осуществлялось методом ионно-плазменного распыления металлической (Mg) и диэлектрической (ZrO_2) мишеней и последовательным осаждением фаз на подложки [3]. Анализ результатов малоугловой рентгеновской рефлектометрии показал, что полученные пленки являются многослойными. Рентгеноструктурный анализ подтвердил предположение о формировании двух фаз: аморфных слоёв ZrO_2 и кристаллических слоёв Mg.

Температурные зависимости электросопротивления наноструктур Mg/ZrO_2 свидетельствуют о том, что независимо от толщины и морфологии слоёв магния (сплошные или островковые) структурных изменений в интервале 20-200 ^{0}C не происходит (рис.1). Это подтверждается рентгеноструктурными исследованиями. В структурах со сплошными слоями магния при нагреве в интервале 200 - 250 ^{0}C начинаются процессы рекристаллизации магниевых слоёв, что приводит к снижению сопротивления (рис. 1), но разрушения многослойной структуры не происходит (рис. 2). При более высоких

температурах в многослойных структурах со сплошными слоями Mg начинается окисление магния (появляются максимумы на рентгеновких дифрактограммах), что приводит к некоторому росту сопротивления, при этом наблюдается разрушение общей многослойности структур (рис. 2 а). Характерно, что в отличие от многослойных наноструктур Mg/NbO выделение металлической фазы из оксида (в данном случае - появление Zr) не обнаружено.

Подобный эффект не наблюдается в случае многослойных наноструктур с несплошными слоями Mg (рис. 2 б). В этом случае малоугловые и общие ренгеновские дифрактограммы, снятые до и после нагрева образцов имеют одинаковый вид, независимо от температуры отжига. Таким образом, в случае наноструктур с несплошными слоями Mg можно говорить о сохранении многослойности структуры вплоть до температуры 400 ^{0}C.

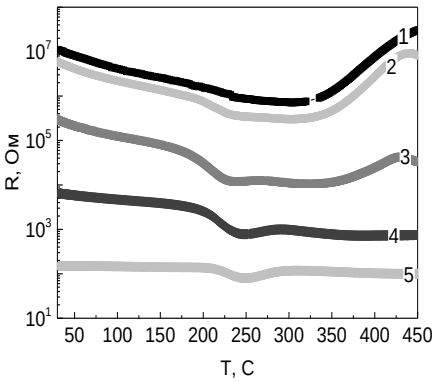


Рис. 1. Температурные зависимости сопротивления многослойной структуры (Mg/ZrO) для различных толщин бислоя: 1 – 4,7 нм , 2 – 4,9 нм , 3 – 5,5 нм , 4 – 6,3 нм , 5 – 8,2 нм

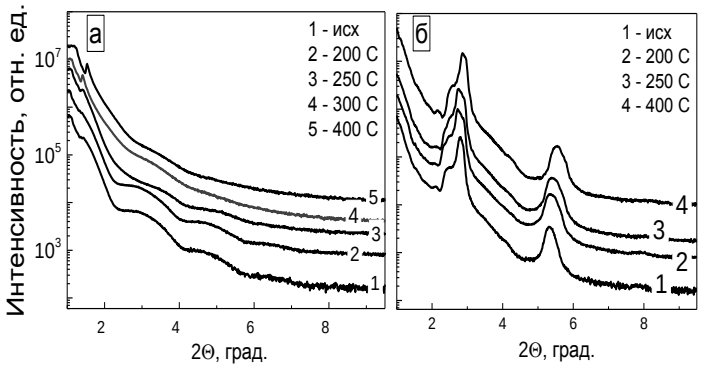


Рис. 2. Результаты малоугловой рентгеновской рефлектометрии многослойной структуры Mg/ZrO_2 в исходном состоянии и после отжигов: а - толщина бислоя 4,7 нм; б - толщина бислоя 8,2 нм

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки в рамках государственного задания (проект FZGM-2020-0007).

Литература

1. Д. Ю. Гамбург Водород. Свойства, получение, транспортирование, применение: Справ. изд./Д. Ю. Гамбург, В. П. Семенов, Н. Ф. Дубровкин, Л. Н. Смирнова; Под ред. Д. Ю. Гамбурга, Н. Ф. Дубровкина. - М.: Химия, 1989.-672с.

2. Стогней О.В. Термическая стабильность многослойной структуры Mg/NbO / О.В. Стогней, А.В.Ситников, А.Н.Смирнов, // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2017. Т. 13. № 6. С. 144 – 150.

3. Смирнов А. Н. Получение многослойных структур $(Mg/ZrO_2)_n$ / А. Н. Смирнов, О. В. Стогней, // Современные проблемы физики и технологий. VIII-я Международная молодежная научная школа-конференция, 15-20 апреля 2019 г.: Сборник тезисов докладов. Часть 1. М.: НИЯУ МИФИ, 2019.С. 291 - 292.

УДК 548.3: 539.25

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ДЕСОРБЦИИ ДЕЙТЕРИЯ ИЗ КОМПОЗИТОВ Ni–B

А.В. Звягинцева[1], А.Н. Морозов[2]
[1]Канд. физ.-мат. наук, доцент, zvygincevaav@mail.ru,
[2]Канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, morozov@kipt.kharkov.ua
[1]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
[2]Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Украина

Методом термодесорбционной масс-спектрометрии исследовались температурные диапазоны десорбции дейтерия из образцов никеля и композита никель-бор (1 мас.% бора) в зависимости от дозы имплантированного дейтерия.

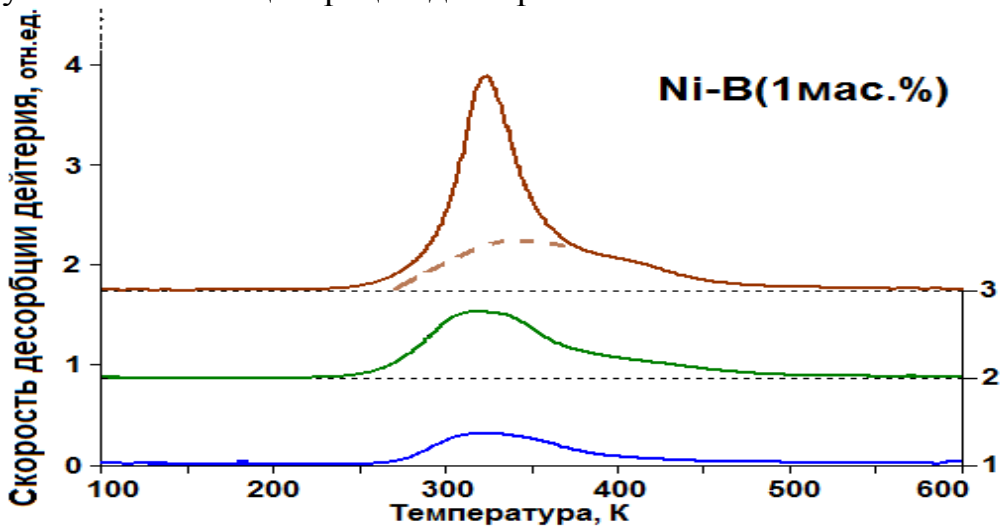
Ключевые слова: композит Ni-B, температура десорбции дейтерия, энергия активации десорбции, термодесорбция, имплантация.

Одной из ключевых проблем водородной энергетики есть поиск новых материалов, пригодных до металлогидридного хранения водорода. Такие материалы необходимы для решения фундаментальных задач разработки систем и технологий сохранения и транспортировки молекулярного водорода [1]. Особый интерес вызывают материалы в нанокристалическом/аморфном состоянии, эти материалы создают новые направления и дополнительные возможности для положительного решения задачи достижения высоких концентраций водорода и, соответственно, технически и экономически приемлемой температуры его десорбции. Одним из способов получения материалов в нанокристаллическом состоянии служит введение нанообразующих компонент. Таким компонентом, который способствует формированию в композитах аморфного/нано состояния, был выбран бор [2-4]. При повышении концентрации бора до 0,54 мас. % в композите Ni-B размер кристаллитов для никеля изменяется от 60 до 200 нм, а Ni+0,54 B мас. от 20–120 нм и их количество ~93 % находиться в пределах от 0-400 A^0, что означает нанокристалическом/аморфном состояние материала.

Образцы системы никель бор были изготовлены электрохимическим способом. Методом термодесорбционной масс-спектрометрии исследовалась кинетика развития спектра десорбции дейтерия из образцов никеля и композита никель-бор (1 мас.% бора) в зависимости от дозы имплантированного дейтерия. Наиболее характерные спектры термодесорбции дейтерия из образцов композита никель-бор для различных доз имплантированного дейтерия приведены на рисунка. Видно, что по мере увеличения дозы имплантированного дейтерия формируется четко выраженный пик с температурой максимума 325 К. Качественно кинетика развития спектра термодесорбции дейтерия (ТД) из образцов никеля и композита никель-бор близка по структуре. Однако имеется существенное отличие, которое проявляется в том, что в спектре ТД из композита никель-бор пик с температурой максимума 325 К

сильно размыт. Помимо этого формируется широкая по температурной шкале область десорбциии дейтерия в диапазоне температур 250-500 К.

Дальнейшее увеличение дозы имплантированного дейтерия сопровождается ростом интенсивности самого низкотемпературного пика, а температура максимума пика смещается в область более низких температур (до ~ 200 К) по мере увеличения концентрации дейтерия.



Спектры термодесорбции дейтерия, имплантированного в композит Ni-B (1 мас.. %B) при температуре ~100 К, полученные для различных доз облучения: (1) – 2×10^{17}, (2)– 4×10^{17}, (3) – 1×10^{18}D/см^2

Линейная зависимость количества внедренного дейтерия от дозы облучения композита Ni-B сохраняется до дозы ~2×10^{18} см$^{-2}$. Затем наблюдается отклонение от линейности и тенденция к выходу на насыщение, но истинное насыщение не достигается.

Данные по определению энергии активации десорбции будут представлены в докладе.

Литература

1. Zuttel A., Borgschulte A., SchlapbachL. Hydrogen as aFuture Energy //Wiley-VCH: 2008. – 436 p.

2. Saxena S. (Ed.) Handbook of Boron Nanostructures // CRC Press, 2016. – 134 p.

3. Звягинцева А.В. Гибридные функциональные материалы, формирующие металлические структуры с оптимальной дефектностью для хранения водорода в гидридной форме /Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – Саров: Изд-во «Научно-технический центр «ТАТА», 2017. – Номер: 16-18 (228-230). - С. 89-103.

4. Звягинцева, А.В. Способность материалов на основе никеля наноразмерного диапазона к аккумулированию водорода /А.В. Звягинцева // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2015. – № 21. – С. 150–155.

УДК 621. 313.17

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕПАДА ТЕМПЕРАТУР ДЕНЬ-НОЧЬ

В.А. Челухин [1], Е. В. Абрамсон [2]
[1]Д-р техн.наук, Cheluhin-va@mail.Ru,
[2]Старший преп., аспирантка, Elizaveta27@bk.Ru
[1,2] КнАГУ. «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Оцениваются возможности использования разницы температур день – ночь для получения дешевой электроэнергии без причинения экологического вреда природе и человеку. Показана схема устройства преобразователя, принцип его работы.

Ключевые слова: Перепад температур, преобразователи тепловой энергии, ёмкость, диэлектрическая проницаемость, температура, напряжение зарядки, диэлектрик.

Сегодня все больше интереса проявляется к возобновляемым и экологически чистым источникам энергии. Однако современная наука мало обращает внимания на возможность получения энергии с помощью такого источника энергии, как перепад температур между днем и ночью. Преимущества такого метода получения энергии очевидны – полное отсутствие вредного экологического влияния и несложность технической реализации на современном уровне.

Общие принципы использования преобразования перепада температур приведены в работах [1-3].

Представляет интерес теоретически рассмотреть использование таких устройств с точки зрения энергетической эффективности для целей энергоснабжения. Для расчета примем следующие исходные физические данные:

L_0 - длина тела при начальной (например, комнатной) температуре;

L_K - длина тела при конечной (например, уличной) температуре;

t_1 ^oC температура тела на начальной стадии (например, днем);

t_2 ^oC температура тела на конечной стадии (например, ночью);

α температурный коэффициент линейного расширения этилена и этилакрилата (EEA) , = $205*10^{-6}$ °C^{-1}.

И следующие исходные параметров емкости:

C_o – первоначальная ёмкость конденсатора;

C_1 - ёмкость конденсатора в разведенном состоянии пластин;

ε_o - относительная диэлектрическая проницаемость воздуха;

ε_1 - относительная диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектрика;

U_1 – напряжение возбуждения;

U_2 - конечное напряжение на выходе.

Принимаем следующие геометрические и температурные параметры:

L_0 = 1 м, t_1 ^oC = $20^{o,}$ t_2 ^oC = $40^{o,}$ ε_o = 8,85 10^{-12} ε_1 = 100, U_1 =10 В.

Требуется определить напряжение на выходе U_2 после срабатывания устройства. Для этого рассчитаем изменение длины полиэтиленового бруска при t_2 ^oC. из формулы для температурного коэффициента линейного расширения имеем

$$L_K = L_0\ \alpha\ (t_2 - t_1) = 0{,}000205 * 1 * 20 = 0{,}00410.$$

Брусок удлинился на 4 мм. Теперь рассчитаем, как это скажется на значении ёмкости по известным формулам для заряда и ёмкости:

$$Q = C_oU_1,\ \ C_o = \varepsilon\varepsilon_0 S/d \text{ или } Q = \varepsilon\varepsilon_0 S\ U_1\ /d.$$

При появлении воздушного зазора между сегнетоэлектриком и пластиной ёмкости будем иметь случай двухслойного конденсатора.

$C = C_1 * C_2\ /\ C_1 + C_2$

$U_2 = Q\ (C_1+C_2\ )\ /\ C_1*C_2 = C_1U_1(C_1+C_2\ )\ /\ C_1*C_2 = U_1(C_1/C_2\ + 1) = U_1(\varepsilon + 1).$

Если $U_1 = 10$ В, $\varepsilon = 100$, то $U_2 = 1000$ В = 1 кВ.

Как видно из расчета при увеличении расстояния между пластинами ёмкости, её изменение будет пропорционально изменению диэлектрической проницаемости материала между пластинами ёмкости. На нагрузку пойдет напряжение в 100 раз больше.

Возникает вопрос, за счет чего получается прибавка в мощности. Как известно, разно полярно заряженные пластины конденсатора притягиваются друг к другу с силами Кулона. Для того, чтобы развести пластины в данном случае на 4 мм, необходимо приложить силу, большую этого притяжения. Эта сила возникает за счет температурного изменения полиэтиленового бруска, который расширяясь раздвигает пластины конденсатора преодолевая силы Кулона. Тепло внешней среды, нагревая полиэтиленовый брусок, изменяет его физическое состояние путем линейного удлинения, что и используется для преобразования этой тепловой энергии в электрическую.

Литература

1. Челухин В. А., Абрамсон Е. В. Электротепловой преобразователь низкопотенциальной энергии перепада температур. Электротехника. Вестник ТОГУ. 2014.№ 4(35). С.93 – 98.

2. В. А. Челухин, Е. В. Абрамсон. М.С. Кружаев. Оценка эффективности использования перепада температур день-ночь для целей энергетики. Промышленная энергетика, №6 (2018) с.45.

3. Челухин В.А., Абрамсон Е.В. К вопросу электроснабжения поселений на Марсе. Электричество, 2016, № 5, с. 45–52.

4. Челухин В.А., Абрамсон Е.В. Разработка алгоритма управления преобразователем энергии перепада температур. Материалы 21 международной конференции «Современные научные исследование: инновации и опыт». Екатеринбург, 08-09 апреля 2016. Ежемесячный научный журнал № 21 09.04.2016. с 41.

УДК: 666.971.16

ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

С.М. Усачев[1], А.М. Усачев[2], Ю.Н. Артёменко[3]
[1]Канд. техн. наук, доцент, sergey.usa4ev@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, usachevam@vgasu.vrn.ru
[3]Студент, julia_gneushewa@mail.ru
[1,2,3] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе представлены результаты исследований по улучшению процессов изоляции и аккумулирования теплоты в помещении с применением различных теплоизоляционных материалов, в том числе строительных материалов с теплоаккумулирующими микрокапсулами.

Ключевые слова: теплоаккумулирующие материалы, микрокапсулы, эффективное использование и сохранение теплоты.

Сегодня актуальной остается проблема сохранения теплоты в жилых и общественных зданиях. Для экономии тепловых затрат мы «утепляем» здания, создаем эффективные системы теплоснабжения и обогрева, поддерживаем комфортный микроклимат в помещении с помощью кондиционирования. Однако, продолжительность отопительного периода не уменьшается, энергетические и тепловые ресурсы становятся дороже, и бережное использование тепловой энергии становится все более востребованным. С точки зрения строительных технологий данная проблема решается за счет выбора эффективных теплоизоляционных материалов (утеплителей). Такие материалы должны отвечать требованиям стандартов по показателям средней плотности, теплопроводности, паропроницаемости, пожаростойкости, экологичности и другим требованиям.

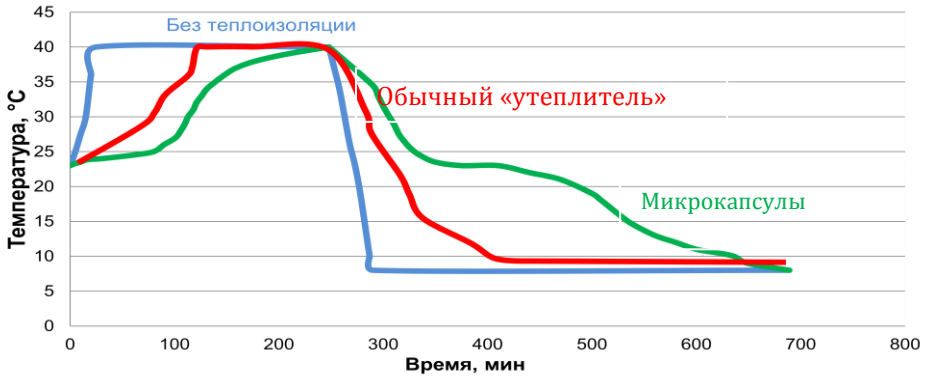
Вместе с тем, в строительной практике применяют инновационные материалы, обладающие не только теплоизоляционными свойствами, но и теплоаккумуляцией. Это так называемые теплоаккумулирующие материалы (ТАМ), которые представляют собой капсулы из полимера, заполненные веществом, которое в заданном диапазоне температур обладают фазовым переходом – из жидкого в твердое состояние и наоборот, при этом выделяя и поглощая теплоту [1].

Применение микрокапсул в строительной отрасли охватывает очень малый сегмент рынка, который в РФ не превышает 1 % на ряду с другими теплоизоляционными материалами. В России такие материалы применяются или в других областях (высокотемпературные аккумуляторы энергетических установок с рабочей температурой до 1400 ^{o}C, для защиты от высокотемпературных полей и потоков, возникающих при пожаре), или в других температурных условиях (температура плавления плюс 58 ^{o}C, температура аккумулирования тепловой энергии 200-250 ^{o}C), или имеют другие энергетические характеристики (малая величина скрытой теплоты фазового

перехода и малое время хранения запасенного тепла и др.).

Микрокапсулы, применяемые в работе, предназначены для аккумулирования тепловой энергии за счет фазового перехода в области температур комфортных для человека - от 20 до 35 ºС. Материалы ведут себя как пассивные кондиционеры, при тепловом воздействии или воздействии солнечных лучей на строительную конструкцию они поглощают теплоту и выделяют накопленное тепло при охлаждении [2].

Получены экспериментальные кривые, показывающие изменение температур в помещениях при нагреве и охлаждении (рисунок).



Изменение температуры в помещении при нагревании до +40 °С
и охлаждении до +5°С

Как показали исследования при колебаниях внешней температуры от +40 до +5 ^{0}С, микрокапсулы эффективно сглаживают перепады температур в помещении. Помещение, где в качестве утеплителя применены микрокапсулы, значительно медленнее нагревается при повышении температуры и дольше сохраняет накопленную теплоту, в отличие от помещения без теплоизоляции и даже помещения с обычным «утеплителем».

Таким образом, можно сделать вывод, что микрокапсулы являются эффективным теплоаккумулирующим материалом, в несколько раз улучшающим показатели энергосбережения. На рынке строительных материалов они могут создать конкуренцию теплоизоляционным материалам, а также снизить их расход при строительстве, за счет использования теплоаккумулирующей добавки.

Литература

1. Альбинская Ю.С., Усачев С.М., Ресснер Ф., Рудаков О.Б. Направления создания микрокапсулированных теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом//Научный вестник ВГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2013. № 7. С. 21-27.

2. Усачев С.М., Перцев В.Т., Хавьяримана С. Теплоаккумулирующие материалы для строительных изделий и конструкций// Научный журнал строительства и архитектуры. № 2 (50), 2018. С. 68-75.

УДК 536.423.1

ТЕПЛООБМЕН ПРИ ПЛЁНОЧНОМ КИПЕНИИ НЕДОГРЕТЫХ СМЕСЕЙ ВОДА-ЭТАНОЛ

В.А. Рязанцев[1], М.М. Виноградов[2], А.Р. Забиров[3], П.К. Канин[4], В.В. Ягов[5]
[1]Аспирант, zorro-001@yandex.ru
[2]Магистр, demon_d@inbox.ru
[3]К-т техн. наук, zabirov.arslan@gmail.com
[4]Аспирант, kaninpk@live.com
[5]Д-р техн. наук, профессор, yagovvv@gmail.com
ФГБОУ ВО «НИУ «Московский энергетический институт»

В настоящей работе представлены экспериментальные результаты, полученные на образце из дюралюминия в бинарной смеси вода-этанол при различных концентрациях и разных недогревах. Как и ожидалось, при уменьшении концентрации этанола в смеси теплоотдача при кипении увеличивается, и, как следствие, длительность стабильного пленочного кипения уменьшается, и происходит более ранний переход к режиму интенсивного теплообмена.

Ключевые слова: плёночное кипение, термограмма, бинарная смесь, недогрев.

Главной задачей представленной работы является изучение механизмов высокоинтенсивного режима кипения, который был обнаружен британскими учеными в 1986-1990 [1].

В работе представлены новые экспериментальные данные по теплообмену при пленочном кипении недогретых водных растворов этанола различной концентрации. В качестве опытного образца использовался шар из дюралюминия диаметром 40 мм. В шаре монтировались 5 хромель-алюмелевых термопар: четыре на поверхности и одна в центре. Для размещения кабельных термопар в шаре из верхней точки высверливались сквозные отверстия диаметром около 1 мм с полярными углами выходных точек θ = 45, 90, 135 и 180º.

На основании модели [2], согласно которой, чем выше тепловая активность материала, тем ниже температура перехода к интенсивному режиму кипения, было принято решение провести серию экспериментов на дюралевом образце, поскольку он имеет низкую плотность (ρ=2698,72 кг/м^3) и относительно высокую теплопроводность (λ=160 Вт/м*К). Выбор смеси вода-этанол в качестве охлаждающей жидкости удобен для исследования влияния свойств жидкости, таких как скрытая теплота испарения жидкости (h_{LG} = 2258 кДж/кг для воды, h_{LG} = 840 кДж/кг для этанола), поверхностное натяжение (σ = 0,073 Н/м для воды, σ =0,0225 Н/м для этанола) и вязкость (ν = 1,006*10^{-6} м^2/с для воды, ν = 1,52*10^{-6} м^2/с для этанола).

В результате экспериментов было выявлено, что увеличение недогрева при заданном составе смеси приводит к уменьшению продолжительности стабильного режима кипения пленки. Из графиков, представленных на рис. 1 и 2, видно, что при температуре жидкости 30°С процесс охлаждения в смесях

с массовой долей этанола 40% и 60% протекает более интенсивно, чем при температуре жидкости 50°С. При 80% концентрации этанола в смеси наблюдается устойчивый режим пленочного кипения, который продолжается более 30 секунд, а температура перехода составляет примерно 250°С.

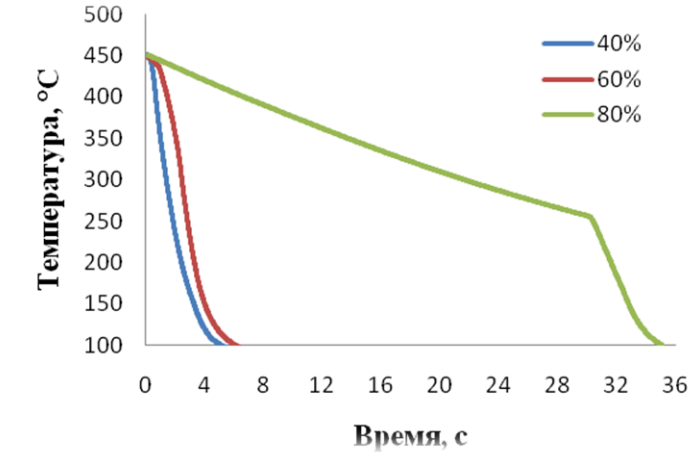


Рис. 1. Термограмма охлаждения образца из дюралюминия
в смеси вода-этанол различной концентрации и температуре 30°С

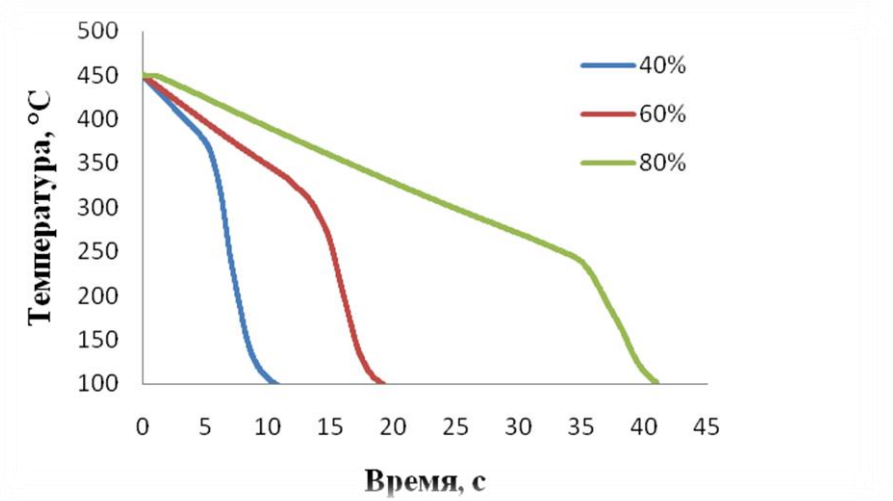


Рис. 2. Термограмма охлаждения образца из дюралюминия
в смеси вода-этанол различной концентрации и температуре 50°С

Работа выполнена на кафедре инженерной теплофизики им. В.А. Кириллина НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант №17-79-20402).

Литература

1. S. Aziz, G.F. Hewitt, D.B.R. Kenning, Heat transfer regi mes in forced convection film boiling on spheres, in: Proc. of the 8th International Heat Transfer Conf., San Francisco, 1986. V. 5, pp. 2149-2154.

2. A.R. Zabirov, V.V. Yagov, P.K. Kanin. Intensive cooling metallic bodies with low thermal conductivity in film boiling of ethanol// Journal of Physics: Con ference Series. 891.

УДК 696.41

ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ ЗА ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД

Д.Н. Китаев[1], А.В. Черемисин[2], З.С. Гасанов[3], А.А. Михайлов[4]
[1]Канд. техн. наук, доцент, dim.kit@rambler.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru
[4]Канд. техн. наук, доцент, corr-tgs@yandex.ru
[1,2,3]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе приведены результаты сравнения фактического значения теплопотребления многоквартирных жилых зданий и полученного действующими расчетными методами. Найдены возможные значения ошибок при использовании расчетных методов и выявлены наиболее адекватные методики.

Ключевые слова: потребление теплоты, отопление, горячее водоснабжение, методика расчета.

При отсутствии у потребителя тепловой энергии прибора учета расчет за ресурс может осуществляться с использованием расчетного метода. Условия применения расчетного метода или статистических данных за предшествующие годы (при их наличии) могут быть указаны в договоре теплоснабжения, например отсутствие переданных показаний приборов учета, поломки и период поверки [1,3]. Используемая расчетная методика должна получать адекватные результаты, т.е. сопоставимые с теми, которые были бы получены прибором учета. Анализ существующих методик расчета теплопотребления, их совершенствование и выявление наиболее адекватных, является актуальной задачей [2].

На рис. 1 представлены результаты расчета помесячного потребления теплоты по статье горячее водоснабжение для отопительного периода 2018-2019[4]. При расчетах учитывались проектные (по СП) и фактические климатологические данные. Красным цветом на этих же диаграмме изображены значения, полученные по прибору учета.

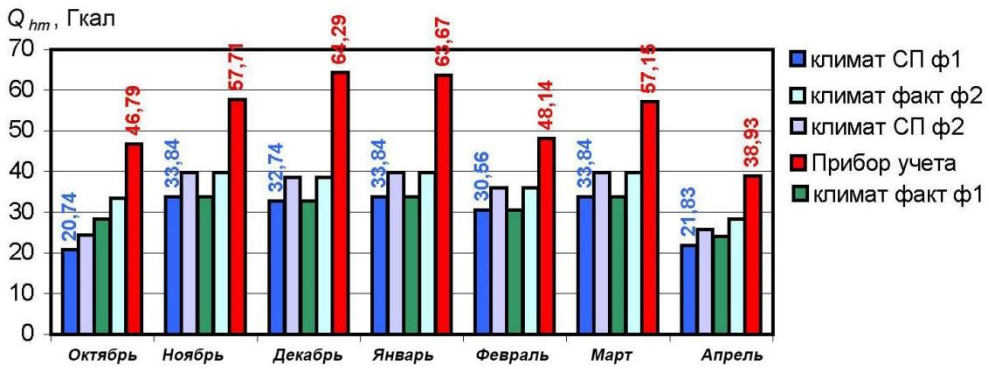


Рис. 1. Значения теплопотребления на нужды горячего водоснабжения в отопительном периоде

На рис. 2 представлена диаграмма, отображающая отклонения значений теплопотребления по рассматриваемым четырем методикам от показаний общедомового прибора учета по месяцам, а также минимальные значения отклонений в каждом месяце.

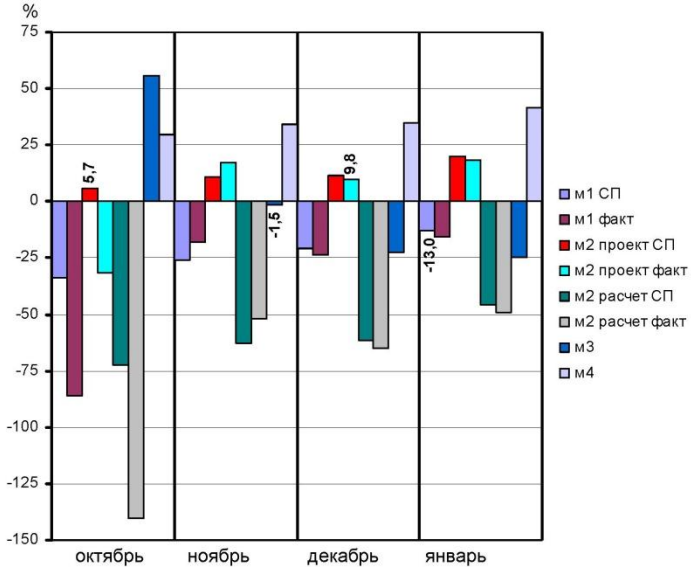


Рис. 2. Отклонения от фактических значений по месяцам теплопотребления на нужды отопления

Наиболее близкие результаты к фактическим получаются при использовании местного норматива потребления горячей воды и фактических данных по продолжительности отопительного периода. При этом результаты получаются заниженными. Результаты расчета теплопотребления на нужды отопления могут отличаться более чем в два раза в зависимости от используемой методики.

Литература

1. Чичерин С.В. Планирование величины нагрузок систем централизованного теплоснабжения с учетом особенностей современного теплопотребления / С.В. Чичерин // Вестник ИГТУ. - 2017. - Т. 21. - № 6. - С. 103–110.

2. Китаев, Д.Н. Расчет фактического теплопотребления промплощадки / Д.Н. Китаев, Т.В. Щукина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. - №3(8). – С.40-45.

3. Фролов Ю.В. Методы расчета теплопотребления на нужды отопления многоквартирных жилых зданий / Ю.В. Фролов, И.Ю. Фильшина, Д.О. Недобежких, В.М. Богданов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. - №1(14). – С. 34-39.

4. Блинкова Е.С. Теплопотребление на нужды горячего водоснабжения жилого здания / Е.С. Блинкова, О.И. Рыжков // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. - №3(16). С. 12-15.

УДК 621.315.592

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРУКТУР SiGe, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Ю.М. Кузнецов[1], М.В. Дорохин[2], В.П. Лесников[3], А.В. Здоровейщев[4], И.В. Ерофеева[5], П.Б. Дёмина[6], М.С. Болдин[7], Е.А. Ланцев[8], А.А. Попов[9]
[1]Аспирант ФзФ ННГУ, м.н.с. лаб. НИФТИ ННГУ yurakz94@list.ru
[2] д.ф.-м.н., зав. лаб. НИФТИ ННГУ
[3]в.н.с. лаб. НИФТИ ННГУ
[4]с.н.с лаб. НИФТИ ННГУ
[5,7]н.с. лаб. НИФТИ ННГУ
[6]м.н.с. лаб. НИФТИ ННГУ
[8,9]аспирант ФзФ ННГУ, инженер НИФТИ ННГУ
[2-7]НИФТИ ННГУ «Нижегородский физико-технический университет»
[1,8-9]ННГУ «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

В данной работе представлены результаты исследования зависимости термоэлектрических параметров SiGe структур, полученных методом электроимпульсного плазменного спекания, от концентрации легирующей примеси при одинаковых технологических параметрах спекания. Приведены температурные зависимости факторов термоэлектрической добротности ZT.

Ключевые слова: термоэлектрические преобразователи энергии, электроимпульсное плазменное спекание, коэффициент Зеебека, фактор мощности, термоэлектрическая добротность.

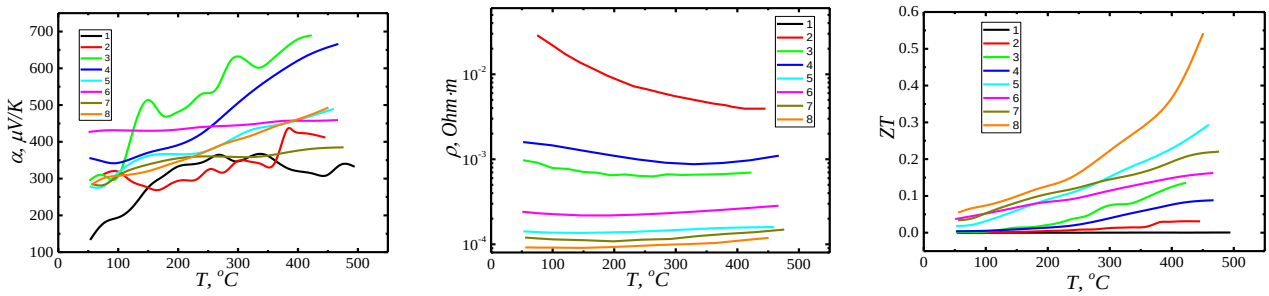
Экологические проблемы, связанные, в первую очередь, с неэффективным использованием топливных ресурсов, поднимают вопрос развития альтернативных источников электрической энергии, в частности, маломощных автономных источников питания, которыми могут служить термоэлектрики. Это материалы, в которых на противоположных гранях, находящихся в различных температурных условиях, возникает электрическое напряжение.

Полупроводниковый материал на основе твёрдых растворов Si и Ge является широко известным высокотемпературным термоэлектриком [1]. Современные тенденции технологии термоэлектрических преобразователей энергии связаны с созданием материалов с ультрамелкозернистой поликристаллической структурой, которая обеспечивает низкие значения теплопроводности при сохранении высоких коэффициента Зеебека и электропроводности [2-3]. В настоящей работе исследованы материалы на основе $Si_{1-x}Ge_x$, полученные методом электроимпульсного плазменного спекания порошков Ge и Si. Указанный метод предоставляет широкие возможности для формирования наноразмерной поликристаллической структуры и управления её параметрами. В качестве объектов исследования выступали структуры с различной температурой спекания, в которых варьировалось содержание легирующей примеси – сурьмы.

Для оценки КПД термоэлектрических материалов используется коэффициент термоэлектрической добротности ZT, который численно равен произведению электропроводности, коэффициента Зеебека и температуры, делённому на коэффициент теплопроводности ($ZT=\sigma\cdot\alpha^2\cdot T/\lambda$). Электропроводность измерялась с помощью четырёхзондовой схемы. Величина коэффициента теплопроводности была получена с помощью метода стационарного теплового потока [4]. Коэффициент Зеебека рассчитывался при измерении напряжения между контактами при заданной разнице температур.

Параметры исследуемых структур

Номер структуры	Температура спекания, ^{o}C	Концентрация сурьмы, %	Номер структуры	Температура спекания, ^{o}C	Концентрация сурьмы, %
1	750	0,5	5	1020	0,7
2	900	0,5	6	1040	0,7
3	1020	0,5	7	1020	0,9
4	996	0,7	8	1040	0,9



а б в

Температурные зависимости: а – коэффициента Зеебека, б – удельного сопротивления, в – фактора термоэлектрической добротности, исследуемых структур

В работе показана сильная зависимость величины термоэлектрической эффективности от максимальной температуры спекания, что связывается с расплавлением Ge и улучшением процессов диффузии атомов кремния в германий с последующим образованием твёрдого раствора. Увеличение концентрации сурьмы приводит к уменьшению удельного сопротивления структуры. Для структуры с оптимизированными параметрами получено значение ZT = 0,58, что сопоставимо с литературными данными [5-7].

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (проект 17-79-20173).

Литература

1. D.M. Rowe. Termoelectric hand book macro to nano, p.954 (2006).
2. L.Hicks. Phys. Rev, 47, 16, p.631 (1993).
3. Д.А. Овсянников. ФТТ, 57, 3, (2015)
4. F. Schaffler. Semicond. Sci. Technol, 12, p.1515-1549 (1997).
5. A.A. Usenko, Scripta Mat. (2015).
6. H. Li. Mat. Chem. Phys. (2013).
7. J. Li. J. Electr. Mat. (2018).

УДК 538.935

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ОКСИДА ЦИНКА

С.Ю. Панков[1], В.А. Макагонов [2], М.А. Каширин[3], В.А. Фошин[4], О.В. Жилова[5], К.С. Габриельс[6]
[1]Инженер, srgpank@mail.ru
[2]Канд. физ.-мат. наук, доцент, vlad_makagonov@mail.ru
[3]Инженер, mnitro@yandex.ru
[4]Студент, vadim.foshin@yandex.ru
[5]Канд. физ.-мат. наук, ведущий инженер, zhilova105@mail.ru
[6]Канд. физ.-мат. наук, инженер, gabriels_k@mail.ru
[1,2,3,4,5,6] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Приведены результаты исследования зависимости электрических свойств тонких пленок оксида цинка, полученных методом ионно-лучевого напыления, от условий получения. Проведена оценка фактора мощности синтезированных образцов по сравнению с традиционными термоэлектрическими материалами.

Ключевые слова: оксид цинка, тонкие пленки, термоэлектричество, удельное электросопротивление, термоэдс, фактор мощности.

Одной из ключевых задач такого направления альтернативной энергетики как термоэлектричество является поиск новых материалов, с высокой добротностью ZT, низкой стоимостью и экологичностью, которые станут альтернативой традиционным термоэлектрикам на основе халькогенидов металлов. К таким материалам можно отнести оксид цинка ZnO, который является перспективным материалом в среднетемпературном и высокотемпературном диапазоне от 400 до 1000 °C [1,2].

К особенностям ZnO является отличие физических свойств в объемном и тонкопленочном состоянии. Если объемный оксид цинка представляет собой материал с почти диэлектрическими свойствами [3], и его высокая проводимость достигается путем легирования, например, Al и Ga [1,2], то в тонкопленочном состоянии данного эффекта можно добиться путем создания собственный дефектов. Кроме того, получение тонкопленочных термоэлектриков для создания миниатюрных конструкции термоэлектрических преобразователей является актуальной задачей современной электроники. Поэтому целью данной работы было исследование влияния условий получения на термоэлектрические свойства тонких пленок оксида цинка.

Для этого были получены тонкие пленки нелегированного оксида цинка по методике ионно-лучевого напыления [4]. В качестве материала подложки использовался ситалл марки СТ-50, осаждение проводилось при температурах, близких к комнатной. Анализ структуры и фазового состава методами рентгеновской дифрактометрии и электронной микроскопии показали, что образцы являются нанокристаллическими и характеризуются гексагональной фазой оксида цинка (пространственная группа P63mc). Оценка параметров

решетки позволила сделать вывод о том, что в процессе ионно-лучевого напыления формируются тонкие пленки ZnO с крайне дефектной структурой. Толщина полученных пленок изменялась в диапазоне от 40 нм до 80 нм.

Для полученных образцов были проведены измерения удельного электросопротивления и термоэдс. Изменение сопротивления с $3{,}8\cdot10^{-2}$ Ом·см до $1{,}3\cdot10^{-2}$ Ом·см, при увеличении толщины пленки связано с проявлением классического размерного эффекта. Результаты измерения термоэдс показало, что доминирующими носителями заряда являются электроны. Термоэдс незначительно изменяется с увеличением толщины образца, с 91,67 мкВ·К$^{-1}$ до 94,0 мкВ·К$^{-1}$. Для оценки термоэлектрической эффективности полученных образцов был рассчитан фактор мощности $PF = \sigma\cdot S^2$. Максимальное значение составило $7{,}2\cdot10^{-2}$ мкВт·м$^{-1}$·К$^{-2}$. Этот результат ниже, чем для тонких пленок теллурида свинца PbTe (58,4 мкВт·м$^{-1}$·К$^{-2}$) [5], но сопоставим со значением для твердого раствора $Sb_{0.9}Bi_{1.1}Te_{2.9}Se_{0.1}$ (0,3 мкВт·м$^{-1}$·К$^{-2}$) [6], полученными ранее, что позволяет говорить о возможности использования оксида цинка в качестве термоэлектрического материала.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-48-360010).

Литература

1. Thermoelectric properties of Al-doped ZnO as a promising oxide material for high-temperature thermoelectric conversion / T. Tsubota, M. Ohtaki, K. Eguchi, H. Arai // J Mater Chem. – 1997. – Vol.7. - P. 85–90.

2. Hydrothermal Growth of ZnO Single Crystals with High Carrier Mobility / W. Lin, D. Chen, J. Zhang, Z. Lin, J. Huang, W. Li, et al. // Cryst Growth Des. – 2009. – Vol. 9 – P. 4378–83.

3. Transparent Conducting Oxide Films for Various Applications: a Review / Rakesh A. Afre, Sharma N. Maheshwar Sh., Sharon M. // Rev. Adv. Mater. Sci. – 2018. – Vol. 53. – № 1. – P. 79 – 89.

4. Жилова О.В. Структура тонких пленок широкозонных полупроводников In_2O_3, ZnO, модифицированных углеродом / О.В. Жилова, В.А. Макагонов, С.Ю. Панков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2018. – Т. 14. – № 4. – С. 168-173.

5. Термоэлектрические свойства тонких пленок теллурида свинца, полученных методом ионно-лучевого распыления / В.В. Бавыкин, Ю.Е. Калинин, В.А. Макагонов, С.Ю. Панков, В.А. Юрьев // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2018. - Т. 14. - № 6. - С. 179-184.

6. Влияние термообработки на структуру и термоэлектрические свойства тонких пленок $Sb_{0.9}Bi_{1.1}Te_{2.9}Se_{0.1}$ и композитов на их основе / Ю.Е. Калинин, М.А. Каширин, В.А. Макагонов, С.Ю. Панков, А.В. Ситников // Физика твердого тела. – 2017. – Т. 59. - №1. - С. 23-29.

УДК 537.31

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ МЕТАЛЛООКСИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ СПРЕЙ-ПИРОЛИЗА

В. Е. Полковников[1], С. И. Рембеза[2], Т. Г. Меньшикова[3]
[1]Студент, polkovnikov.vova.net@yandex.ru
[2]Д-р физ.-мат. наук, профессор, rembeza@yandex.ru
[3]Канд. физ.-мат. наук, доцент, menshikova.vrn@mail.ru
[1,2,3] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

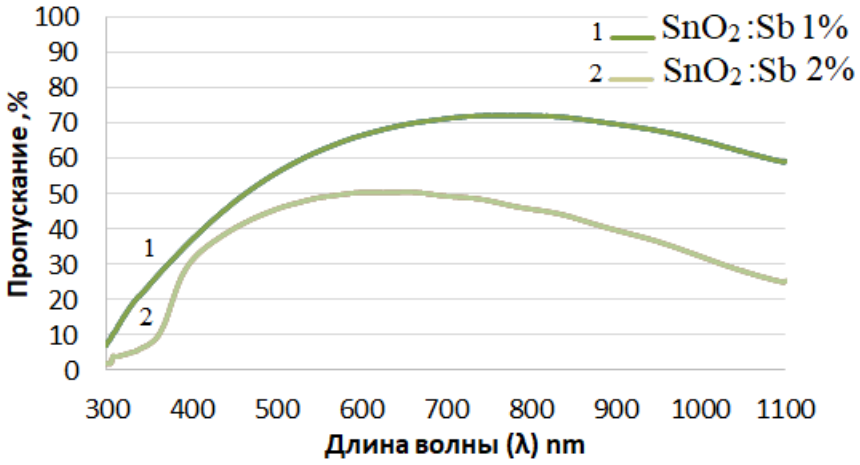
В данной работе приводятся результаты исследования влияния примеси сурьмы на пленку оксида олова. Рассмотрена оптимальная доза легирования пленки SnO_2:Sb для солнечных элементов.

Ключевые слова: металлооксидные материалы, оптическое окно, тонкие пленки, солнечные элементы, оксид олова.

Прозрачные электроды являются необходимыми компонентами солнечных элементов, от параметров оптического окна зависит КПД солнечного преобразователя [1]. Наиболее важными функциональными свойствами прозрачных электродов являются их пропускная способность и удельное сопротивление. В настоящее время наиболее широко используемым материалом прозрачных проводящих покрытий является легированный оксид олова, оксид индия. В то же время легирование сурьмой (SnO_2:Sb) позволяет получать пленки, сопоставимые по электропроводности и пропусканию с In_2O_3 – SnO_2 (ITO) и обладающие химической и механической прочностью. Легирование SnO_2 низким количествами сурьмы (<2 ат.%) обычно приводит к значительному увеличению электропроводности материала, поскольку Sb (V) действует как донор электронов в SnO_2 [2].

Для синтеза металлооксидных пленок SnO_2:Sb была приготовлена водная лигатура объемом 450 мл с содержанием соляной кислоты 5% и $SbCl_3$-2%. В качестве источника олова использовался хлорид олова [$SnCl_2 \cdot 2H_2O$]. Для нанесения спрей-пиролизом были приготовлены два водных раствора объемом 15 мл с 1% и 2% $SbCl_3$, молярное содержание хлорида олова [$SnCl_2 \cdot 2H_2O$] составляло 0,99 и 0,98 М. Технология нанесения спрей-пиролизом подразумевает распыление жидкого раствора в виде аэрозоля с последующим осаждением его на горячую подложку. В качестве подложки использовались предметные стекла для микропрепаратов (ГОСТ 9284-75) размером 26×76×1 мм. Для нанесения раствора данным методом создавался аэрозоль при помощи аэрографа OPHIR AC004A имеющего сопло диаметром ⌀ 0,3 мм. Давление воздуха для аэрографа создавалось безмасляным поршневым компрессором AS186. Оптимальными для нанесения являются следующие параметры: давление воздуха 2 бара, которое обеспечивало поток раствора 8 мл/мин; расстояние до разогретой подложки 35 см. Режим нанесения состоял из циклов

длительностью по 5 секунд беспрерывной подачи аэрозоля на поверхность разогретой подложки, паузы в 20 секунд до полного нагрева поверхности подложки. Температура поверхности составляла 520 °С. В результате были получены 2 пленки SnO_2:Sb. Пленка с содержанием 2 % Sb имела поверхностное сопротивление 4,9 Ом/□, а с содержанием 1 % Sb 5,3 Ом/□.



Спектры пропускания двух пленок SnO_2:Sb

На спектрофотометре ССП-715 М были получены спектры пропускания пленки SnO_2:Sb. Полученные спектры пропускания показали, что пленка SnO_2:Sb, легированная 1% сурьмы прозрачнее в видимой части спектра на 28%, чем пленка легированная 2% сурьмы. При этом разница в сопротивлении несущественная – около 7%. Можно сделать вывод, что лучшим сочетанием функциональных свойств, для прозрачного проводящего оптического окна n-типа проводимости, обладает пленка SnO_2:Sb, легированная 1% сурьмы.

Литература

1. Bruk, L., Fedorov, V., Sherban, D., et al., Isotype bifacial silicon solar cells obtained by ITO spray pyrolysis / Mater. Sci. Eng., B., – 2009, – Vol. 160, – pp. 282–285.

2. Leite, D.R., Mazali, I.O., Aguiar, E.C., et al., The effect of Sb and Nb on the electrical conductivity of tin dioxide based ceramics / J. Mater. Sci., – 2006, – Vol. 41, – pp. 6256–6259.

УДК 621.313

УЛУЧШЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ВХОДНОГО ТОКА КОМПЕНСАЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Е.В. Сидоренко[1], В.Л. Бурковский[2], А.С. Кожин[3]
[1]Аспирант, lexggle@gmail.com
[2]Д-р техн. наук, профессор, bvl@vorstu.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, ellexx@mail.ru
[1,2,3] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Проведен теоретический анализ возможных методов улучшения гармонического состава входного тока компенсационного преобразователя с целью обеспечения электромагнитной совместимости преобразователя с питающей сетью. Показано, что наиболее предпочтительным способом управления силовыми вентилями компенсационного преобразователя является метод выборочного исключения гармоник.

Ключевые слова: электропривод, энергосбережение, компенсационный преобразователь, компьютерное моделирование.

В современных условиях эксплуатации силовых полупроводниковых преобразователей одним из обязательных мероприятий обеспечения ЭМС компенсационного преобразователя (КП) с питающей сетью является улучшение гармонического состава входного тока. Традиционно для решения этой проблемы применяются пассивные индуктивные фильтры – громоздкие, дорогие устройства, уменьшающие КПД системы «преобразователь – питающая сеть» по отношению к нагрузке. В связи с этим актуальной задачей является улучшение гармонического состава входного тока путем совершенствования методов управления силовыми вентилями преобразователя.

Форма кривой входного тока компенсационного преобразователя, за исключением коммутационных интервалов, при опережающем угле управления аналогична форме тока обычных тиристорных выпрямителей с естественной коммутацией - гармоники кратные трем во входном токе преобразователя отсутствуют, а оставшиеся нечетные гармоники имеют номера n, равные:

$$n = p \cdot k \pm 1 \qquad (1)$$

где $p = 6$ – число пульсаций выходного тока за период сети.

Изменение метода управления силовыми вентилями с целью улучшения гармонического состава тока заключаются в добавлении коммутаций на полупериоде таким образом, чтобы уменьшить амплитуды определенных гармоник, либо полностью их исключить.

Из всех существующих способов реализации дополнительных коммутаций наиболее подходящими с учетом специфики работы КП, является метод выборочного исключения гармоник (SHE) [2].

Коррекция спектра тока методом выборочного исключения гармоник осуществляется в соответствии со следующими положениями.

Число импульсов N на полупериоде и число дополнительных углов коммутации N_α (равное числу исключаемых гармоник) связаны следующим соотношеением:

$$N = 2N_\alpha + 1. \tag{2}$$

Дополнительные углы α_n определяются из уравнения (или системы уравнений), получаемого приравниванием к нулю коэффициентов ряда Фурье для кривой тока из N импульсов на полупериоде при значениях n, равных номерам исключаемых гармоник.

Расчет дополнительных углов коммутации α_n нагляднее рассмотреть на примере. Пусть требуется исключить пятую гармонику. Для числа импульсов на полупериоде $N = 3$, коэффициенты ряда Фурье a_n будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{4I_d}{\pi} \cdot \left[\int_0^{\frac{\pi}{6}+\alpha_1} \cos(n\omega t)\, d\omega t + \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}-\alpha_1} \cos(n\omega t)\, d\omega t \right] = \\ &= \frac{4I_d}{\pi} \cdot \left[\sin\left(n\left(\frac{\pi}{6}+\alpha_1\right)\right) + \sin\left(n\left(\frac{\pi}{2}-\alpha_1\right)\right) - \sin\left(\frac{n\cdot\pi}{3}\right) \right] = \\ &= \frac{4I_d}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{n\cdot\pi}{3}\right) \cdot \left[2 \cdot \cos\left(n\left(\frac{\pi}{6}-\alpha_1\right)\right) - 1 \right]. \end{aligned} \tag{3}$$

Приравнивание к нулю выражения, стоящего в квадратных скобках, при $n = 5$ дает трансцендентное уравнение:

$$2\cos\left(n\left(\frac{\pi}{6}-\alpha_1\right)\right) - 1 = 0. \tag{4}$$

Его решением является искомый угол $\alpha_1 = 18°$ Аналогичным образом исключаются 7-я, 11-я и др. гармоники.

Основной проблемой при реализации метода выборочного исключения гармоник является точное поддержание заданных углов коммутации в режиме реального времени, однако с появлением микропроцессорных систем управления силовыми преобразователями ее решение не представляет сложности [3].

Литература

1. Плехов А. С., Зайцев А. И. / Система управления электроприводом с автономным инвентором тока / А. С. Плехов, А. И. Зайцев // «Электротехнические комплексы и системы управления», Воронеж.- ВГТУ, №2/2009, с. 51–54.

2. Попков О. З. Основы преобразовательной техники. Учебное пособие / О. З. Попков. 2 изд., стереотип. – М.: Издательский дом МЭИ 2007. – 200 с., ил.

3. Гладштейн М. / Применение микроконтроллеров и DSP-процессоров для управления устройствами силовой электроники / М. Гладштейн // «Электронные компоненты», 2008. – №7 с. 42–50.

УДК 537.323

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕЛЛУРИДА ВИСМУТА ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ $n\text{-}Bi_2Te_{2.4}Se_{0.6}$

А.А. Гребенников[1], А.И. Бочаров[2], В.А. Макагонов[3], О.В. Калядин[4], В.А. Юрьев[5], [6]К.Г. Королев
[1]Канд. физ.-мат. наук, заведующий лабораторией, anton18885@yandex.ru
[2]Ведущий инженер, lekha.bocharoff@yandex.ru
[3]Канд. физ.-мат. наук, доцент, vlad_makagonov@mail.ru
[4]Канд. физ.-мат. наук, доцент, kaljadin@gmail.com
[5]Студент, vladislav-al1003@rambler.ru
[6]Канд. физ.-мат. наук, доцент, korolev.kg@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе показано, что за счет оптимизации параметров процесса горячего прессования возможно увеличить термоэлектрическую добротность теллурида висмута n-типа. Изготовление ветвей термоэлектрических генераторных батарей по оптимизированному технологическому процессу позволяет повысить их выходную мощность.

Ключевые слова: термоэлектричество, теллурид висмута, электропроводность, теплопроводность, термо-ЭДС, термоэлектрическая добротность.

Теллурид висмута и соединения на его основе являются основными материалами для производства термоэлементов p- и n- типа, работающих в области низких температур. Изделия на их основе серийно выпускаются промышленностью. Чтобы улучшить термоэлектрические характеристики материалов и повысить КПД изделий необходимо вносить изменения в отлаженный технологический процесс, что может быть связано с существенными трудностями. Поэтому актуальной является задача повышения термоэлектрической добротности теллурида висмута при минимальных изменениях технологического процесса его получения. Один из вариантов ее решения заключается в оптимизации параметров процесса горячего прессования. В работе исследовано влияние параметров процесса горячего прессования (давления прессования и времени выдержки под давлением) на термоэлектрические свойства твердого раствора $Bi_2Te_{2,4}Se_{0,6}$ n-типа проводимости, легированного каломелью Hg_2Cl_2. Образцы были получены по технологии порошковой металлургии, включающей синтез материала с последующим горячим прессованием. Установлено, что увеличение времени выдержки образца под давлением в процессе горячего прессования приводит к существенному изменению электрических свойств вследствие увеличения концентрации носителей заряда и их подвижности: коэффициент термо-ЭДС уменьшается в среднем на 3,5 %, электропроводность возрастет более чем на 12 %. Теплопроводность при этом практически не меняется, так как рост электронной составляющей теплопроводности, связанный с ростом

концентрации носителей заряда, компенсируется уменьшением фононной составляющей. В результате термоэлектрическая добротность возрастает на 3,7 %. Увеличение времени выдержки с одновременным увеличением давления прессования увеличивает только подвижность носителей заряда, их концентрация не меняется. Поэтому коэффициент термо-ЭДС остается без изменений, электропроводность возрастет на 3,0 %. Теплопроводность уменьшается на 5,3 %, вследствие слабого изменения электронной составляющей (в сравнении с предыдущим режимом получения) при существенном уменьшении фононной составляющей. В результате термоэлектрическая добротность возрастает на 10,0 %. Таким образом, условия получения теллуридов висмута n-типа существенно влияют на их термоэлектрические свойства, подбор оптимального режима горячего прессования позволяет повысить величину термоэлектрической добротности не меняя основные этапы технологического цикла.

По предложенной технологии были получены материалы для ветвей термоэлектрических генераторных батарей с целью проверки влияния свойств материалов на эксплуатационные характеристики изделий. Для проведения испытаний на АО «РИФ» (г.Воронеж) были изготовлены две термоэлектрические генераторные батареи на основе материала с повышенной добротностью и стандартного заводского материала. В результате испытаний установлено, что батарея, ветви которой изготовлены из материала с повышенной добротностью, выдает мощность 27 Вт при температурах на холодной стороне 70 ^{o}C, на горячей 300 ^{o}C. Батарея с ветвями из стандартного материала выдает мощность 25 Вт при аналогичном температурном режиме.

Литература

1. Maciá-Barber E. Thermoelectric Materials: Advances and Applications. CRC Press, 2015. 364 p.

2. Hao F. et al. High efficiency Bi_2Te_3-based materials and devices for thermoelectric power generation between 100 and 300 ˚C / Energy Environ. Sci. 9 (2016) 3120-3127.

УДК 621.311

УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

И.А. Хайченко[1], В.В. Бабенко[2], В.М. Питолин[3], А.В. Романов [4], Т.Л. Сазонова[5]
[1] Аспирант, li740@yandex.ru
[2] Аспирант vova.babenko.94@mail.ru
[3]Профессор, д.т.н. eayts@yandex.ru
[4] Доцент, к.т.н. andr-romanov@narod.ru
[5] Старший преподаватель eayts@yandex.ru
[1-5]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данном докладе рассмотрена технологическая возможность компенсации реактивной мощности в энергетических системах высокого напряжения по средствам вольтодобавочного трансформатора и тиристорного регулятора напряжения.

Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, вольтодобавочный трансформатор, тиристорный регулятор напряжения.

В современном мире электроэнергетическая система (ЭЭС) состоит из совокупности источников, линий для распределения и передачи, а также потребителей электрической энергии. Для поддержания высокого уровня технической эффективности системы необходимо применять принципы интеллектуальных сетей (Smart Grid) [1].

В рамках рассматриваемой технологии существует несколько устройств, которые позволяют компенсировать реактивную мощность (РМ):

- управляемые тиристорные конденсаторные установки (ТКУ);
- управляемые шунтирующие реакторы;
- статические компенсаторы реактивной мощности (STATCOM).

В настоящее время, вышеуказанные устройства хорошо исследованы с теоретической точки зрения и широко применяются в ЭЭС [2-4]. Несмотря на все это необходимо разрабатывать унифицированные аппаратные решения, которые могут быть применены для сетей всех классов напряжения. Решение данного вопроса видится в применение многофункциональных статических компенсаторов с применение силовых трансформаторов и тиристорных регуляторов напряжения.

Во время эксплуатации высоковольтных линий электропередач необходимо не только поддерживать требуемый уровень напряжения, но и компенсировать зарядную мощность мало нагруженной линии. В данной работе рассмотрена возможность использования силового трансформатора с включённым в его нейтраль вольтодобавочного трансформатора, управляемого тиристорным регулятором напряжения [5]. При таком технологическом решении возможна компенсация реактивной мощности вплоть до 20 %. Такое статическое устройство позволит уменьшить мощность используемого управляемого шунтирующего реактора, а в некоторых случаях и вовсе отказать

от него.

Применение вольтодобавочного трансформатора под управлением тиристорного регулятора напряжения позволяет расширить функциональные возможности по регулированию напряжения и реактивной мощности в высоковольтных линиях.

Литература

1. Галяев А. Н. Проблемы повышения энергоэффективности в электроэнергетике / А.Н. Галяев, И.В. Шевченко // Финансы и кредит. - 2010. - №11. - С. 8-13.

2. A.M. Sharzaf, Controller desighs for power system stability enchancement usingstatic phase shifters (Switserlabd, IFAC Control in power electronics and electrical drives, 1983)

3. Debs, A.S. A Dynamic Estimator for Tracking the State of a Power System [Текст] / A.S. Debs, R.E. Larson. - IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1970. - №4.

4. G. Glanzmann, Flexible Alternating Current Transmission Systems (Zurich, Power Systems Laboratory ETH, 2005)

5. АС 2612621 С2 РФ, МКП G 05F 5/04. Регулятор переменного напряжения. В.Н. Крысанов, Ю.В. Шарапов – 2014145372; Заявлено 11.11.2014; опубликовано 09.03.2017, БИ. №7 – 9с.: ил.

УДК 537.9

УСТРОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В АЛЬТЕРНАТИВНОЙ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ

А.С. Багдасарян [1,2], Ю.В. Гуляев[1], С.А. Багдасарян[2], А.Ф. Белянин[2,3]
[1]Д-р технич. наук, профессор, академик АН Республики Армения, bas@niir.ru
[1]Д-р физ.-мат. наук, профессор, академик РАН, gulyaev@cplire.ru
[2]Канд.технич. наук, bagdassarian@mail.ru
[2,3]Д-р технич. наук, профессор, belyanin@cnititm.ru
[1] Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
[2] НПП “Технологии радиочастотной идентификации и связи”
[3] Центральный научно-исследовательский технологический институт «Техномаш»

Представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований, дополняющие и расширяющие возможности альтернативной и интеллектуальной энергетики с использованием, не имеющей аналогов для рассматриваемого объекта технологии нано и микроэлектроники.

Ключевые слова: ПАВ-датчики, термоэлектрический преобразователь, пленки алмаза и AlN.

На основе последних мировых достижений представлены количественные и качественные характеристики «интеллектуальных» устройств функциональной электроники с новыми возможностями:

• Устройства на поверхностных акустических волнах (ПАВ) с малыми потерями, высокой избирательностью с такими расширенными возможностями, как преобразование импедансов, балансное включение и самосогласование для совмещения с современными балансными микросхемами [1,2].

• Пассивные беспроводные ПАВ-датчики различных физических величин и микроминиатюрных радиочастотные метки, использующие энергию опросного сигнала [3,4].

• ПАВ-микросборки, комбинирующие ПАВ-устройства и усилитель развиваются не только по диапазону частот, но и по избирательности и функциональному назначению. При использовании балансных ПАВ-устройств в таких микросборках увеличивается затухание в полосе задерживания до предельного значения 90 дБ, а при объединении их в набор с внешней электронной коммутацией возможно создание компактных высокоизбирательных переключаемых ПАВ-преселекторов [5,6].

В настоящее время платформы с интеграцией ПАВ, -WLP, -LTCC – технологий для дуплексоров, мультиплексоров и входных модулей смартфонов – самые массовые позиции техники ПАВ. Такие платформы расширяют диапазон частот и функциональные возможности современных рассматриваемых в докладе устройств функциональной электроники, составляют одну из основ их минитюаризации и «интеллектуальности» [7].

Отмечается, что объединение радиометок на ПАВ с датчиками различных физических величин привело к созданию «интеллектуальных» устройств на ПАВ для измерения высокой температуры до 1200 °С и радиопередачи сигнала с радиометок, содержащего информацию о коде меток и температуре для замены устаревших и громоздких термопар на ТЭЦ и металлургических предприятиях.

Рассмотрен термоэлектрический преобразователь на основе MDSM-структур типа полевого транзистора (FET). Показано, что с помощью такого преобразователя можно значительно повысить эффективность процессоров, поскольку тепло, выделяемое процессором, снова преобразуется этим преобразователем в электричество, которое передается процессору [8].

Представлены особенности строения наноструктурированных пленок алмаза и AlN, полученных, соответственно, методами дугового разряда и магнетронного распыления. Показан фотоотклик слоистой структуры на основе пленок алмаза и AlN [9].

Работа поддержана РФФИ (гранты 18-07-00282 А и 18-29-02076 мк).

Литература

1. Багдасарян А.С., Гуляев Ю.В. Интеллектуальные устройства и материалы в функциональной электронике: состояние и перспективы В сборнике: Радиолокация, навигация, связь Сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения А.С. Попова. В 6-ти томах. 2019. С. 12-25.

2. Багдасарян А.С., Гуляев Ю.В., Каляев И.А., Багдасарян С.А., Коробкин В.В. Интеллектуальные устройства на ПАВ для атомной энергетики: новые разхработки и достижения В сборнике: Альтернативная и интеллектуальная энергетика Материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 60-62.

3. Багдасарян А., Багдасарян С., Днепровский В., Карапетьян Г., Николаева С. Малогабаритные радиочастотные идентификационные метки на ПАВ: расширение функциональных возможностей Электроника: Наука, технология, бизнес. 2014. № 3 (134). С. 70-76.

4. Bagdasaryan A., Bagdasaryan S., Butenko V., Kashenko A., Kashenko G., Semenov R. THE FORMALIZED APPROACH TO A CHOICE OF A VARIANT OF RADIO-FREQUENCY IDENTIFICATION SYSTEM OF EQUIPMENT ON A RAIL TRANSPORT В сборнике: Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer ScienceProceedings of the 11th International Conference, TCSET'2012. sponsors: JSC 'UkrTelecom', APC by Shneider Electric, OJSC 'ISKRA', JSC 'Lviv Radioelectronical Medical Apparatures Plant', OJSC 'Concern-Electron', State Enterp. - Ukr. State Cent. Radio Freq. 2012. С. 149.

5. Багдасарян А.С., Гуляев Ю.В., Доберштейн С.А., Синицына Т.В., Багдасарян С.А. Интеллектуальные устройства на ПАВ: новые возможности. Техника радиосвязи. 2018. № 2 (37). С. 64-73.

6. Багдасарян А.С., Белянин А.Ф., Сигов А.С., Багдасарян С.А. Интеллектуальные устройства и материалы в функциональной электроники. В сборнике: Российская научно-техническая конференция с международным участием. Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике Сборник докладов конференции. 2019. С. 16-21.

7. Багдасарян А.С., Гуляев Ю.В., Доберштейн С.А., Синицына Т.В. Снижение вносимых потерь – одна из главных тенденций развития техники ПАВ В сборнике: Радиотехника, электроника и связь Сборник докладов V Международной научно-технической конференции. 2019. С. 325-335.

8. Bagdasaryan A.S., Dneprovsky V.G., Karapetyan G.Ya., Parinov I.A. MATERIALS FOR SURFACE ACOUSTIC WAVE DEVICES: ASPECTS FOR DEVELOPMENT В книге: Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA 2018) Abstracts & Schedule. Edited by Yun-Hae Kim, I.A. Parinov, S.-H. Chang. 2018. С. 58-59.

9. Belyanin A.F., Nalimov S.A., Luchnikov A.P., Bagdasaryan A.S. Properties of planar structures based on policluster films of diamond and AlN // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 6. Сер. "6th International Conference: Modern Technologies for Non-Destructive Testing" 2018. С. 012041. Doi:10.1088/1757-899X/289/1/012041.

УДК 004.384

ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРНО-НЕУСТОЙЧИВЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИНОМИАЛЬНОГО ПОДХОДА

В.И. Захватов[1], С.Л. Подвальный[2], А.В Михайлусов[3]
[1]Электроник 1 категории, v.zakhvatov@bk.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, spodvalny@yandex.ru
[3]Аспирант, swampDok@gmail.com
[1,2,3] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе рассмотрена задача повышения качества управления структурно-неустойчивыми энергетическими объектами на базе полиномиального регулятора с динамическим изменением настроек на примере обратного маятника на каретке.

Ключевые слова: система управления, полиномиальный регулятор, параметрическое управление, обратный маятник, сложный объект.

Из-за непрерывного увеличения сложности разрабатываемых систем становятся сложнее и средства контроля протекающих в них динамических процессов. И особую сложность представляет управление структурно-неустойчивыми энергетическими объектами, которые часто являются не минимально-фазовыми. Также данный тип объектов называют сложными, так как управление ими требует создания регуляторов, которые обеспечивают работу в самых разных режимах для получения максимально возможной области притяжения. Примером таких объектов служат балансирующие механизмы, различного рода двигатели, движение кранов с подвешенным грузом и др.

Повышение качества управления сложными объектами зачастую требует контроля динамики процессов, а также слежения за уровнем управляющих воздействий для борьбы с насыщением исполнительных устройств [1, 2].

Каноничным представителем семейства сложных объектов является обратный маятник на каретке. Из-за того, что обратный маятник в различных положениях требует изменения режима управления, применение статичной системы управления для достижения максимальной области притяжения является невозможным.

В работе описан процесс синтеза полиномиального регулятора с динамическим изменением настроек, который позволяет подстраиваться под изменения параметров объекта управления без повторного синтеза регулятора.

Для проверки качества управления была построена модель обратного маятника на каретке средствами MATLAB Simulink, кроме этого использовались стандартные решения в виде ПИД-регуляторов для сравнения результатов их работы с полученной системой управления.

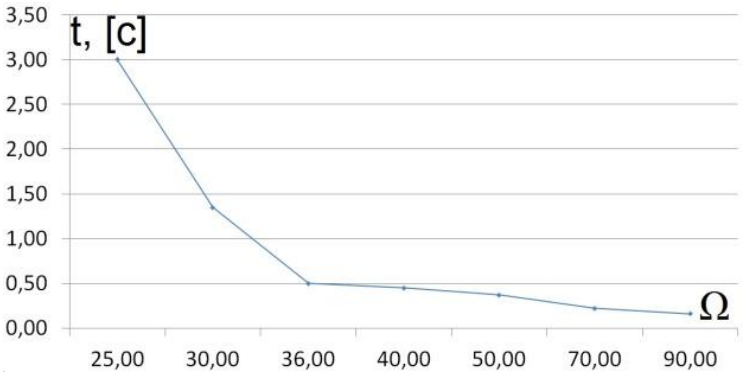
В ходе синтеза системы управления был введен внешний изменяемый параметр, который является среднегеометрическим корнем характеристи-

ческого уравнения (Ω), который позволяет в процессе работы регулятора изменять полосу пропускания системы.

После решения системы уравнений с помощью метода символьных вычислений и подстановки статических параметров была получена передаточная функция, свойства которой меняются от значения среднегеометрического корня.

$$W = \frac{(0.66\Omega^2 + 6.86)s + (0.22\Omega^3 + 20.58\Omega)}{s + 3\Omega}$$

Влияние значения среднегеометрического корня служит график зависимости времени установки маятника от Ω. График был построек при начальном угле отклонения равном 0.3 радианы.



Зависимость времени установки от Ω

В процессе моделирования была выявлена прямая зависимость времени установки от среднегеометрического корня. Также была подтверждена возможность контроля уровня управляющих воздействий.

Качество управления полиномиального регулятора при малых углах отклонения оказалось сравнимым с ПИД-регулятором, но с увеличением стартового угла отклонения обратного маятника, разница в качестве управления растет в пользу синтезированного регулятора.

Представленные эксперименты показали практическую возможность внешнего параметрического управления динамикой процессов, при этом созданная система управления позволяет подстраивать режимы без обучения и адаптации.

Литература

1. BoubakerO. The Inverted Pendulum Benchmark in Nonlinear Control Theory: A Survey // International Journal of Advanced Robotic Systems. 2013. Volume: 10, issue: 5.

2. Krishna. N. Modeling and controller design of cart inverted pendulum system using MRAC scheme // Frontiers of current trends in engineering and technology. 2016. SI:1, pp. 21 – 24.

УДК 007

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

С.Л. Подвальный[1], Е.М. Васильев[2]
[1]Д-р техн. наук, профессор, spodvalny@yandex.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, vgtu-aits@yandex.ru
[1,2] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе приводятся результаты построения цифровой модели критических состояний электрической распределительной сети с интеллектуальным управлением. Показано, что в основе такой модели целесообразно использовать активные нейросети фасетого типа со структурой, аналогичной структуре объекта управления.

Ключевые слова: интеллектуальные энергосистемы, цифровые двойники, активные нейросети.

В настоящее время актуальной задачей электроэнергетики является разработка интеллектуальных энергосистем [1]. Такие системы должны прийти на смену существующим автоматизированным системам управления распределительными сетями, которые выполняют, в основном, информационное обслуживание диспетчерского персонала и практически не решают задачи оперативного управления энергосистемами в критических режимах.

Решение этой проблемы предполагает создание цифрового двойника распределительной сети, т.е. модели, воспроизводящей в реальном масштабе времени её критические состояния и принимающей решения по оперативному устранению этих состояний без участия оператора-человека.

Традиционный подход к созданию подобных интеллектуальных систем заключается в разработке двух моделей: модели собственно объекта управления – цифрового двойника сети, и модели принятия решений, воспроизводящей действия диспетчера.

В предлагаемой работе осуществлено совмещение указанных моделей в единую цифровую модель, имитирующую структуру распределительной энергосети в виде фасетной нейронной сети, содержащей элементы принятия решений при возникновения критических ситуаций [2-5].

На рис. 1 показана структура распределительной сети с тридцатью подстанциями низкого напряжения, соединёнными между собою и с входной высоковольтной подстанцией основными (непрерывные линии на рис. 1) и резервными кабелями (штриховыми линии). Резервные кабели подключаются к сети при отключении основных таким образом, чтобы сохранить энергоснабжение большей части потребителей и одновременно не допустить технологического распространения отказа – последовательно нарастающей цепи отключений из-за неравномерного распределения нагрузки.

На рис. 2 представлен фрагмент нейросети с фасетами-подстанциями, состояния которых оценивается ансамблями нейронов F, каждый из которых

возбуждается при переходе определённой подстанции в критический режим работы. В соответствии с возбудившимися ансамблями, принимается решение о включении той или иной резервной линии, номера которых на рис. 1, 2 указаны в прямоугольниках.

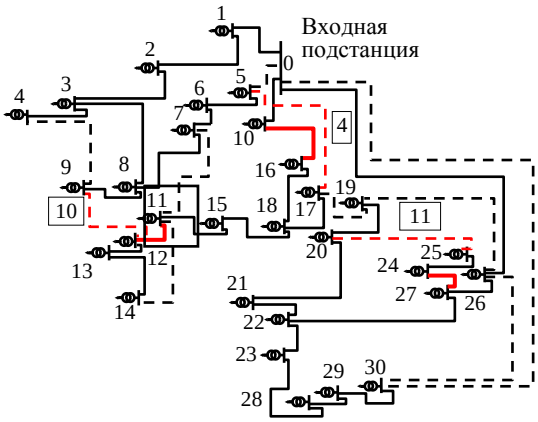


Рис. 1. Схема электрической сети

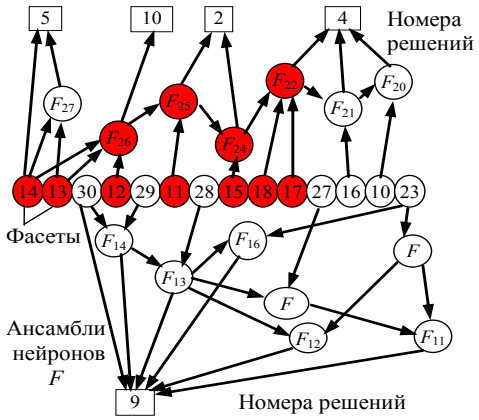


Рис. 2. Фрагмент нейросетевого двойника

В качестве конкретного примера на рис. 1 и рис. 2 указаны перегруженные подстанции 11,12,13,14,15,17,18, а также 24,25, которые оказались под угрозой отключения в линиях 11-12, 10-16, 24-26.

Нейросеть выработала решение о подключении резервных кабелей 4,10 и 11, достаточных для вывода сети из критического режима.

Литература

1. Чичёв, С.И. Технология «Smart Power Grid» («Умные электрические сети») [Текст] / С.И. Чичёв, Е.И. Глинкин // Энергобезопасность и энергосбережение. - 2010. -№6(36). - С. 27-31.

2. Podvalny S.L., Vasiljev E.M The Principle of Multi-alternativity in Intelligent Systems. Active Neural Network Models // Procedia Computer Science, 2017, vol. 103, pp. 410-415.

3. Podvalny S., Vasiljev E. The Application of the Multi-alternative Approach In Active Neural Network Models // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, V International Workshop on Mathematical Models and their Applications 2016, 2017, vol. 173, 012012.

4. Podvalny S.L., Vasiljev E.M. A Multi-alternative Approach to Control in Open Systems: Origins, Current State, and Future Prospects // Automation and Remote Control, 2015, vol. 76, no. 8, pp. 1471-1499.

5. Васильев, Е.М. Активная нейросетевая модель управления критическими объектами [Текст] / Е.М. Васильев, Р.А. Говоров // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2015. - Т. 11, № 3. - С. 31-36.

УДК 621.311

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК СЛОЖНОГО ИНЖЕНЕРНОГО ОБЪЕКТА – БАЗОВЫЙ КОНЦЕПТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ

М.Г. Жабицкий[1], В.Е. Мельников[2], О.В. Бойко[3]
[1]Заместитель директора Высшей инжиниринговой школы НИЯУ МИФИ, jabitsky@mail.ru
[2]Инженер Высшей инжиниринговой школы НИЯУ МИФИ,valeriy_melnikov_65@mail.ru
[3]Заместитель начальника отдела Высшей инжиниринговой школы НИЯУ МИФИ, ovboyko@mephi.ru
ФГАОУ ВО НИЯУ МИФИ

Формирование информационных моделей и цифровых двойников - естественный элемент современного описания сложных инженерных объектов. Первые сквозные модели полного жизненного цикла формируются для АЭС сейчас. Это упреждающая тенденция формирования пространства данных интеллектуальной энергетики.

Ключевые слова: информационная модель, сложный инженерный объект, система, цифровой двойник, жизненный цикл.

«Технологии четвертой промышленной революции» [1] вызвали трансформацию инженерных и бизнес-подходов к управлению системами, составляющими современную технологическую среду, в том числе энергосистемами. Энергосистема - SoS (system of systems - система систем) включает системы-элементы – генерирующие объекты (тепловые, атомные, гидро и т.д.), линейную сетевую инфраструктуру, преобразовательные подстанции и другие объекты, где каждый является сложным инженерным объектом (СИО). Наиболее сложным инженерным объектом в энергетике является энергоблок атомной электростанции (АЭС).

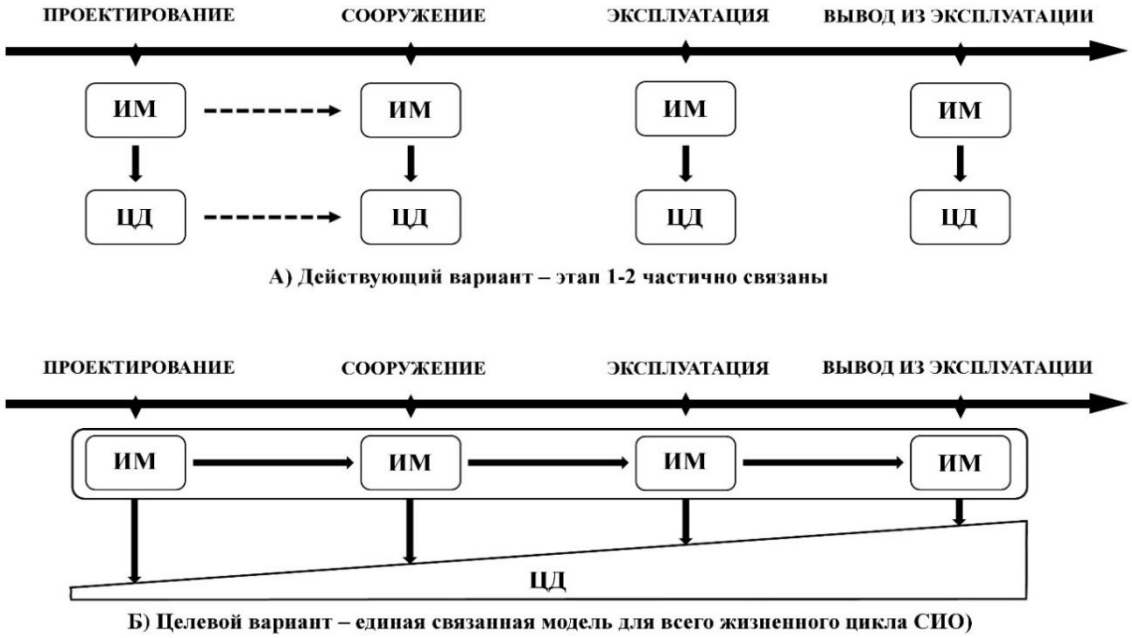
Информационная модель (ИМ) - «Совокупность структурированных и неструктурированных информационных контейнеров, представляющая собой единый достоверный источник информации по проекту (активу) на всех или отдельных стадиях его жизненного цикла» [2]. ИМ для стадий жизненного цикла СИО имеют различную структуру и инструментарий. На этапе сооружения основой ИМ является BIM-модель (Building Information Model) [2], дополняемая системами управления проектом: классически-управленческими (временем, ресурсами, персоналом, бизнес-процессами), и системно-инженерными (качеством, конфигурациями и т.д.). Иная структура и цифровые инструменты – у ИМ на этапе эксплуатации. Потребность в специфической ИМ возникает для вывода из эксплуатации объектов повышенной опасности. В энергетике это АЭС.

РФ является экспортером АЭС «под ключ», в энергетике в широком смысле это самая крупная статья экспорта. В странах присутствия ГК «Росатом» в национальном законодательстве присутствуют требования предоставления ИМ. Это требование включается в последние годы в контракты

на сооружение АЭС.

Для перехода к интеллектуальной энергетике разрозненных ИМ по стадиям уже недостаточно. На современном этапе адекватным уровнем является создание сквозных цифровых двойников (ЦД). В полном объеме ЦД для объектов генерации не реализованы. В ГК «Росатом», в силу повышенных требований к безопасной эксплуатации, к их созданию приступили достаточно давно. Выделяются три точки зарождения ЦД на этапах жизненного цикла АЭС. На стадии сооружения ядром зарождения цифрового двойника является BIM-проект. На этапе эксплуатации – данные
мониторинга технологического процесса. При выводе из эксплуатации – результаты комплексного инженерно-радиационного обследования.

Но сегодня связь по структуре и по наполнению данными в ИМ и ЦД между этапами жизненного цикла затруднена (рисунок, А). Устранение разрыва трансфера данных ЦД между стадиями – резерв повышения потенциала технологий интеллектуальной энергетики.



Формирование цифрового двойника

В данной работе рассмотрена необходимость формирования сквозного ЦД как единой среды данных (рисунок, Б) для анализа и управления технологическими, инженерными и бизнес-процессами.

Литература

1. Шваб К. Технологии Четвертой промышленной революции [Перевод с английского] / К. Шваб, Н. Дэвис. – М., Эксмо, 2018. – 320 с.

2. ISO 19650-1-2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modeling — Part 1: Concepts and principles.

УДК 697.921.452+621.1.016.4

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАДИЕНТА ДАВЛЕНИЯ НА ТЕПЛООБМЕН В КАНАЛЕ КАЛОРИФЕРА КМС

Н.П. Петрова[1], А.А. Цынаева[2]
[1]Аспирант, nadej.orlowa2013@mail.ru
[2]Канд. тех. наук, доцент, a.tsinaeva@rambler.ru
[1,2] ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»

В данной работе приводятся результаты исследований влияния градиента давления на интенсивность теплообмена в канале теплообменника марки КМС. Численное моделирование выполнялось в программных комплексах Code Saturn, Salome. В результате моделирования получены средние значения коэффициентов теплоотдачи для расширяющегося и сужающегося канала.

Ключевые слова: теплообмен, градиент давления, теплообменный аппарат.

Для подогрева приточного воздуха в системах вентиляции используются воздухонагреватели. По конструктивному исполнению они подразделяются на стальные оребренные, биметаллические со спирально-накатным оребрением и на стальные пластинчатые теплообменники. Одним из представителей водяного пластинчатого воздухонагревателя является калорифер марки КМС. Данная марка теплообменника ранее имела достаточно широкое применение в системах вентиляции. Воздухонагреватель КМС имеет существенные недостатки, а именно низкий коэффициент теплоотдачи и большие потери по давлению.

В работе [1], при исследовании интенсивности теплообмена в конфузоре, числа Рейнольдса находились в диапазоне (Re=5000...14000), коэффициент ускоренности составлял ($K=1.4x10^{-6}...2x10^{-5}$). Заданные условия не применимы для характеристик работы воздухонагревателя КМС. Соответственно, не смотря на имеющиеся работы по исследованию влиянию градиента давления, имеется ряд отличий от заданных параметров и характеристик работы теплообменника КМС [2, 3].

Численное исследование по влиянию градиента давления на теплообмен выполняется в программных комплексах Code Saturn, Salome. Объектом исследования является канал модифицированного калорифера КМС, образованный между двумя соседними пластинами с продольным градиентом давления, через который проходит приточный воздух.

В результате численного моделирования были определены температура потока, поверхности пластины, изменение скорости воздуха по длине пластины. Далее определится коэффициент теплоотдачи применимый для калорифера марки КМС. Исследование выполнялось при числах Рейнольдса, находящихся в диапазоне от 3000 до 6000, коэффициенте ускоренности равному $K = 8.04\cdot10^{-6}–1.56\cdot10^{-5}$ [4].

На рисунке показаны результаты численного исследования и данные, полученные по критериальным уравнениям (Гниелински, Михеева, Петухова) [5].

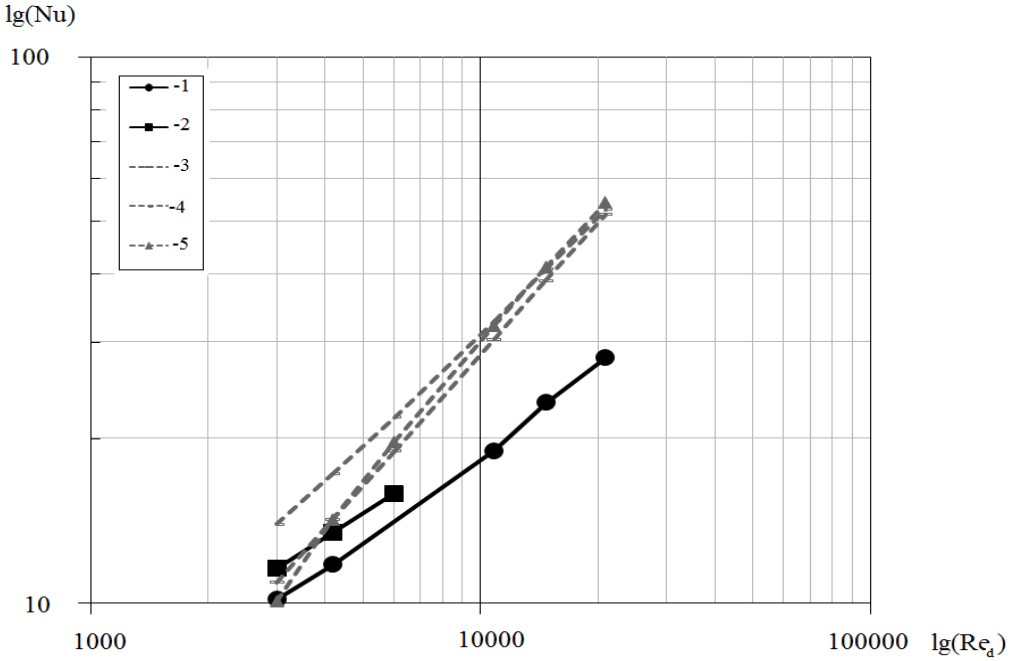


Рисунок. Теплообмен в канале: 1 – численное моделирование при dP/dx < 0; 2 – численное моделирование при dP/dx > 0; 3 – расчет по формуле Петухова [5]; 4 – расчет по формуле Гниелински [5]; 5 – расчет по критериальному уравнению Михеева

В зависимости от знака градиента давления интенсивность теплообмена в канале теплообменника непостоянна. При отрицательно градиенте давления интенсивность теплообмена протекает ниже по сравнению с безградиентым течением (dP/dx = 0). Поток без градиента давления определяется по формулам Михеева, Гниелински. При числах Рейнольдса от 3000 до 5000 теплообмен протекает интенсивнее при dP/dx > 0, чем для потока с dP/dx = 0. Необходимо отметить, что результаты, полученные по формуле Петухова, оказались завышены, так как применимы при больших числах Рейнольдса, что не соответствует заданным условиям для теплообменника КМС.

Полученные результаты свидетельствуют о значительном влиянии градиента давления на теплообмен. При разработке новой конструкции теплообменного аппарата необходимо использовать не просто конфузорные или диффузорные каналы, а комбинированные тракты, при этом учитывая длину канала и угол, образованный между двумя пластинами.

Литература

1. H. Tanaka, H. Kawamura, A. Tateno, S. Hatamiya Effect of Laminarization and Retransition on Heat Transfer for Low Reynolds Number Flow Through a Converging to Constant Area Duct. Journal of Heat Transfer. 1982. Vol. 104.pp. 363-371.

2. Лущик В.Г., Решмин А.И. Интенсификация теплообмена в плоском безотрывном диффузоре // ТВТ. 2018. Т. 56. № 4. С. 586–593.

3. Лущик В.Г., Макарова М.С., Решмин А.И. Ламинаризация потока при течении с теплообменом в плоском канале с конфузором // Изв. РАН. МЖГ. 2019. № 1. С. 68–77.

4. Петрова Н.П., Цынаева А. А. Тепловые процессы в технике // 2019. Т. 11. №12. С. 532–540.

5. Lienhard J.H., Lienhard J.H. A heat transfer textbook. Cambridge, Massachusetts: Phlogiston press, 2011. 755 p.

УДК 537.9

ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ УФ ДИАПАЗОНА НА СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ АЛМАЗ – AlN

А.С. Багдасарян [1,2], С.А. Багдасарян[2], А.Ф. Белянин[2,3], Е.Р. Павлюкова[1]
[1]Д-р техн. наук, профессор, академик АН Республики Армения, bas@niir.ru
[2]Канд. техн. наук, bagdassarian@mail.ru
[2,3]Д-р техн. наук, профессор, belyanin@cnititm.ru
[1] Старший научный сотрудник, e.pavl@mail.ru
[1] Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
[2] НПП «Технологии радиочастотной идентификации и связи»
[3] Центральный научно-исследовательский технологический институт «Техномаш»

Представлены особенности строения наноструктурированных пленок алмаза и AlN, полученных, соответственно, методами дугового разряда и магнетронного распыления. Показан фотоотклик слоистой структуры на основе пленок алмаза и AlN.

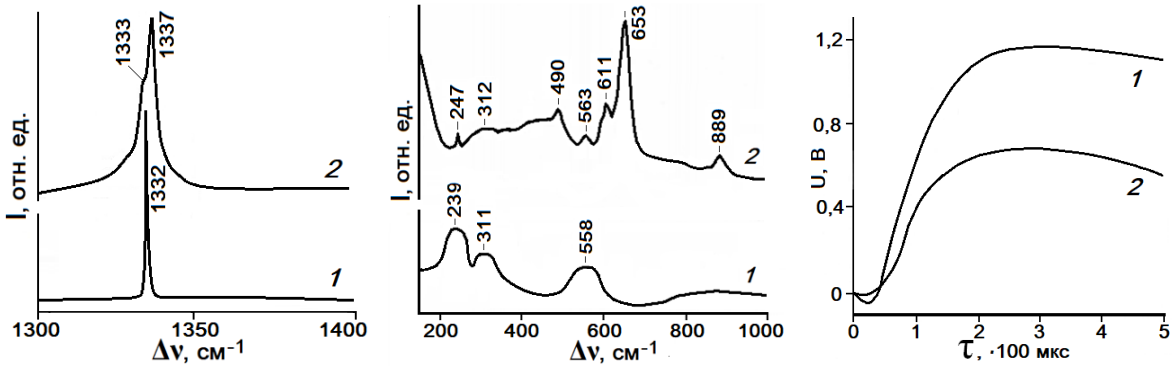
Ключевые слова: пленки алмаза и AlN, легирование, фотоотклик.

Алмаз и AlN относятся к широкозонным полупроводниковым материалам, стойким к воздействию ионизирующих излучений. Трудности получения n-типа проводимости алмаза решаются использованием слоистой структуры из алмаза, легированного бором (p-тип) и AlN, легированного Zn (n-тип). Легированные указанными примесями пленки алмаза и AlN получали дуговым разрядом и реактивным магнетронным распылением, соответственно, по ранее представленной методике [1, 2].

Материалы, синтезируемые в неравновесных условиях, характерных для применяемых в настоящей работе методов, состояли из аморфной и кристаллической фаз, соотношение концентраций которых, а также взаимное ориентирование кристаллитов, влияли на функциональные свойства полученных структур. Пленки алмаза содержали алмазную фазу (до > 99 %) и рентгеноаморфный алмазоподобный углерод. Алмазные пленки состояли из вытянутых зерен с поперечным размером 3–10 мкм. Размер кристаллитов алмазных пленок, рассчитанный по рентгенограммам (рентгеновский дифрактометр ARL X'tra, Thermo Fisher Scientific), составлял в зависимости от температуры роста 20–200 нм. Содержание кристаллической фазы в пленках AlN зависело от концентрации легирующей примеси и изменялось от 15% (< 2 ат.% Zn) до ~50–60% (нелегированный AlN). Размер и разориентация кристаллитов пленок AlN составляли 15–65 нм и 2–5°, соответственно.

На спектрах комбинационного рассеяния света (КРС) (спектрометр LabRAM HR 800, HORIBA Jobin-Yvon) алмазных пленок присутствует единственная полоса при сдвиге КРС $\Delta\nu = 1332$ см$^{-1}$ (рис. а, кривая 1). Механические напряжения в пленках вызывают уширение основной и появление дополнительной полосы при $\Delta\nu$ ~1337 см$^{-1}$ (рис. а–2) Для рентгеноаморфных и легированных пленок AlN характерны размытые полосы

при Δν 239, 311 и 558 см$^{-1}$ (рис. б–1). У пленок AlN с высокой концентрацией упорядоченных кристаллитов (текстура по <0001>), наблюдаются полосы при Δν 247 см$^{-1}$ (мода E_2), 611 см$^{-1}$ (A_1) и 653 см$^{-1}$ (E_2) (рис. б–2). Уширение полос на спектрах КРС пленок AlN является результатом фононного рассеяния, вызванного точечными дефектами, границами фаз и механическими напряжениями. Применение отжига для улучшения упорядоченности кристаллической фазы пленок AlN неоднозначно, так как вызывает образование микротрещин и включений Zn по границам кристаллической фазы. Рентгеноаморфные пленки AlN, становятся нанокристаллическими после отжига при 1100–1300 К.



а) *б*) *в*)

Спектры КРС алмазных пленок (а); спектры КРС пленок AlN (б); напряжение на контактах структуры AlN–алмаз при УФ-облучении (в)

При воздействии УФ-облучения на контактах (пленка Ti толщиной ~0,2 мкм) слоистой структуры AlN–алмаз, возникло напряжение, величина которого зависела от строения слоев. На рисунке показаны результаты измерений на структурах с пленками алмаза, выращенными при температурах 1250 К (рис. в–1) и 1400 К (рис. в–2). В исследованных структурах пленки AlN содержал концентрацию Zn ~0,16 ат.%; концентрация бора в алмазных пленках – ~$2\cdot10^{19}$ см$^{-3}$. Концентрацию легирующих примесей в пленках определяли методом энергетической дисперсионной спектрометрии (установка CARL ZEISS LEO 1430 VP).

Работа поддержана РФФИ (гранты 18-07-00282 А и 18-29-02076 мк).

Литература

1. Белянин А.Ф., Борисов В.В., Багдасарян А.С. Наноструктурированные углеродные материалы в эмиссионной электронике // Российский технологический журнал. 2017. Т. 5. № 3. С. 22–40.

2. Белянин А.Ф., Багдасарян А.С., Налимов С.А., Павлюкова Е.Р. Наноструктурированные пьезоэлектрические пленки AlN, полученные реактивным ВЧ-магнетронным распылением // Журнал радиоэлектроники. 2019. № 11. С. 9.

УДК 622.2

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ В СИСТЕМУ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

И.А.Павленко[1], А.Н. Бабаевский[2]
[1]Магистрант, pavlenkoi1@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, sk31.an@gmail.com
[1] ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»
[2] ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»

В данной работе рассмотрен экономический эффект и анализ расчета внедрения высоковольтного преобразователя частоты (ПЧ), достоинства при регулировании электродвигателей посредством ПЧ. Указаны основные особенности использования ПЧ и влияние на качество электроэнергии в системе электроснабжения горнодобывающих предприятий.

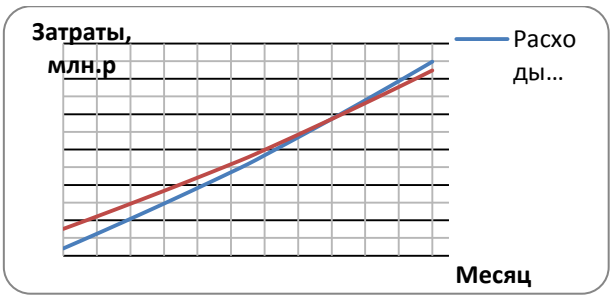
Ключевые слова: преобразователь частоты, гармонические искажения, фильтрокомпенсирующие устройства.

На сегодняшний день основным кластером потребления электроэнергии (ЭЭ) по России является горнодобывающая промышленность. На современных горнорудных предприятиях основными затратами при технологическом процессе добычи, обогащении и разработки месторождений полезных ископаемых являются затраты на потребление ЭЭ. Таким образом первостепенной задачей рудников и шахт является эффективное использование ЭЭ, которое принесет экономический эффект и поспособствует снижению себестоимости продукции.

Один из высокоэффективных методов потребления ЭЭ горнодобывающими предприятиями основывается на применении технологических систем регулирования электроприводов посредством внедрения ПЧ. Преобразователь частоты представляет собой статической устройство, которое на основе принципа изменения частоты электросети управляет и изменяет скорость вращения электродвигателя.

В работе [1] выполнен расчет экономического эффекта от внедрения высоковольтного преобразователя частоты на подъеме управления сооружений водопровода шахтного водоотлива. Данный преобразователь осуществляет плавное регулирование производительности насосного агрегата мощностью 1,6 МВт с напряжением сети 6 кВ. Расчет показал, что при внедрении в энергетическую систему высоковольтного частотного преобразователя на сумму 11,5 млн. рублей срок окупаемости составляет 1,5 года.

Основные достоинства при использовании ПЧ это экономия энергоресурсов, увеличение сроков службы технологического оборудования, а также контроль технических параметров. Для электросети ПЧ является нелинейным потребителем, который характеризуется наличием в нем полупроводниковых нелинейных элементов (тиристоры, диоды, выпрямительные мосты).



Зависимость расходов с применением ПЧ

Эти элементы являются источниками гармонических искажений тока и напряжений, которые вносят возмущения в систему, влияя на показатели качества электроэнергии (ПКЭ). Для снижения уровня гармоник используют различные фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ), такие как: дроссель, активный фильтр и др. [2].

Результаты исследования [3] показали, что при использовании частотного преобразователя без фильтрокомпенсирующего устройства (ФКУ) уровень искажений гармонической составляющей по току (THDu%) и по напряжению (THDi%) возрастает. Следовательно, снижение ПКЭ приводит к потерям электроэнергии, уменьшению производительности, увеличению температуры электродвигателя с последующим выходом из строя последнего.

Внедрение ПЧ в систему электроснабжения горнорудных предприятий позволяет уменьшить затраты на потребление ЭЭ, однако перед внедрением необходимо провести детальный расчет для выявления экономического эффекта. Также работа электродвигателя с использованием преобразователя частоты без применения фильтрокомпенсирующего устройства технически неэффективна, т.к. гармонические искажения качественно и количественно влияют на работоспособность электропривода.

Литература

1. Романов, Н.В. Расчет экономического эффекта от внедрения высоковольтного преобразователя частоты / Н.В. Романов – Текст : непосредственный // МЕЖДУНАРОДНЫЙ БИЗНЕС РОССИИ. – 2018. -№4. –С. 119-120.

2. Барутсков, И. Б. Гармонические искажения при работе преобразователей частоты / И.Б. Барутсков, С.А. Вдовенко, Е.В. Цыганков – Текст : непосредственный // Главный энергетик. – Москва. – 2011. - №6. – С. 5-15.

3. Буй, Ч.К. Влияние преобразователя частоты на энергетические параметры работы электрической сети шахты / Ч.К. Буй, С.С. Кубрин, П.А. Каунг – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2018. - № 2. - С. 20-26.

УДК 621.314

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ДО НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДА

А.А. Яблоков[1], Г.А. Филатова[2], А.Е. Петров[3], М.Р. Батманов[4]
[1]Канд. техн. наук, доцент, yablokov@yandex.ru
[2] Канд. техн. наук, доцент, fgala90@mail.ru
[3]Магистрант, usetheforcealex@yandex.ru
[4]Магистрант, batman.mx.13@mail.ru
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»

В данной работе приводится методика снятия экспериментальных характеристик трансформаторов тока (ТТ) для построения моделей ТТ в среде RSCAD RTDS. Приведена методика оценки достоверности полученных результатов и характеристик.

Ключевые слова: насыщение магнитопровода, трансформаторы тока, имитационное моделирование, RTDS, переходные процессы.

В Ивановском государственном энергетическом университете (ИГЭУ) проводятся исследования по теме определения времени до насыщения трансформаторов тока (ТТ) при коротких замыканиях (КЗ). Работа направлена на обеспечение выполнения требований, в соответствии с которым технические характеристики ТТ и подключенных к ним устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) в совокупности должны обеспечивать правильную работу устройств РЗА при КЗ, в том числе при возникновении апериодической составляющей тока.

Вопросу насыщения ТТ и моделирования переходных процессов во вторичных цепях ТТ уделялось пристальное внимание в СССР и мире начиная с 60–80-х годов прошлого века. Проблемам работы ТТ в переходных режимах КЗ было посвящено большое число работ таких специалистов как И. М. Сирота, А. Д. Дроздов, В. Е. Казанский, Л. В. Багинский, В. И. Новаш и их учеников [1 и др.]. Были разработаны меры по устранению насыщения магнитопровода, включая применение ТТ напряжением 750 кВ и 1150 кВ с немагнитным зазором, разработаны методики расчета нагрузок на ТТ [2]. Для устранения влияния насыщения ТТ в зарубежной практике применялись ТТ с новыми классами точности. Повсеместно разрабатывались и применялись алгоритмы РЗА, реализующие правильную работу защит с быстродействием порядка полупериода промышленной частоты в условиях глубокого насыщения ТТ.

Однако результаты теории работы ТТ в переходных режимах не учитываются в существующих отечественных стандартах по ТТ. Несколько крупных аварий, включая аварии в 2018 г. в Крыму и 2014 на РоАЭС, стали причиной выпуска новой серии стандартов (ПНСТ) на измерительные ТТ и проведению ряда работ по теме насыщения ТТ.

В настоящий момент в ИГЭУ происходит проверка и оценка точности существующих методов расчёта времени до насыщения измерительных индуктивных ТТ для защиты с замкнутым магнитопроводом, а также отработка новых методов, с использованием имитационных моделей ТТ [3].

Одной из основных задач исследования явилась разработка методики снятия экспериментальных характеристик намагничивания ТТ, включая частные петли гистерезиса, для построения имитационных моделей ТТ, а также методики проверки (верификации моделей ТТ) на основе экспериментально полученных осциллограмм вторичных напряжений. Для проведения экспериментальных исследований использовался комплекс моделирования в режиме реального времени RTDS. Моделирование переходных режимов, включая токи КЗ с апериодической составляющей, а также обработка вторичных напряжений ТТ и получение расчетных характеристик намагничивания производилось в программной среде RSCAD. Выдача физического сигнала тока на первичную обмотку ТТ осуществлялась с усилителя тока и напряжения PAC02. Оцифровка выходных данных осуществлялась модулем аналоговых входов GTAI. В ходе серии экспериментов была выбрана типовая схема испытаний ТТ (рисунок), а также получены кривые намагничивания магнитопровода для ТТ, имеющихся в лаборатории. Было произведено сравнение зависимостей, полученных с помощью RTDS, с зависимостями, полученными на других программно-аппаратных комплексах (например, Omicron CT-Analyzer).

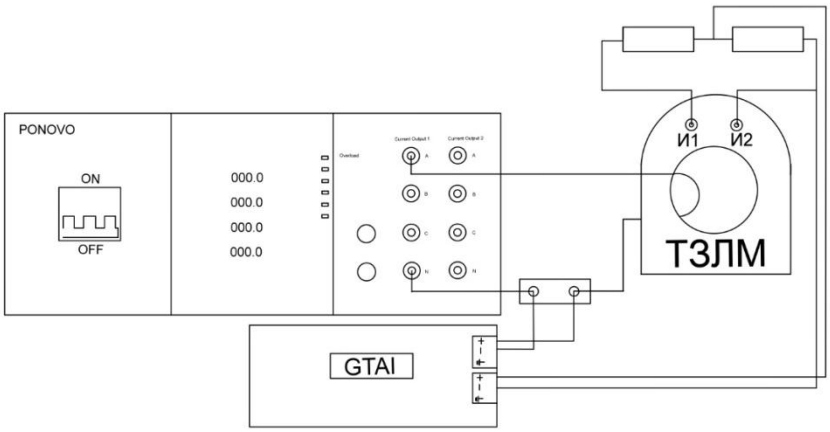


Схема эксперимента для ТТ типа ТЗЛМ

Литература

1. Стогний Б. С, Рогоза В. В., Черненко В. А. Условия подобия и физическое моделирование трансформаторов тока в установившихся и переходных режимах. Электричество. – 1970. – № 10. – С. 68-72.

2. Королев Е.П., Либерзон Э.М. Расчеты допустимых нагрузок в токовых цепях релейной защиты. - М.: Энергия, 1980.

3. Евдаков А.Е., Яблоков А.А., Филатова Г.А. Исследование имитационной модели электромагнитного трансформатора тока с учетом эффекта насыщения и остаточной намагниченности магнитопровода. – Релейная защита и автоматизация. – 2019. – Вып.3 – С. 24-29.

УДК 621.314

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ СИЛОВОГО ИНВЕРТОРА С БЕСКОНТАКТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА В УСЛОВИЯХ УВЕЛИЧЕНИЯ ДЛИНЫ КАБЕЛЯ ПРИ ПИТАНИИ ОТ ИСТОЧНИКА ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТИ

Т.В. Попова[1], О.А. Киселёва[2], С.А. Винокуров[3], Н.И. Рубцов[4], А.М. Щербаков[5]
[1]Доцент кафедры, popova1958@inbox.ru
[2] Старший преподаватель кафедры, kis.ola@mail.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, , stvinokurov@rambler.ru
[4] Студент, nrubcov85@gmail.com
[5]Канд. техн. наук, доцент, 89601257555@mail.ru
[1-5]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе приводятся результаты исследования электромагнитной совместимости инвертора с бесконтактным двигателем постоянного тока при увеличении длины кабеля с позиции процессов линии с распределенными параметрами.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, линия с распределенными параметрами, бесконтактный двигатель постоянного тока.

Проблемы электромагнитной совместимости возникают не только при подключении инвертора к источнику питания, но и при подключении электродвигателя к инвертору. Это связано с тем, что выход инвертора подключается в некоторых технологических процессах соединительными кабелями большой протяженности, длина которых может меняться в зависимости от расположения преобразователя частоты (инвертора) и двигателя. Производители инверторов ограничивают эту длину. Это связано с тем, что частота переключения силовых транзисторов порядка десятков килогерц, а время переключения около 100 наносекунд.

Скорость переключения определяется, как отношение изменения напряжения ко времени переключения. Уменьшение частоты модуляции ниже 2кГц ведёт к тому, что электродвигатель при работе издаёт дополнительный шум. Различные вариации управления электроприводом с БДПТ рассмотрены в работах [1-3].

В связи с тем, что частоты, обеспечивающие квантования по времени каждого базового вектора достигают 20кГц, а иногда и выше, то соединительный кабель можно рассматривать как «длинную линию».

В таких линиях возникают резонансные явления, такие режимы могут привести, особенно в переходных режимах, к пикам напряжения на резонансных частотах.

Процессы, протекающие в соединительном кабеле между инвертором и электродвигателем, можно описать уравнениями для линии с распределенными параметрами [4].

$$-\frac{\partial u}{\partial x}dx = r_0 dxi + L_0 dx\frac{\partial i}{\partial t};$$
$$-\frac{\partial i}{\partial x}dx = g_0 dxu + C_0 dx\frac{\partial u}{\partial t}, \qquad (1)$$

где $r_0, L_0, g_0 C_0$ - погонные параметры линии.

Решив систему уравнений (1) можно записать мгновенные значения

$$u(x,t) = \sqrt{2}A_1 e^{-\alpha x}\sin(\omega t + \psi_1 - \beta x) + \sqrt{2}A_2 e^{\alpha x}\sin(\omega t + \psi_2 + \beta x);$$
$$i(x,t) = \frac{\sqrt{2}}{z_c}A_1 e^{-\alpha x}\sin(\omega t + \psi_1 - \vartheta - \beta x) - \frac{\sqrt{2}}{z_c}A_2 e^{\alpha x}\sin(\omega t + \psi_2 - \vartheta + \beta x), \qquad (2)$$

где z_C - модуль характеристического сопротивления; α - коэффициент затухания; β - коэффициент фазы.

Решение этих уравнений показывает, что могут возникнуть отраженные волны, которые будут накладываться на падающие волны и в соединительном кабеле возникают узлы и пучности.

Это в свою очередь может привести к пробою изоляции. Особенно тщательно необходимо рассматривать вопросы, связанные с поверхностными эффектами и образованию «короны». В первом случае увеличиваются потери из-за того, что протекают токи высокой частоты, во втором случае происходит окисление за счет выработки низкостабильного озона, что разрушает изоляцию.

Для снижения побочных явлений, связанных с электромагнитной совместимостью инвертора и электрического двигателя, применяют дополнительные дроссели и сетевые фильтры.

Литература

1. Киселёва О.А. Оптимизация условий квантования по уровню и времени в управляющих функциях бесконтактным двигателем постоянного тока/ О.А. Киселёва, Т.В.Попова// Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 2014. №3 (6). С.3.

2. Попова Т.В. Учет интервалов дискретности модели системы с бесконтактным двигателем постоянного тока/ Т.В.Попова, О.А. Киселёва//Интеллектуальные информационные системы, 2012. С.43-44.

3. Винокуров С.А., Киселёва О.А., Рубцов Н.И. Эволюция состояния наблюдателя от импульса к импульсу в электроприводе с бесконтактным двигателем постоянного тока. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019;7(4). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/ VinokurovSoav-tors 4_19_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.xxx

4. Ионкин П.А. Теоретические основы электротехники. Том 1. / под. ред П.А. Ионкина. – М. Высшая школа, 1976. - 544 с.

УДК 621.642.02

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА AB5 ТИПА $LA_{0,8}CE_{0,2}NI_4CO_{0,5}MN_{0,3}AL_{0,2}$ ДЛЯ УНИФИЦИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.Н. Казаков[1], В.Ю. Бодиков[2], Д.В. Блинов[3]
[1]Науч. сотр., kazakoffalex09@gmail.com
[2]Студент, krullerr@yandex.ru
[3]Канд. техн. наук, с.н.с., доцент, JIHTRAS@yandex.ru
[1,2,3]ФГБУН Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН), Москва
[2,3] ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва

В настоящем работе приведены результаты экспериментальных исследований электрохимических свойств металлогидридного электрода в щелочном электролите при разных условиях активации и измерения электрохимических свойств. В качестве анодного материала было выбрано интерметаллическое соединение $La_{0,8}Ce_{0,2}Ni_4Co_{0,5}Mn_{0,3}Al_{0,2}$.

Ключевые слова: металлогидрид, диффузия водорода, электрохимическая емкость, циклическая стабильность.

На протяжении последних десятилетий ведутся активные исследования многокомпонентных металлогидридных материалов для практического применения в стационарном и портативном хранении водорода, термосорбционных компрессорах, хранении тепловой энергии и никель-металлогидридных аккумуляторах [1, 2]. Для использования металлогидридных материалов в электрохимических источниках энергии необходимо, чтобы они обладали высокой обратимой водородная емкостью (>1 % масс), высокой каталитической активностью, устойчивостью к коррозии в электролите и механической стабильностью, длительным сроком службы [3].

Интерметаллические соединения (ИМС) для анодных материалов можно представить общей формулой $A_mB_nH_x$, где A – металл, образующий стабильный бинарный гидрид (La, Ce, Mm, Ti, Zr, V, Mg), а металл B в обычных условиях с водородом не взаимодействует (Ni, Co, Fe, Mn, Cr, Al и другие). Одним из наиболее распространённых типов анодных материалов является интерметаллические соединения AB_5 типа, основным представителем которых является $LaNi_5$.

Эффективность работы водородсорбционных анодных материалов характеризуется следующими параметрами: максимальной емкостью заряда (C_{max}), быстрой кинетикой, которая определяется эффективным коэффициентом диффузии водорода (D_H), производительностью при высоких плотностях тока (HRD), циклической стабильностью.

Целью данной работы является исследование электрохимических свойств ИМС AB_5 типа состава $La_{0,8}Ce_{0,2}Ni_4Co_{0,5}Mn_{0,3}Al_{0,2}$ для определения скорости активации и максимальной электрохимической емкости в разных условиях,

эффективного коэффициента диффузии водорода методом потенциостатического прерывистого титрования, производительности электрода при высоких плотностях тока и циклической стабильности.

ИМС состава $La_{0,8}Ce_{0,2}Ni_4Co_{0,5}Mn_{0,3}Al_{0,2}$ был изготовлен методом дугового плавления и последующим отжигом при 950 ºС в аргоновой атмосфере с последующим закаливанием в холодной воде. Для исследования электрохимических свойств были приготовлены три электрода #1, #2 и #3 в форме таблетки диаметром 10 мм и толщиной 1 мм. Для этого размолотые порошки ИМС с размером частиц 40-60 мкм (20 %масс.) были смешаны с карбонильным никелем (80 %масс.) с последующим холодным прессованием в матрицу из пеноникеля. Карбонильный никель используется для повышения электропроводности электрода и компенсации эффекта увеличения объема кристаллической решетки активного материала. Активация образцов проводилась в щелочном электролите 6М КОН циклами заряд-разряд при плотности тока 100/100 мА/г для образцов #1 и #3 и в режиме 100/60 мА/г для образца #2. Образец #3 дополнительно был зажат между двумя стальными перфорированными пластинами для повышения устойчивости рабочего электрода.

Максимальная электрохимическая емкость достигает 310-330 мАч/г на 3-8 цикле активации. Самый длительный период активации наблюдается для образца #3 за счет пространственных ограничений. Производительность электродов при высоких плотностях тока монотонно уменьшается с увеличением плотности тока до 1000 мА/г. Условия активации не имеют значимого влияния на данную характеристику. Для образца #3 характерно более резкое падение производительности электрода практически до нуля при 1000 мА/г, что скорее всего связано с побочными паразитическими процессами, протекающими на перфорированных пластинах. Этот эффект также подтверждается исследованиями циклической стабильности при плотности тока 300 мА/г. Диффузия водорода в ИМС измерена потенциостатическим прерывистым титрованием с малой амплитудой (0.02 В для образцов #1 и #3, 0.01 В для образца #2).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (Проект № 17-79-20413).

Литература

1. Sandrock G., R.C. Bowman, Gas-based hydride applications: recent progress and future needs// Journal of Alloys and Compounds 356-357 (2003) p. 794-799.

2. Sandrock G., A panoramic overview of hydrogen storage alloys from a gas reaction point of view // Journal of Alloys and Compounds 293-295 (1999) p. 877-888.

3. Ouyang, L., et al., Progress of hydrogen storage alloys for Ni-MH rechargeable power batteries in electric vehicles: A review// Materials Chemistry and Physics 200(Supplement C) (2017) p. 164-178.

УДК 541.138

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ AZ31 И ZK60 В РЕАКЦИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА

А.Л.Габов[1], Н.А. Медведева[2], Н.Е. Скрябина[3], И.Д. Саранова[4]
[1]Аспирант, andrus-prm@mail.ru
[2]К-т хим. наук, доцент, nata-kladova@yandex.ru
[3]Д-р физ.-мат. наук, профессор, natskryabina@mail.ru
[4]Студент
ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

В работе анализируются реакции выделения и сорбции электролитического водорода магниевыми сплавами AZ31 и ZK60. На основе метода катодных поляризационных кривых установлено, что сплавы на основе магния являются более активными в реакции выделения водорода в 8-10 раз. Исследовано использование метода электрохимической экстракции по отношению к этим сплавам. Выяснено, что использованию этого метода мешает параллельный процесс вытравливания атомов Zn и Al в щелочной среде.

Ключевые слова: реакция выделения водорода, магний, ркуп.

Для материалов сорбентов водорода предъявляются два фундаментальных требования: значение обратимой емкости по водороду и высокая кинетика реакций гидрирования и дегидрирования материалов. Один из лидеров среди сорбентов, магний, имеет обратимую водородную емкость в 7,6 мас.%, однако кинетика процессов недостаточно высока и требует дополнительных воздействий на материал для повышения скорости. Для порошковым материалов известным методом обработки является механоактивация в шаровых мельницах. Для объемных материалов в последнее время активно используются методы интенсивной пластической деформации (ИПД): равноканальное угловое прессование (РКУП) [1], ковка, прокатка, кручение под высоким давлением и др. Данные методы воздействия создают в материалах высокую плотность дефектов (внутренних и поверхностных) и микрозеренную структуру, которые способствуют процессам сорбции водорода.

Представляет интерес изучение влияния ИПД не только на процессы сорбции водорода магнием, но и на процесс выделения водорода при электрохимическом наводороживании [2]. В данной работе было изучено влияние РКУП на Mg и сплавы на его основе – AZ31 (Mg-Al-Zn) и ZK60 (Mg-Zn-Zr). В ранних исследованиях установлено, что определяющим фактором является температура деформации РКУП: для максимального измельчения микроструктуры сплава необходимо проводить 2 цикла при температуре 250-300°C по маршруту Bc.

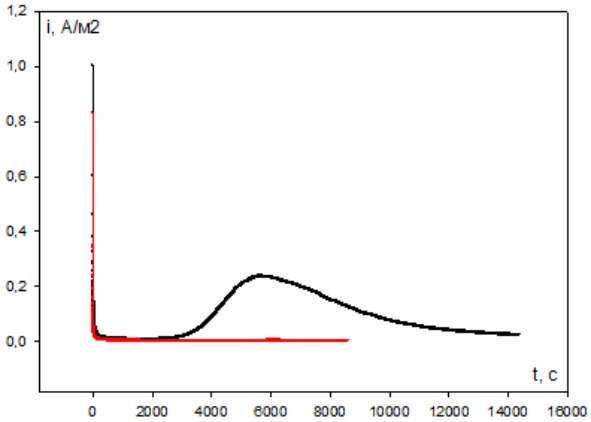
Электрохимическое поведение материалов в реакции выделения водорода изучали потенциодинамическим методом катодных поляризационных кривых в 1М растворе КОН. Легирующие добавки оказывают существенное влияние на катодное поведение сплавов, у которых отмечены протяженные линейные

участки в диапазоне потенциалов 1.4÷1.6 В, описывающиеся уравнением Тафеля. В таблице представлены измеренные значения катодного процесса, из которых можно сделать вывод, что сплав AZ31 является более активным к РВВ. Воздействие РКУП меняет поведение магниевых сплавов и магния к РВВ.

Плотность катодного тока у магния и его сплавов в 1М растворе КОН

Образец	i_k (А/см^2) при E = -1,4 В
Mg	0,1656
AZ31	1,0189
ZK60	0,8203

Ранее авторами изучался метод электрохимической экстракции для определения запасаемого водорода в материалах. Однако в магниевых сплавах при снятии кривых экстракции было отмечено, что на них отмечается размытый пик (рисунок) по сравнению с магнием и другими материалами, которые изучались данным методом.



Кривые экстракции магния и сплава AZ31

Было сделано предположение, что пик повышения плотности тока связан с тем, что идет поверхностное вытравливание цинка и алюминия из сплавов в щелочном растворе. Данное предположение было доказано анализом поверхности «по точкам» методом СЭМ и анализом на спектрометре с индукционно-связанной плазмой следов элементов в щелочном растворе.

Литература

1. Skryabina N.E. Microstructure optimization of Mg-Alloys by the ECAP process including numerical simulation, SPD treatments, characterization andhydrogen sorption properties / N.E. Skryabina, V. Aptukov, P. Romanov, D. Fruchart, P. De Rango, G. Girard et al// Molecules. - 2019. - Т. 24. - В. 1. - С. 89.

2. Габов А.Л. Влияние способов и условий интенсивной пластической деформации на электрохимическое наводороживание магния / А.Л. Габов, А.А. Хренова, Н.А. Медведева, Н.Е. Скрябина, Д. Фрушар, Е.Ф. Кузнецова // Известия ВУЗов. Серия: Химия и химическая технология. – 2014. – Т.57. – В.12. – С. 52-55.

УДК 544.65; 620.98

ЭНЕРГЕТИКА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Руссу А.В.[1], Шалимов Ю.Н.[2], Некравцев Е.Н.[3]
[1]Ассистент, arussu@mail.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, shalimov_yn@mail.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент

[1-3]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе рассмотрены вопросы повышения надежности обеспечения поставок тепловой и электрической энергии конечным потребителям на основе систем с завершенным циклом. Предложено применение технологий газогенерации для переработки отходов сельскохозяйственных и пищевых производств для выработки энергии и получения органоминеральных удобрений.

Ключевые слова: альтернативная и возобновляемая энергетика, переработка и утилизация отходов.

Бесперебойное обеспечение тепловой и электрической энергией потребителей важнейшая народно-хозяйственная задача, решение которой обеспечивает энергетическую безопасность страны. Основные вызовы связаны с ограниченностью запасов ископаемых углеводородов, токсичностью при использовании атомной генерации и узкой областью применения как ветрогенераторных, так и гелио-ориентированных систем. На наш взгляд, наиболее приемлемым подходом в условиях нашей страны является использование возобновляемой биомассы.

Трудности использования возобновляемой биомассы связаны, в большей степени, с отсутствием надлежащего внимание к существующим перспективным разработкам. Использование газогенераторных установок, известных своей эффективность, в том числе на транспорте, в нашей стране вплоть до 60-х годов XX в., позволяет создать высокоэффективные системы переработки отходов сельскохозяйственных и пищевых производств в тепловую и электрическую энергию.

Принцип действия газогенератора основан на цепочке термохимических преобразований вещества из твердой (или жидкой) фазы в газообразную в интервале температур от 850 до 1300 °С. При этом основным продуктом является синтетический газ, который горюч. Такая установка не имеет побочных нежелательных эффектов – не выделяет токсичных веществ, проста в изготовлении, обслуживании и утилизации. Оснащенная узлами преобразования тепловой энергии в электрическую, газогенераторная установка представляет собой вполне автономный энергогенерирующий комплекс, который может иметь вариант мобильного исполнения.

Для повышения теплотворной способности генерируемого синтез-газа энергоустановка может быть дополнительно модернизирована под требуемые

параметры концентрации составляющих газовых компонентов получаемого генераторного газа. Это обеспечивается введением в зону реакции элементов с заданными каталитическими свойствами.

Применение предлагаемого энергогенерирующего комплекса на начальном этапе может стать основой построения дублирующей системы энергоснабжения. При этом существующие газо-, тепло-, электро- подводящие коммуникации по-прежнему могут быть использованы. Потребуется дополнительная работа только по налаживанию и согласованию систем энергоуправления. В дальнейшем рост мощности возобновляемой энергетической компоненты позволит полностью обеспечить все энергетически потребности и перевести силовые агрегаты в режим дублирования, а затем полной консервации. Тем самым будут учтены существующие и прогнозируемые потребности энергии, а также обеспечен оптимальный экологический баланс.

Дополнительным полезным эффектом является то обстоятельство, что такая энергосистема обладает повышенной живучестью, поскольку представляет собой сетевую структуру из множества автономных источников и рассредоточена по всей территории.

Литература

1. Шалимов Ю.Н. Повышение устойчивости работы энергосистемы в условиях чрезвычайных ситуаций// Шалимов Ю.Н., Журавлева И.В., Евсеев Е.П., Руссу А.В. Энергия - XXI век. 2019. № 3 (107). С. 34-40.

УДК 544.65; 620.98

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А.В. Помигуев[1], Ю.Н. Шалимов[2], А.В. Руссу [3]
[1]Преподаватель, pomiguev.ias@yandex.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, shalimov_yn@mail.ru
[3]Ассистент, arussu@mail.ru
[1]ф-л Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г.Сызрань
[2,3]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе рассмотрены вопросы повышения надежности движителя летательного аппарата. Предложено применение технологий объемного 3D-хранения аккумулирования водорода для обеспечения устойчивости работы силовой установки.

Ключевые слова: силовая установка летательного аппарата, хранение водорода.

Предлагаемый вариант разработки позволяет обеспечить аварийную посадку летательного аппарата при отказе работы основного маршевого двигателя в режиме импульсной работы. Причины отказа работы двигателя могут быть разнообразны, в том числе случайные, а главная конструкторская задача безопасность человека во время полета, взлета и посадки. Варианты схемы, ее конструкторского технологического решения – определяются из технических характеристик летательного аппарата. Основные узлы, обеспечивающие функцию резервирования: источник резервного энергопитания, электролизер, схема управления, система питания, фильтр-редуктор, резервный двигатель (дополнительная опция).

Главная работа сосредоточена на получении высокоэффективных систем аккумулирования различных видов энергии. Предпочтение – электрической энергии, как наиболее универсальной и надежной в системе ее транспорта и преобразования. Минимизация числа элементов преобразования и распределения энергии для сокращения отказов техники возможна при условии, что функциональные преобразования должны обеспечивать свойства вещества. В качестве примера служит способ получения электродвижущей силы с помощью термопары или использование эффекта Пельтье для получения нагрева или охлаждения системы в зависимости от направления тока через нее. Повышение эффективности преобразования тепловой энергии в электрическую является одной из актуальных задач. Ее перспективное решение возможно при изучении тонкой структуры вещества, эмитирующего электроны.

Компактным источником тепловой энергии может быть выбран водород, хранящийся без давления в металлгидридной форме. Наиболее приемлемым металлом является алюминий.

Для получения водорода следует обратиться к альтернативным энергетическим ресурсам, прежде всего это возобновляемая биомасса,

количество которой достаточно для производства топлива и энергии, обеспечивающего решения как транспортных, так и других народно-хозяйственных задач.

Литература

1. Шалимов Ю.Н. Исследование эффектов тепловыделения в электрохимических системах и их использование в технологиях производства энергоемких источников для летательных аппаратов// Шалимов Ю.Н., Парфенюк В.И., Корольков В.И., Шуклин И.К., Кудряш В.И., Руссу А.В. Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2019. Т. 62. № 1. С. 46-53. DOI: https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196201.5798.

УДК 544.65; 620.98

ЭНЕРГИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА КАК ФАКТОР ГРАДИЕНТА ПЛОТНОСТИ ТОКА МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДАМИ

Корольков В.И.[1], Шалимов Ю.Н.[2], Самохвалов В.В.[3]
[1]Д-р техн. наук, профессор, korolkov_vi@bk.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, shalimov_yn@mail.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент

[1-3] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В работе рассмотрены вопросы перспективного использования воздушных электрохимических систем для создания тяги летательного аппарата. Указаны перспективы дальнейших исследований.

Ключевые слова: летательный аппарат, транспорт, электрохимическая система.

Структурное изменение состояния вещества создает условия для генерации механической энергии движения. Электрохимическая система, рабочим телом в которой является окружающий воздух, позволяет рассмотреть возможность создания тяги на новом физическом принципе – заданные аэродинамические показатели обеспечивает управление тлеющим разрядом в газовой среде. Наличие температурных эффектов на электродах формирует зону градиента тепла, которая обеспечивает тяговое усилие. Запас энергии может быть аккумулирован, например, за счет металлгидридных накопителей.

Особенность данного подхода состоит в уникальной схеме решения, обеспечивающей надлежащее расположение электродов системы. Дополнительно решается вопрос об увеличении ресурсной базы устройства повышения скорости движения, дальности и устойчивости полетов. Поскольку электродные компоненты имеют игольчатую форму и равноудалено закреплены на конической подставке, то подвержены в процессе эксплуатации повышенному износу. Для снижения негативного фактора предложено формировать данные компоненты из монокристаллической структуры и непрерывный режим работы перевести в микро импульсный для достижения циклонного эффекта.

Летательные аппараты с использованием указанной силовой установки приобретают новое техническое качество – бесшумность, малозаметность, маневренность. Применение таких систем в диапазоне дозвуковых скоростей особенно эффективно, поскольку в данном режиме рабочие температуры в зоне реакции обладают малым деструктивным эффектом.

Возможно гибридное исполнение силовой установки, в которой для достижения высоких скоростей будет использоваться водородное топливо. Данный подход обладает значительными резервами для совершенствования авиационных движителей.

Переход на новые физические принципы в технике объективен, поскольку открываются перспективные возможности для обеспечения летательных аппаратов и транспортного сегмента в целом экологичным, высокоэффективным и безопасным двигателем и источником энергии.

Литература

1. Шалимов Ю.Н. Статистический анализ патентов на авиационные энергетические установки// Шалимов Ю.Н., Корольков В.И., Будник А.П., Гусев А.Л., Руссу А.В. Вестник машиностроения. 2019. № 8. С. 81-88.

УДК 66.011

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ВЫСУШИВАНИЕ ОСАДОЧНОГО ИЛА СТОЧНЫХ ВОД

Ю.Я. Печенегов[1], А.В. Царюнов[2], Ю.А. Грачева[3]
[1]Д-р техн. наук, профессор, y.pechenegov@mail.ru
[2]Гл. инженер, avtsaryunov@mail.ru
[3]Магистрантка, july08123@mail.ru
[1] Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина»
[2] НИИ технологий органической, неорганической химии и биотехнологий
[3] ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Приводятся результаты экспериментального исследования разных способов обезвоживания осадочного ила сточных вод. Предложен энергоэффективный способ сушки ила и устройство для осуществления способа.

Ключевые слова: осадочный ил, влагосодержание, скорость сушки, энергетическая эффективность.

Осадочный ил промышленных и бытовых канализационных стоков содержит большое количество коллоидных и мелкодисперсных твердых частиц, образующих в смеси с водой пастообразную массу, трудно поддающуюся высушиванию. Влагосодержание иловой массы складируемой на полевых полигонах мало изменяется в естественных условиях и по истечении нескольких лет может составлять 300 % и выше. Важность решения задач по устранению занимающих большие площади земли многочисленных иловых полигонов в стране и переработки накопленного ила для получения полезных продуктов обуславливает необходимость изучения и последующего промышленного применения процесса искусственной сушки осадочного ила сточных вод. Процесс сушки ила входит составной частью в технологию его переработки.

С целью определения свойств осадочного ила, как высушиваемого материала, были проведены лабораторные исследования. Установлено, что механический отжим капилярно-связанной влаги в образце ила с начальной влажностью 340 % и с мелкодисперсной основой сухого вещества при приложении нагрузки величиной 9 кг/см^2 не дает положительного результата. Естественное высушивание образца ила размером 10х20х10 мм в вытяжном шкафу в условиях свободно-конвективного теплообмена с окружающим воздухом при температуре 28 °С показало, что в течение суток влагосодержание образца уменьшилось с 340 % до величины 120 %.

Основные эксперименты состояли в высушивании образца в форме цилиндра диаметром 45 мм, длиной 140 мм, который размещался в сушильном шкафу на подвесе, соединенном с аналитическими весами. Температура воздуха в рабочей камере шкафа была постоянной во времени и составляла 150 °С.

В условиях экспериментов для измерения влагосодержания образца ила от начального значения $U_{нач}$ = 340 % до значения U = 17,6 % потребовалось 7,65 часа, а через 9,5 часов высушивания влагосодержание достигло 1,8 %. Скорость сушки образца ила в периоде постоянной скорости сушки составляла N_1 = 66 %/ч. Критическая влажность ила, соответствующая переходу от периода постоянной скорости сушки к периоду падающей скорости сушки, имела величину $U_{кр}$ = 235 %. Столь большое значение $U_{кр}$ указывает на наличие значительного количества связанной влаги в иле, которая трудно удаляется при высушивании.

Аппроксимация полученных опытных данных для периода падающей скорости сушки привела к зависимости для скорости сушки в периоде

$$N_2 = 17 + 0{,}2U, \text{ \%/ч.}$$

Полученные данные по скорости сушки ила дают возможность определять время сушки и в режимах, отличающихся от опытного, при использовании для этого, например, расчетного метода В.В. Красникова [1].

Процесс высушивания осадочного ила отличается большой энергозатратностью. Расчеты показывают, что при изменении влагосодержания ила от 340 % до 40 % удельный расход тепла, включающий в себя затраты на нагрев исходных иловых осадков, испарение влаги и разнообразные потери тепла в сушильном устройстве, составляет не менее 4000 кДж/кг испаренной влаги.

Авторами разработана энергосберегающая многоленточная сушилка осадочного ила, в которой основным греющим теплоносителем, поступающим во внутренние регистры сушилки, является выделяющийся при сушке ила пар, который подвергается сжатию в компрессоре. Сушильным агентом служит тот же пар испаряющейся из ила воды и заполняющей рабочую камеру сушилки. Данный пар – сушильный агент является перегретым. Тепло для перегрева он получает от стенок внутренних регистров. В сушилке реализован принцип действия теплового насоса, в составе которого используется струйный или механический компрессор. Согласно расчетам, удельный расход энергии, подводимой к сушилке от внешних источников, составит 2300 кДж/кг испаренной влаги, что существенно ниже названных выше затрат энергии при традиционной тепловой сушке.

Литература

1. Красников В.В. Методы анализа и расчета кинетики сушки // Химическая промышленность. 1979. №7. с. 40 — 43.

УДК 537.31

ЭЛЕКТРОПРИВОД НАМОТОЧНОГО СТАНКА С СИСТЕМОЙ ПОДЧИНЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ

А.М. Литвиненко[1], Д.С. Баранов[2], А.Е. Новиков[3]
[1]Д-р техн. наук, профессор, den.baranov.1993@bk.ru
[2]Аспирант, den.baranov.1993@bk.ru
[3]Аспирант, andreuis@mail.ru
[1, 2,3]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Приведена структурная и функциональная схема электропривода намоточного станка, построена и проанализирована модель, произведена настройка контуров регулирования.

Ключевые слова: намоточный станок; электропривод намоточного станка; асинхронный двигатель, преобразователь частоты, математическое моделирование.

Комплексная автоматизация и механизация электроприборостроения, направленная на повышение производительности труда, снижение себестоимости продукции и повышение качества изделий, немыслима без широкого внедрения новейшей техники и прогрессивной технологии [1].

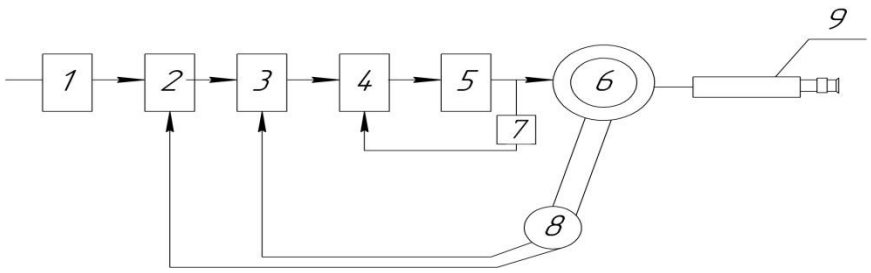
Малая производительность и недостаточная надежность существующего намоточного оборудования, отсутствие централизованного выпуска, низкий уровень механизации и автоматизации – все это привело к тому, что удельный вес намоточных работ на протяжении многих лет практически остается неизменным.

Выпускаемые малыми партиями намоточные станки далеко не удовлетворят потребностям производства по техническим данным, а отдельные части конструкции станков, созданные некоторыми организациями, зачастую являются узкоспециализированными и остаются достоянием небольшого круга предприятий [2]. Поэтому имеется острая необходимость в высокопроизводительных станках рядового наматывания.

Станки кольцевого наматывания имеют существенные технологические и конструктивные недостатки: небольшой диапазон технологических возможностей, неточность раскладки провода по шагу, низкая производительность.

Важной задачей является создание работоспособных станков для изготовления миниатюрных катушек с внутренним отверстием после наматы-вания менее 1 мм [3].

В настоящее время широкое распространение получили различные устройства управления намоточными станками, которые ведут к повышению качества намотки [4]. Для намотки сверхтонкого эмальпровода, был выбран электропривод намоточного станка, функциональная схема которого изображена на рисунке.



Функциональная схема электропривода намоточного станка
1 - устройство с числовым программным управлением; 2 - регулятор положения; 3- регулятор скорости; 4 - регулятор тока; 5 - преобразователь частоты; 6 - асинхронный двигатель; 7 - датчик скорости; 8 - датчик тока; 9 - исполнительный механизм (укладчик)

В результате проведенных исследований была построена структурная и функциональная схема электропривода намоточного станка, построена и проанализирована модель. Рассчитаны основные параметры электропривода намоточного станка. Настройка контуров регулирования осуществился с помощью системы подчинённого управления [5]. Система подчинённого управления электропривода намоточного станка состоит из трех контуров: контура тока, контура скорости и контура положения. Настройка и построение данных контуров было осуществлено в пакете MATLAB & Simulink. Из результатов исследования следует, что введение блока учета растяжения в системе управления намоточного станка позволяет снизить динамические нагрузки на рабочий участок провода, что ведет к уменьшении брака. По данным опытной эксплуатации удалось снизить процент брака с 30% до 15%.

Литература

1. V.M. Terekhov Control systems of electric drives: a textbook for stud. supreme. training. institutions. Ed. V.M.Terekhov. - 2 nd ed., Sr. - M .: Publishing Center "Akademiya", 2006. - 304 s.

2. Grigorev M.A. [Extreme performance of electric drives with fieldregulated reluctance machine and with other motor types]. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering, 2009, no. 34 (167), pp. 51–55.

3. J. Shaw, Analysis of Traditional PID Tuning Methods, presented at the Instrument Society of America conference, Chicago, IL, September, 1993

4. Usynin Yu.S., Grigorev M.A., Shishkov A.N. et al. [Parametric optimization of variable speed drives]. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering, 2012, no. 37 (296), pp. 30–33.

5. H. Wade, Course notes for Principles of Applied Automatic Control (an ISA short course), Instrument Society of America, 1992 Grigorev M.A. [Electric drive with field regulated reluctance machine]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Elektromekhanika [Bulletin of the High Schools. Electromechanics], 2013, no. 4, pp. 32–36.

УДК 621.314

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ БЕСКОНТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ИСТОЧНИКОМ ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТИ

С.А. Винокуров[1], О.А. Киселёва[2], А.Ю. Тимошкин [3], Т.В. Попова[4], А.М. Щербаков[5]
[1]Канд. техн. наук, доцент, stvinokurov@rambler.ru
[2] Старший преподаватель кафедры, kis.ola@mail.ru
[3]Студент, styl31@yandex.ru
[4]Доцент кафедры, popova1958@inbox.ru
[5]Кандидат. техн. наук, 89601257555@mail.ru
[1-5]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе приводятся результаты исследования электромагнитной совместимости электропривода с бесконтактным двигателем постоянного тока с источниками ограниченной мощности.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, бесконтактный двигатель постоянного тока, источник постоянного напряжения ограниченной мощности.

Питание электроприводов с бесконтактными двигателями постоянного тока (БДПТ) от источников ограниченной мощности, таких как аккумуляторы и солнечные батареи, требует исследования их электромагнитной совместимости при соблюдении условий электромеханической совместимости. При питании от источников постоянного тока инвертор является формирователем высших гармоник в сети, причем амплитуды и частоты этих гармоник зависят от алгоритмов управления, формируемых в системе управления. В этих случаях преобразование энергии происходит один раз при формировании управляющего дискретного поля [1, 2], а падение напряжения на внутреннем сопротивлении сети будет зависеть от рабочего вращающегося поля тока. Состояния инверторов характеризуются подключением источника питания к нагрузке (формирование управляющих импульсов) и процессами, которые формируются при нулевых импульсах без подключения к источнику. Потребляемый ток из сети будет совпадать с током, формирующим рабочее поле, только во время существования ненулевого управляющего импульса.

Отсюда следует, что потребляемый ток можно определить из уравнения

$$U_{Н} = U - Ri - L\frac{di}{dt}, \qquad (1)$$

где $U_{Н}$ - постоянное напряжение с искажающими составляющими в точке общего подключения остальных нагрузок; U - постоянное напряжение источника; i - ток, сформированный рабочим вращающимся полем; R, L - активное и реактивное сопротивления проводов, соединяющих инвертор с сетью. Рабочее вращающееся токовое поле будет зависеть не только от

управляющего воздействия, но и от того, как обеспечена электромеханическая совместимость

$$J\frac{d\omega}{dt} = M_{\acute{Y}\grave{I}}\ (t,i) - M_{H}(t), \qquad (2)$$

где J - приведенный момент инерции нагрузки; $M_{\acute{Y}\grave{I}}\ (t,i)$ - момент электромагнитный, как функция момента времени (наличие управляющего или нулевого вектора) и тока; $M_{H}(t)$- момент нагрузки, как функция времени (функции технологического процесса во времени).

Рассмотрим электропривод с БДПТ без электромеханического датчика положения ротора. Роль электромеханического датчика выполнит наблюдатель состояния, который по косвенным измерениям сформирует сигнал обратной связи, содержащей информацию о состоянии системы [3, 4]. Наблюдатель состояния обладает более высокой надежностью.

Задача электромагнитной совместимости становится многокритериальной и включает в себя: решение вопроса электромеханической совместимости электропривода с нагрузкой; обеспечение потребления тока инвертором из сети с минимальным содержанием высших гармонических составляющих; использование критерия оценки, который базируется не на суммарном среднем значении, а оценивается по максимальной амплитуде из всех гармонических составляющих; выбор структуры наблюдателя состояния; разработка алгоритма управления инвертором (формирование дискретного управляющего поля).

Литература

1. Винокуров С.А. Вариации импульсного управления бесконтактным двигателем постоянного тока/ С.А. Винокуров, О.А. Киселёва, Т.В. Попова// Энергия – XX1 век.2016. №1(93) С.53-59.

2. Киселёва О.А. Дискретный эквивалент идеальному векторному управлению бесконтактным двигателем постоянного тока/ О.А. Киселёва, С.А. Винокуров, Т.В. Попова// Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 2017. №1 (16). С.16.

3. Винокуров С.А., Киселёва О.А., Рубцов Н.И. Эволюция состояния наблюдателя от импульса к импульсу в электроприводе с бесконтактным двигателем постоянного тока. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019; 7(4). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/VinokurovSoavtors_4_19_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.xxx

4. Киселёва О.А., Попова Т.В., Тимошкин А.Ю. Особенности применения наблюдателя состояний в бесконтактном двигателе постоянного тока. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019; 7(4). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/KiselevaSoavtors_4_19_1.pdf.

УДК 621.314

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С БЕСКОНТАКТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

О.А. Киселёва[1], С.А. Винокуров[2], Т.В. Попова[3], А.Ю. Тимошкин[4], В.В. Бабенко[5]
[1] Старший преподаватель кафедры, kis.ola@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, stvinokurov@rambler.ru
[3]Доцент кафедры, popova1958@inbox.ru
[4]Студент магистратуры, styl31@yandex.ru
[5]Аспирант, vova.babenko.94@mail.ru
[1-4] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе приводятся результаты исследования дискретно - непрерывных систем управления в электроприводе с бесконтактным двигателем постоянного тока с позиции гибридных систем.

Ключевые слова: энергосберегающее управление, бесконтактный двигатель постоянного тока, дискретно-непрерывная система управления.

Электропривод с бесконтактным двигателем постоянного тока (БДПТ) можно рассматривать как гибридную систему, это связано с тем, что происходит последовательное сменяющееся подключение базовых векторов, которые определяют режимы функционирования.

Непрерывными режимами можно считать в таких системах условия, при которых формируется управляющий сигнал в определенном базовом векторе, а переключение от вектора к вектору – дискретным действием. Такую систему управления ещё называю пространственно-временной системой, так как в ней необходимо учитывать геометрию расположения базовых векторов [1, 2].

Дискретные системы с БДПТ можно рассмотреть с позиции дискретизации по времени (случай широтно - импульсной модуляции в инверторе, не связанный с переключением базовых векторов).

Дискретизация по пространству – это использование в управлении только базовых векторов, переключающихся по определенному алгоритму.

Дискретизация по пространству и времени – это обеспечение импульсного управления отдельно в каждом базовом векторе при их переключении [3].

Нагрузкой источника питания переменного тока является управляемый или неуправляемый выпрямитель, а выпрямитель питает инвертор, инвертор в свою очередь формирует дискретное вращающееся поле. Ток, который потребляется из сети, определяется нагрузкой на валу электрической машины. Величина и форма тока определяется не только нагрузкой, но и законом формирования дискретного вращающегося поля. Особый интерес представляют системы с наблюдателями состояний [4].

При исследовании возможностей энергосберегающего управления в

электроприводе с БДПТ с позиции представления её как гибридной системы можно рассмотреть ещё несколько видов её поведения:

- скачкообразное изменение переменных;
- изменение состава (отказ некоторого элемента системы и переход на резервный режим).

Как известно, энергопотребление микропроцессорной системы управления, очень мало по сравнению с потреблением силовых частей схемы, и его можно не учитывать даже с расширением функций управления, что открывает возможности управления не только инвертором, но и выпрямителем.

Для обеспечения энергосберегающего режима работы электропривода при питании от источника переменного напряжения необходимо решать вопросы, связанные с двойным преобразованием энергии:

- из переменного в постоянное напряжение;
- из постоянного напряжения в импульсное с определенной длительностью и частотой.

В этом случае в первую очередь необходимо проанализировать работу выпрямителя, который обеспечивает инвертор постоянным напряжением. Применение активных выпрямителей с рекуперацией энергии в сеть повышает КПД электропривода.

Гибридное управление позволяет использовать режимы, которые обеспечивают оптимизацию по переключению базовых векторов.

Отсюда следует, что энергосберегающие режимы возможно осуществить при использовании гибридных методов управления не только непосредственно в создании управляющего дискретного вращающегося поля, но и в управляемом выпрямителе, за счет применения режимов оптимизации потребления реактивной мощности из сети.

Литература

5. Киселёва О.А. Дискретный эквивалент идеальному векторному управлению бесконтактным двигателем постоянного тока/ О.А. Киселёва, С.А. Винокуров, Т.В. Попова// Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 2017. №1 (16). С.16.

6. Киселёва О.А. Оптимизация условий квантования по уровню и времени в управляющих функциях бесконтактным двигателем постоянного тока/ О.А. Киселёва, Т.В.Попова// Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 2014. №3 (6). С.3.

7. Пархоменко Г.А. Особенности векторного управления бесконтактным двигателем постоянного тока/ Г.А. Пархоменко, О.А. Киселёва, И.С.Федосова, В.В. Бабенко// Энергия –XX1 век.2016. №1(93) С.72-79.

8. Киселёва О.А., Попова Т.В., Тимошкин А.Ю. Особенности применения наблюдателя состояний в бесконтактном двигателе постоянного тока. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019; 7(4). // https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/KiselevaSoavtors_4_19_1.pdf.

УДК 628.83

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ КЛИМАТИЗАЦИИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ БЫСТРОТРАНСФОРМИРУЮЩИХСЯ ЗДАНИЙ

В.В. Шичкин[1], М.Н. Жерлыкина[2], С.А. Яременко[3]
[1]Аспирант, adiadi23@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, zherlykina@yandex.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, jaremenko83@mail.ru
[1,2,3] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Предложено решение по повышению энергосбережения системы климатизации при выявленных характеристиках приточно-вытяжного воздуха, а именно – рекуперация с промежуточным теплоносителем и дополнительными теплообменниками. Представлена принципиальная схема и уточнены температурные диапазоны сред, циркулирующих в контурах системы.

Ключевые слова: энергоэффективность; рекуперация; теплоизбытки; приточно-вытяжная вентиляция; продолжительность пребывания людей; теплообменник.

В настоящее время на территории Российской Федерации отмечается массовое строительство универсальных быстротрансформирующихся зданий. Архитектурно-планировочное проектирование и устройство систем обеспечения микроклимата для помещения зрительного зала со сценой характеризуются многозадачностью и индивидуальностью проработки. Особенности функционально-технологических процессов необходимо учитывать при проектировании системы вентиляции, которая в свою очередь должна быть энергоэффективной [1, 2, 3].

Расчет температуры воздуха, удаляемого системами вентиляции, для помещения высотой более 4 м, ºС, и производительности системы климатизации, кг/ч, в зависимости от продолжительности пребывания людей, представлен на рис. 1.

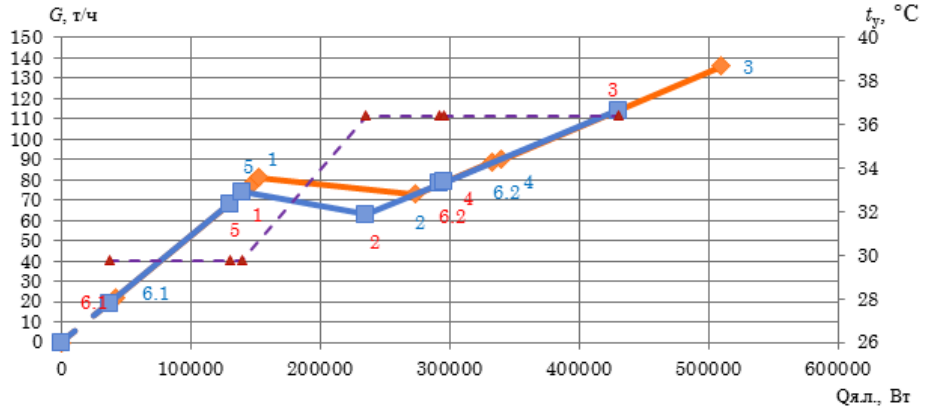


Рис. 1. Определение температуры уходящего воздуха при вентилировании помещения заданного назначения (табл. 2), , - при температуре внутреннего воздуха 23 ºС, – при 25 ºС

Теплоту уходящего воздуха рекомендуется использовать для рекуперации с промежуточным теплоносителем и дополнительными теплообменниками. Энергетические функции, которые возможны в теплый период года – это рекуперация теплоты и охлаждение. Принципиальная схема рекуперации холодоносителя представлена на рис. 2.

В системе рекуперации используется пластинчатый теплообменник. В теплый период года температурный график холодильной машины для холодоносителя фреона имеет температурный диапазон $t_{хм1.1}$ / $t_{хм1.2}$ = +7 ºС / +12 ºС. В замкнутом контуре циркулирует промежуточный холодоноситель – 30 % этиленгликоль. Применение предлагаемой схемы возможно при строгом соблюдении и поддержании параметров жидкости внутри замкнутого контура между приточной и вытяжной установкой в расчетном диапазоне.

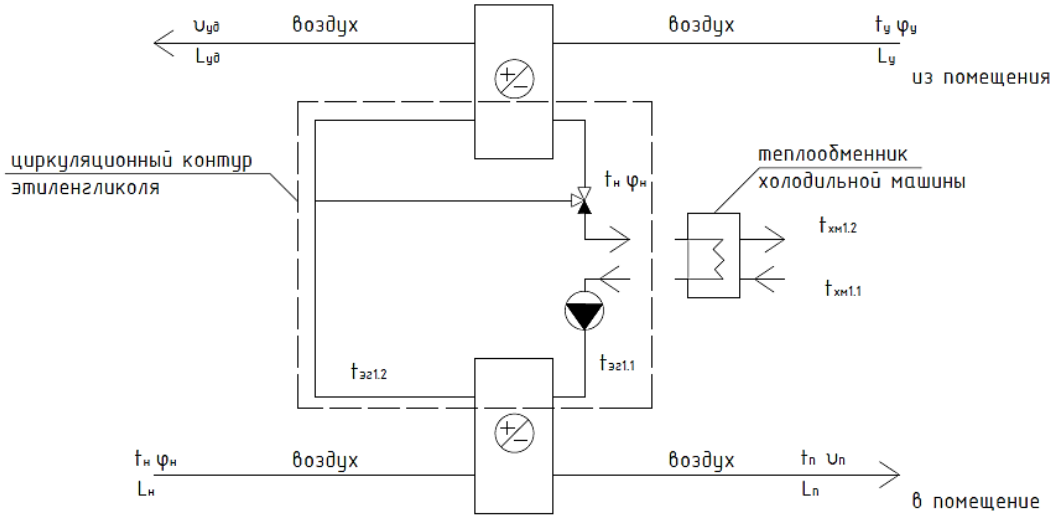


Рис. 2. Принципиальная схема системы рекуперации холодоносителя в теплый период года: $t_у$, $\varphi_у$, $L_у$–температура, ºС, относительная влажность, %, объемный расход, м^3/ч, уходящего воздуха; $t_{уд}$, $\varphi_{уд}$, $L_{уд}$ – температура, ºС, относительная влажность, %, объемный расход, м^3/ч, удаляемого воздуха; $t_п$, $\varphi_п$, $L_п$ – температура, ºС, относительная влажность, %, объемный расход, м^3/ч, приточного воздуха; $t_н$, $\varphi_н$, $L_н$ – температура, ºС, относительная влажность, %, объемный расход, м^3/ч, наружного воздуха; $t_{эг1.1}$, $t_{эг1.2}$ – температура этиленгликоля на входе и на выходе в теплообменник, соответственно, внутри замкнутого контура; $t_{хм1.1}$, $t_{хм1.2}$ – температура холодоносителя на входе и на выходе, соответственно, в теплообменник холодильной машины

С целью повышения энергосбережения системы климатизации предложена принципиальная схема системы рекуперации с промежуточным теплоносителем и дополнительными теплообменниками.

Литература

1. Y.V. Miller Recommendations about design of the OVK systems of sports constructions. AVOK (2015) No. 6. Pp. 39-46.

2. M.N Zherlykina., T.V. Shchukina, E.I. Lobov Ensuring energy saving of air conditioning system of public catering enterprises. Housing and utilities infrastructure (2018) No. 3(6). Pp. 34-42.

3. A.V. Sverdlov. Modern technologies of heat recovery in climatic equipment. AVOK (2014) No. 3. Pp. 28-30.

УДК 621.577.44

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ АВТОНОМНОМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ОТОПЛЕНИИ

С.В. Дахин[1], В.В. Портнов[2], Н.Н. Кожухов[3], А.В. Муравьёв[4]
[1]Канд. техн. наук, доцент, svdakhin@ya.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, g_beard@mail.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, k0zhukhov@yandex.ru
[4]Канд. техн. наук, доцент, nix2001@yandex.ru
[1,2,3,4] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Приводятся результаты расчётов применения теплового насоса в качестве источника низкопотенциальной теплоты с системах горячего водоснабжения и отопления индивидуального жилого дома на садовом участке.

Ключевые слова: тепловой насос, низкотемпературное отопление, энергосбережение, климат.

Бурное развитие индивидуального или малоквартирного жилого строительства за пределами городской черты особенно остро поставил вопрос о теплоснабжении здания. Особенно это проявилось с введением разрешения на прописку граждан в домах, расположенных на территории садовых товариществ. Отличительной особенностью расположения домов является наличие всего лишь одного энергоносителя – электричества, причем с ограничением на количество фаз и суммарной мощностью потребителей.

В настоящее время выбор источника энергии для теплоснабжения достаточно широк: твердое, жидкое и газообразное топливо, само электричество.

Технологическое развитие современного общества в настоящее время позволяет выбирать способ отопления из множества возможных, однако существует мнение, что приоритетным направлением при отоплении автономных объектов (в т.ч. жилых домов индивидуальной постройки) в будущем будет за электричеством. К тому же, даже в регионах с достаточно большой плотностью заселения, не всегда есть возможность подключиться к централизованной газовой магистрали, поэтому вопрос организации в частном доме отопления, является достаточно актуальным. Есть некоторые способы, которые позволят экономно отапливаться электричеством.

В качестве твердого топлива могут использоваться дрова, уголь, пеллеты. Конструкции твердотопливных котлов различны: от полуавтоматизированных пеллетных до котлов длительного горения.

В качестве жидкого топлива в настоящее время возможно использовать только дизельное.

В качестве газового топлива в подобных случаях возможно использование пропан-бутановой смеси, размещаемой в специальных газгольдерах, преимущественно подземных.

При использовании электричества возможны следующие конструкции: электрокотлы с трубчатыми электронагревателями, индукционные котлы, теплонасосные установки (ТНУ).

Самым перспективным представляется использование теплонасосных установок. Долгое время их применение ограничивалось сложностью организации места забора низкопотенциальной теплоты: скважина, грунтовые теплоприемники.

Применение новых инверторных электродвигателей для компрессоров, новых конструкций ТНУ с возможностью включения обратного цикла, устройств для предотвращения обмерзания наружного блока и масла в компрессоре (т.н. "зимний блок") позволяет с успехом использовать ТНУ для теплоснабжения домов в качестве источника теплоты [1, 2].

В качестве примера рассмотрен индивидуальный дом, построенный на садовом участке [3], источником теплоты в котором является ТНУ в системах горячего водоснабжения и воздушного отопления. Определены энергетические и финансовые затраты на отопление в течение года.

Литература

1. Горшков В.Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор. / В.Г. Горшков // Справочник промышленного оборудования. - 2004. - № 2. - С. 47 - 80.

2. Воздушные тепловые насосы // М.: Издательский центр "Аква-Терм". - 2012. - 126 с.

3. Режим доступа - https://victorborisov.livejournal.com/.

УДК 66.011

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ВЫСУШИВАНИЕ ОСАДОЧНОГО ИЛА СТОЧНЫХ ВОД

Ю.Я. Печенегов[1], А.В. Царюнов[2], Ю.А. Грачева[3]
[1]Д-р техн. наук, профессор, y.pechenegov@mail.ru
[2]Гл. инженер, avtsaryunov@mail.ru
[3]Магистрантка, july08123@mail.ru
[1] Энгельсский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина»
[2] НИИ технологий органической, неорганической химии и биотехнологий
[3] ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Приводятся результаты экспериментального исследования разных способов обезвоживания осадочного ила сточных вод. Предложен энергоэффективный способ сушки ила и устройство для осуществления способа.

Ключевые слова: осадочный ил, влагосодержание, скорость сушки, энергетическая эффективность.

Осадочный ил промышленных и бытовых канализационных стоков содержит большое количество коллоидных и мелкодисперсных твердых частиц, образующих в смеси с водой пастообразную массу, трудно поддающуюся высушиванию. Влагосодержание иловой массы складируемой на полевых полигонах мало изменяется в естественных условиях и по истечении нескольких лет может составлять 300 % и выше. Важность решения задач по устранению занимающих большие площади земли многочисленных иловых полигонов в стране и переработки накопленного ила для получения полезных продуктов обуславливает необходимость изучения и последующего промышленного применения процесса искусственной сушки осадочного ила сточных вод. Процесс сушки ила входит составной частью в технологию его переработки.

С целью определения свойств осадочного ила, как высушиваемого материала, были проведены лабораторные исследования. Установлено, что механический отжим капилярно-связанной влаги в образце ила с начальной влажностью 340 % и с мелкодисперсной основой сухого вещества при приложении нагрузки величиной 9 кг/см^2 не дает положительного результата. Естественное высушивание образца ила размером 10х20х10 мм в вытяжном шкафу в условиях свободно-конвективного теплообмена с окружающим воздухом при температуре 28 °С показало, что в течении суток влагосодержание образца уменьшилось с 340 % до величины 120 %.

Основные эксперименты состояли в высушивании образца в форме цилиндра диаметром 45 мм, длиной 140 мм, который размещался в сушильном шкафу на подвесе, соединенном с аналитическими весами. Температура

воздуха в рабочей камере шкафа была постоянной во времени и составила 150 °С.

В условиях экспериментов для измерения влагосодержания образца ила от начального значения $U_{нач}$ = 340 % до значения U = 17,6 % потребовалось 7,65 часа, а через 9,5 часов высушивания влагосодержание достигло 1,8 %. Скорость сушки образца ила в периоде постоянной скорости сушки составляла N_1 = 66 %/ч. Критическая влажность ила, соответствующая переходу от периода постоянной скорости сушки к периоду падающей скорости сушки, имела величину $U_{кр}$ = 235 %. Столь большое значение $U_{кр}$ указывает на наличие значительного количества связанной влаги в иле, которая трудно удаляется при высушивании.

Аппроксимация полученных опытных данных для периода падающей скорости сушки привела к зависимости для скорости сушки в периоде

$$N_2 = 17 + 0{,}2U, \text{ \%/ч.}$$

Полученные данные по скорости сушки ила дают возможность определять время сушки и в режимах, отличающихся от опытного, при использовании для этого, например, расчетного метода В.В. Красникова [1].

Процесс высушивания осадочного ила отличается большой энергозатратностью. Расчеты показывают, что при изменении влагосодержания ила от 340 % до 40 % удельный расход тепла, включающий в себя затраты на нагрев исходных иловых осадков, испарение влаги и разнообразные потери тепла в сушильном устройстве, составляет не менее 4000 кДж/кг испаренной влаги.

Авторами разработана энергосберегающая многоленточная сушилка осадочного ила, в которой основным греющим теплоносителем, поступающим во внутренние регистры сушилки, является выделяющийся при сушке ила пар, который подвергается сжатию в компрессоре. Сушильным агентом служит тот же пар испаряющейся из ила воды и заполняющей рабочую камеру сушилки. Данный пар – сушильный агент является перегретым. Тепло для перегрева он получает от стенок внутренних регистров. В сушилке реализован принцип действия теплового насоса, в составе которого используется струйный или механический компрессор. Согласно расчетам, удельный расход энергии, подводимой к сушилке от внешних источников, составит 2300 кДж/кг испаренной влаги, что существенно ниже названных выше затрат энергии при традиционной тепловой сушке.

Литература

1. Красников В.В. Методы анализа и расчета кинетики сушки // Химическая промышленность. 1979. №7. с. 40 — 43.

УДК 621.314

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДАРУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ С БЕСКОНТАКТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИПИТАНИИ ОТ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

В.В. Бабенко[1], И.А. Хайченко[2] В.М. Питолин[3],Д.А. Тонн[4], Н.И. Рубцов[5]
[1] Аспирант vova.babenko.94@mail.ru
[2] Аспирант li740@yandex.ru
[3]Профессор, д.т.н.eayts@yandex.ru
[4]Доцент кафедры, к.т.н., tonnda@yanex.ru
[5]Студент магистратуры Nrubcov85@gmail.com
[1-5]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

В данной работе приводятся результаты исследования энергоэффективности электропривода рулевого управления с бесконтактным двигателем постоянного тока при питании от аккумуляторных батарей.

Ключевые слова: энергоэффективность, электропривод рулевого управления, бесконтактный двигатель постоянного тока.

Вопрос применения электроприводов с бесконтактными двигателями постоянного тока для рулевого механизма автономных объектов при питании от аккумуляторных батарей является многокритериальной задачей. Выделим среди этих критериев тот, который оценивал бы энергоэффективность электропривода.

Для устройств рулевого управления можно использовать электропривода как вращательного, так и поступательного движения при питании от источника постоянного тока. Выбор исполнительного двигателя определится требуемой мощностью и точностью отработки управляющего сигнала.

Энергоэффективным электроприводом для рулевого механизма будем считать такой, который имеет максимальное значение выполненной работы при использовании единицы энергии. За единицу энергии выберем относительную энергоемкость аккумулятора, имеющую размерность произведения ампера на час.

Электропривод должен обеспечивать, как режим стабилизации выходной координаты, так и следящий режим, поэтому при анализе таких систем необходимо решать вопросы, связанные с точностью, оценивать не только ошибки позиционирования, но и ошибки по амплитуде и фазе при отработке синусоидальных сигналов задания [1-4]. Для повышения надежности и уменьшения числа информационных проводов в канале обратной связи от двигателя к системе управления используют наблюдатели состояний [5]. В рулевых механизмах электропривод чаще всего отрабатывает меняющиеся сигналы, поэтому он находится в переходных режимах, а как известно, потребление тока в этих случаях увеличивается. Исходя из того, что источник постоянного тока имеет ограниченную мощность, встает вопрос об

энергоэффективности режимов работы электропривода и расчете времени, в течении которого исследуемый привод может израсходовать выделенную энергоемкость источника, величина которой определится выбором метода управления [6].

Будем считать, что электропривод работает промежуток времени T в различных режимах. Каждый из режимов характеризуется тем, что его можно описать аналитически на каждом участке. Тогда

$$\sum_{n=0}^{k}(t_{n+1}-t_n)=T. \qquad (1)$$

Среднее значение потребляемого тока $I_{ср}$ за время T

$$I_{ср}=\frac{1}{T}\sum_{n=0}^{k}\int_{t_n}^{t_{n+1}} i(t)dt. \qquad (2)$$

Тогда критерий энергоэффективности Q можно представить как

$$Q=\frac{P}{I_{ср}}. \qquad (3)$$

Исследование поведения критерия эффективности позволит выбрать наиболее оптимальные режимы работы электропривода.

Литература

1. Пархоменко Г.А. Особенности векторного управления бесконтактным двигателем постоянного тока / Г.А. Пархоменко, О.А. Киселёва, И.С. Федосова, В.В. Бабенко // Энергия –XX1 век. 2016. №1(93). С.72-79.

2. Пархоменко Г.А. Адаптивная обратная связь в системе управления бесконтактным двигателем постоянного тока / Г.А. Пархоменко, О.А. Киселёва, И.С. Федосова, В.В. Бабенко // Энергия –XX1 век. 2016. №2(94) С.61-68.

3. Винокуров С.А. Идеальное векторное управление бесконтактным двигателем постоянного тока / С.А. Винокуров, О.А. Киселёва, Т.В. Попова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 2017. №1 (16). С.13.

4. Киселёва О.А. Дискретный эквивалент идеальному векторному управлению бесконтактным двигателем постоянного тока / О.А. Киселёва, С.А. Винокуров, Т.В. Попова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 2017. №1 (16). С.16.

5. Винокуров С.А., Киселёва О.А., Рубцов Н.И. Эволюция состояния наблюдателя от импульса к импульсу в электроприводе с бесконтактным двигателем постоянного тока. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019; 7(4). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/VinokurovSoavtors_4_19_1.pdf.

6. Винокуров С.А. Вариации импульсного управления бесконтактным двигателем постоянного тока / С.А. Винокуров, О.А. Киселёва, Т.В. Попова // Энергия – XX1 век.2016. №1(93) С.53-59.

УДК 621.311.22, 621.444

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СХЕМЫ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ПАРОСИЛОВОГО И ПАРОГАЗОВОГО ЭНЕРГОБЛОКОВ НА ПРИМЕРЕ НЕВИННОМЫССКОЙ ГРЭС

В.В. Шапошников[1], Д.Н. Батько[2], Я.О. Михалко[3]
[1]Канд. техн. наук, shaposhnikov.valentin@gmail.com
[2]Аспирант, batkodn@mail.ru
[3] Аспирант, mikhalkoyaroslav@yandex.ru
[1,2,3] ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»

В данной работе приводятся результаты примения схему совместной работы турбоагрегатов паросилового блока К-160-130 и паротурбинной части парогазовой установки ПГУ-410 с вытеснением отбора высокотемпературного пара на регенеративный подогреватель высокого давления паром из котла-утилизатора. Для условий Невинномысской ГРЭС произведена оценка технического и экономического эффекта от проведения реконструкции.

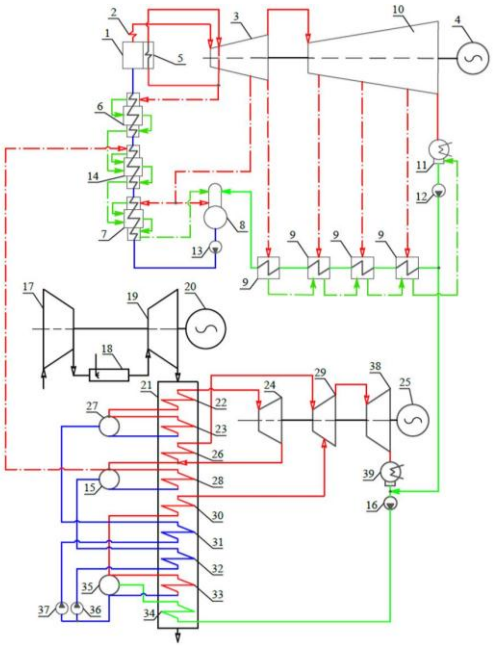
Ключевые слова: тепловая электрическая станция, парогазовая установка, паротурбинная установка, совместная работа, вытеснение регенеративного отбора.

Для получения дополнительной пиковой электрической мощности на паротурбинных энергоустановках используют различные решения. Одним из них является отключение регенеративных подогревателей высокого давления или их частичный обвод по питательной воде. Такой способ направлен на ограничение расхода пара в систему регенерации и увеличение его потока в проточной части турбины, приводящее к повышению её мощности. В зависимости от типа установленных турбин и параметров пара байпасирование ПВД паросиловых установок по питательной воде дает прирост мощности до 12 % [1, 2]. При отключении ПВД прирост мощности турбины происходит с увеличением удельного расхода тепла по причине пониженной энтальпии питательной воды, снижается внутренний КПД турбины, наблюдается ухудшение вакуума в конденсаторе. Кроме того систематическое отключение ПВД может привести к малоцикловой усталости металла питательных трубопроводов, подогревателей.

Для устранения перечисленных негативных эффектов данного способа ряд исследователей предлагали использовать не отключение ПВД, а замещение отборов на них паром из других имеющихся источников [3 – 5]. В данной работе в качестве источника пара для замещения отбора на ПВД предлагается использовать пар из котла-утилизатора парогазовой установки [6]. Схема авторского решения приведена на рисунке. Исследование показало эффективность применения схемы совместной работы паросилового энерго-блока и парогазовой установки в период технического максимума.

Так в условиях Невинномысской ГРЭС вытеснение установки отбора высокотемпературного пара на регенеративный подогреватель высокого давления (ПВД 2) паротурбинной установки К-160-130 сухим паром из барабана среднего давления котла-утилизатора ПГУ-410 позволяет повысить

максимальную электрическую мощность электростанции на 6,03 МВт при незначительном приросте суммарного электрического КПД.



Принципиальная тепловая схема совместной работы паротурбинного блока К-160-130 и парогазовой установки ПГУ-410 Невинномысской ГРЭС

Применение схемы совместной работы в условиях Невинномысской ГРЭС экономически обосновано. Ее реализация приведет к приросту годовой чистой прибыли на 14,47 млн. руб. при сроке окупаемости инвестиций – 4,2 месяца.

Литература

1. Баринберг Г.Д. Теплофикационные турбины мощностью 115 МВт в составе ПГУ-170 / Г.Д. Баринберг, В.И. Длугосельский // Теплоэнергетика. – 1998. – №1. – с. 16-19.

2. Боровков В.М. Оптимизация работы системы регенерации теплофикационных турбоустановок на режимах с минимальными пропусками пара в конденсатор / В.М. Боровков, С.М. Кошелев // Проблемы энергетики. – 2005. – № 7-8. – с. 9-14.2.

3. А. с. 1048134 СССР. Тепловая электрическая станция / Б.В. Бирюков, И.В. Шерстобитов, В.Ф. Галушко (СССР). – № 3428747/24-06; заявл. 22.04.1982; опубл. в Бюл. № 38, 1983.

4. А. С. 1802177 СССР. Тепловая электрическая станция / Б.В. Бирюков, И.В. Шерстобитов (СССР). – № 4904492/24-06; заявл. 22.01.1991; опубл. в Бюл. № 10, 1993.

5. А. С. 775357 СССР. Тепловая электрическая станция / Б.В. Бирюков, И.В. Шерстобитов, М.Ф. Дашевский (СССР). – № 2704842/24-06; заявл. 02.01.1979 ; опубл. в Бюл. № 40, 1980.

УДК: 621.165

АНАЛИЗ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ СИСТЕМ

М.М. Султанов[1], Н.В. Байдакова[2], А.В. Афонин[3], Е.М. Скопова[4]

[1]Канд. техн. наук, доцент, sultanov_mm@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, baydakovanv@mail.ru
[3]Доцент, afoninav@list.ru
[4]Инженер, skopova.eva@mail.ru
[1,2,3,4] Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском

В данной работе приводятся результаты анализа существующих методик оценки технического состояния оборудования генерирующих систем, рассмотрены преимущества систем обслуживания и ремонтов по фактическому состоянию.

Ключевые слова: ремонт, надежность, дефекты, оборудование .

Повышение роли методов и средств диагностики на предприятиях российского теплоэнергетического комплекса (ТЭК) связано с необходимостью обеспечения промышленной безопасности в условиях существующего физического и морального износа оборудования.

Использование современных методов мониторинга и диагностики в когенерационных установках локального значения позволяет уйти от существующей системы планово-предупредительного ремонта (ППР) и построить систему обслуживания оборудования по фактическому техническому состоянию оборудования (РТС), что позволит повысить ресурс и надежность когенерационных установок, сократить затраты на простои и осуществление ремонта.

Преимущества такого перехода очевидны. При ППР выполняется большой объём ремонтных работ, в том числе и бездефектного оборудования, т.е. такого оборудования, состояние которого на момент проведения ППР не требует срочного ремонта, но для обеспечения безотказной работы в межремонтный период подлежит обслуживанию. Зачастую остаточный ресурс выведенного в ремонт оборудования оказывается значительным. Статистические данные показывают, что при проведении ППР до 50% работ, проводимых в соответствии с регламентом, осуществляются без их фактической необходимости.

Ремонт по фактическому состоянию оборудования имеет следующие преимущества:

1. Эффективность ТО и ремонтов повышается, одновременно с этим практически исключаются отказы оборудования, при наличии постоянной информации о состоянии агрегатов.
2. Облегчается прогнозирование и планирование возможных объёмов ТО и ремонтов оборудования, снижаются расходы за счёт исключения ненужных видов работ.

3. Эффективное планирование и распределение кадровых и материальных ресурсов.
4. Увеличение межремонтного ресурса.
5. Контроль качества работ.

Литература

1. Султанов, М.М., Баландин, О.И., Скопова, Е.М. Повышение эффективности эксплуатации энергетического оборудования генерирующих систем: учебное пособие / М.М. Султанов, О.И. Баландин, Е.М. Скопова. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2018. – 85 с.

2. Султанов, М. М. Оценка надежности, продление ресурса и оптимизация ремонта оборудования ТЭС и энергетических систем: Учебное пособие / М. М. Султанов. – Волжский : Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2016. – 100 с.

3. Труханов В.М., Султанов М.М., Скопова Е.М. Статистическая оценка уровня надежности энергетического оборудования ТЭЦ в процессе серийного производства и эксплуатации // Энергосбережение и водоподготовка. 2018. № 5 (115). С. 16 - 25.

4. Узакова Л. П., Каландаров Н. О. Современные методы и средства технического диагностирования // Молодой ученый. – 2014. – №9. – С. 216-218.

Научное издание

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

МАТЕРИАЛЫ
II Международной научно-практической конференции
(г. Воронеж, 16-18 сентября 2020 г.)

В авторской редакции

Компьютерный набор Е. В. Иевлевой

Подписано к изданию 14.07.2020.
Объем данных 9,0 Мб

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14