Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

материалы
Международной научно-практической конференции

(г. Воронеж, 6-8 декабря 2018 г.)

Воронеж 2018

УДК 621.398(06)
ББК 31.232.3я4
А 585

Материалы Международной научно-практической конференции "Альтернативная и интеллектуальная энергетика" [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. Данные (10 Мб). – Воронеж : ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2018. – 1 электрон.опт. диск (CD-ROM). – Систем.требования: ПК 500 и выше ; 256 Мб ОЗУ ; Windows XP ; SVGA с разрешением 1024x768; AdobeAcrobat; CD-ROM ; мышь. – Загл. с экрана.

УДК 621.398(06)
ББК 31.232.3я4

Редакционная коллегия:

Колодяжный С.А. – д-р техн. наук, доц. – ответственный редактор;

Дроздов И.Г. – д-р техн. наук, проф.– зам. ответственного редактора;

Коновалов Д.А. – канд. техн. наук, доц. – ответственный секретарь;

Звягинцева А.В. – канд. техн. наук, доц.;

Мозговой Н.В. – д-р техн. наук, проф.;

Ряжских В.И. – д-р техн. наук, проф.;

Кретинин А.В. - д-р техн. наук, проф.;

Батаронов И.Л. - д-р физ.-мат. наук, проф.;

Калинин Ю.Е. - д-р физ.-мат. наук, проф.;

Коротких Д.Н. – д-р техн. наук;

Бурковский А.В. - канд. техн. наук, доц.;

Яременко С.А. - канд. техн. наук, доц.;

Воробьева Ю.А. - канд. техн. наук, доц.;

Бурковский В.Л. - д-р техн. наук, проф.;

Кожухов Н.Н. - канд. техн. наук, доц.;

Дахин С.В. - канд. техн. наук, доц.

Материалы публикуются в авторской редакции, и редколлегия не несет ответственности за подбор и изложение фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений.

© ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Жилова О.В., Макагонов В.А., Ситников А.В., Бабкина И.В., Ремизова О.И.
Sn-Y-O как функциональный материал для датчиков водорода……..... 9
Ряжских А.В.
Адаптация метода Галёркина для первой тестовой задачи свободноконвективного ламинарно-кондуктивного течения в квадратной области……... 11
Паринов М.В., Росновский С.В.
Алгоритмы и методы эффективного и безопасного обращения с радиоактивными отходами атомных электростанций…….. 12
Медведева О.Н., Чиликин А.Ю.
Анализ схем редуцирования газа……. 14
Васильев А.Е., Япрынцев М.Н., Иванов О.Н., Жежу М.В.
Анизотропия свойств материала на основе $Lu_{0,1}Bi_{1,9}Te_{2,7}Se_{0,3}$, полученного методом плазменного искрового спекания……... 16
Какоша Ю.В., Фишов А.Г.
Варианты и схемы интеграции синхронной малой генерации в электрические сети и локальные энергосистемы……... 18
Литвиненко А.М., Новиков А.Е., Чеботок К.И.
Ветрогенераторы сегментного типа…… 21
Гребенников А.А., Бочаров А.И., Сергеев А.В., Извекова И.В.
Влияние давления и времени выдержки при горячем прессовании на термоэлектрические свойства теллурида висмута…… 23
Федотов А.К., Подденежный Е.Н., Близнюк Л.А., Федотова Ю.А., Пашкевич А.В.
Влияние легирования на структуру, электрические и термоэлектрические свойства керамик на основе оксида цинка……. 25
Иванов О.Н., Япрынцев М.Н.
Влияние легирования редкоземельными элементами на термоэлектрические свойства теллурида висмута……... 27
Тихонов В.А.
Влияние периодичности диагностических измерений на эксплуатационное состояние высоковольтных трансформаторов……..... 29
Шалаев Р.В., Изотов А.И., Сироткин В.В., Кильман Г.В., Прудников А.М.
Влияние температурного отжига на ВАХ пленок нитрида углерода…… 31
Калинин Ю.Е., Каширин М.А., Макагонов В.А.
Влияние углерода на термоэлектрические свойства композитов на основе оксида меди……. 33
Прохоров Д.С., Рыков А.В., Шенгуров В.Г., Денисов С.А., Байдусь Н.В., Бузынин Ю.Н.
Влияние условий роста гетероструктур GaAs/Ge-n^+/Si (001) солнечных элементов на их свойства……... 35
Тарасов Б.П.
Водородное аккумулирование электроэнергии……..... 37
Дуников Д.О.
Водородное аккумулирование энергии ВИЭ с помощью технологии POWER-TO-GAS……..... 39
Борзенко В.И., Блинов Д.В., Глаголева А.А.
Водородные системы аккумулирования энергии киловаттного класса мощности на основе металлогидридных технологий и топливных элементов……... 41
Шалимов Ю.Н., Рудаков О.Б., Архипов В.В., Гусев А.Л., Корольков В.И.
Водородные технологии: основные проблемы и перспективы их развития……... 43
Барбашов В.И., Чайка Э.В.
Деградация электропроводности в керамике на основе ScSZ……... 45
Пономаренко А.Т., Шевченко В.Г. , Ельникова Л.В., Акопова О.Б., Терентьев В.В.
Диэлектрические и релаксационные характеристики пластичных смазок на основе литола и солидола с мезогенными присадками……..... 47
Рожина М.А., Бурянина Н.С., Королюк Ю.Ф., Тимофеева А-М.В.
Емкостной отбор мощности от линий высоковольтных линий электропередачи……..... 49
Попова О.И., Попова М.И., Печенкина Л.С., Демидов А.В.
Инструментальное обеспечение изготовления червячных колес редукторов энергетической промышленности……... 51

Поваров В.П., Терехов Д.В., Данилов А.Д.
Интеграция систем принятия решений в структуру верхнего уровня управления АЭС…… 54
Сидоренко Е.В., Руцков А.Л., Бурковский В.Л.
Интеллектуализация управления внутренними потребительскими ресурсами АЭС на основе нейронных сетей…… 56
Чернышов Е.М., Артамонова О.В.
Интеллектуальное сопровождение HIGH TECH – режимов твердения наномодифицированных цементных бетонов…… 58
Багдасарян А.С., Гуляев Ю.В., Каляев И.А., Багдасарян С.А., Коробкин В.В.
Интеллектуальные устройства на ПАВ для атомной энергетики: новые разработки и достижения……. 60
Кузма-Кичта Ю.А., Лавриков А.В.
Интенсификация теплообмена при кипении на микро- и наномасштабах……..... 63
Корсакова Е.А., Муфтахитдинова Н.А., Корсаков В.С., Кашуба И.А., Корсаков А.С., Жукова Л.В.
Инфракрасные волоконные сборки на основе галогенидсеребряных кристаллов для систем контроля и управления в теплоэнергетике……..... 65
Лашова А.А., Корсаков В.С., Корсакова Е.А., Корсаков А.С., Жукова Л.В.
Инфракрасный датчик с волоконно-оптическим зондом на основе кварцевых и галогенидсеребряных световодов для измерения влаги в трансформаторном масле……... 67
Яблоков А.А., Тимофеев А.С., Филатова Г.А.
Исследование алгоритма дистанционного определения места повреждения по выборкам мгновенных значений первичных величин……... 69
Дроздов И.Г., Шматов Д.П., Афанасьев А.А., Тимошинова Т.С., Чуйко А.Г.
Исследование и разработка теплопередающих систем термоэлектрического генераторного модуля на основе полупроводниковых батарей кольцевой геометрии…….. 71
Караева Ю.В., Тимофеева С.С.
Исследование кинетики анаэробной коферментации AMARANTHUSRETROFLEXUS и отходов животноводства……... 73
Черныш Д.Ю., Беляев И.А., Лучинкин Н.А.
Исследование особенностей МГД-теплообмена жидкого металла применительно к проектам перспективной энергетики……. 75
Смирнов А.Н., Стогней О.В.
Исследование эволюции многослойной наноструктуры Mg/NbO при отжигах…….. 77
Артамонова О.В.
Исследование электрофизических свойств нанокерамики на основе ZRO_2, стабилизированной IN_2O_3... 79
Свиридов И.Э., Шматов Д.П., Перевезенцев И.Г., Кружаев К.В., Игнатов А.С.
Исследования зависимости коэффициента избытка воздуха от температуры эжектируемого воздуха газогорелочного устройства термоэлектрического генераторного модуля…….. 81
Звягинцева А.В.
Кинетика десорбции водорода из электрохимических композитов Ni-B……. 84
Звягинцева А.В.
Кинетика десорбции водорода из Ni–In композитов, синтезированных электрохимическим методом…… 86
Юрин В.Е., Муртазов М.А.
Комбинирование АЭС с многофункциональными теплоаккумулирующими системами…….. 88
Трифонов Г.И., Пеньков Н.А., Краснов А.А., Грицюк В.Г.
Комбинированные аддитивные технологии в области восстановления авиационных деталей……. 90
Батаронов И.Л., Батаронов Л.И., Шунин Г.Е., Кострюков С.А., Пешков В.В.
Компьютерное моделирование систем осесимметричных токонесущих сверхпроводящих многосвязных тел методом интегральных уравнений…… 92
Юрьев В.А.
Концепция гравитационной энергетики……..... 94
Малеева Е.И., Бурянина Н.С., Королюк Ю.Ф., Тимофеева А-М.В.
Линии электропередач с неполным числом фаз…….. 96
Ряжских В.И., Хвостов А.А., Журавлев А.А., Никитченко А.А., Богер А.А.
Математическая модель процесса низкотемпературной ректификации воздуха с учетом

нестационарности теплофизических характеристик……..... 98
Тимофеева А.В., Королюк Ю.Ф., Бурянина Н.С.
Метод повышения пропускной способности высоковольтных линий электропередач…….. 100
Болесов М.В., Акулинин С.А., Наролина Т.С.
Методика и измерительный комплекс для контроля параметров суперконденсаторов…….. 102
Казаков А.Н., Борзенко В.И.
Многокомпонентные металлогидридные материалы для систем водородного аккумулирования энергии……. 104
Шалимов Ю.Н., Кудряш В.И., Звягинцева А.В., Помигуев А.В., Руссу А.В.
Мобильный источник питания с прямым преобразованием тепловой энергии в электрическую……..... 106
Арсентьев А.В., Плотникова Е.Ю., Харченко М.Э.
Моделирование влияния пороговых напряжений транзисторов на энергоэффективность КМОП инвертора……. 109
Артемов В.И., Макаров М.В., Минко К.Б., Яньков Г.Г.
Моделирование методом LES турбулентного течения при сверхкритическом давлении в вертикальной обогреваемой трубе с использованием неструктурированных декартовых сеток с локальным дроблением…….. 110
Алферов И.В., Глазырин Г.В., Митрофанов Н.А.
Моделирование переходных процессов генератора с несимметрией фазных контуров статора……..... 113
Даминов А.З., Соломин И.Н., Закиров Э.Ф.
Моделирование профиля лопаток рабочего колеса детандера для ОРЦ-установки…… 115
Галдин Д.Н., Дроздов И.Г., Кретинин А.В., Скоморохов Г.И., Шматов Д.П.
Моделирование термоэлектрического генератора с использованием инструментария ANSYS MECHANICAL И ANSYS DESIGNXPLORER…… 117
Батаронов И.Л., Кретинин А.В., Селиванов В.Ф., Спицына Е.Е., Надеина Т.А.
Модель теплопередачи в проточном теплообменнике с термоэлектрическим охлаждающим элементом…… 119
Бакаев В.А., Ильичев В.А., Ильясов Р.Ю., Сушков А.М.
Некоторые аспекты термокоррекции диафрагменных счетчиков газа……. 121
Киселева Е.А., Жук А.З., Клейменов Б.В., Захаров В.П.
Неплатиновые катодные катализаторы для топливных элементов с щелочным электролитом…… 123
Бирюлин В.И., Горлов А.Н., Куделина Д.В., Ларин О.М., Чернышев А.С., Гладышкин А.О.
Нечеткое моделирование нахождения оценки эффективности функционирования региональной энергетической системы……..... 125
Лупоносов Ю.Н., Солодухин А.Н., Пономаренко С.А.
Новые стабильные материалы для органических солнечных батарей……..... 127
Бойко А.Ю.
Ножницы для отрезки заготовок от проката с дифференцированным зажимом…… 129
Руцков А.Л., Бурковский А.В., Яскевич О.Г.
Обеспечение надежности генерирующего оборудования на основе нечеткого нейросетевого моделирования…… 131
Дмитриев А.В., Соловьев С.А., Соловьева О.В., Хусаинов Р.Р.
Определение параметров, вносящих наибольший вклад в изменение качества высокопористых ячеистых фильтров, на основе численного моделирования и экспериментальных исследований……... 133
Дедов А.В., Будаев В.П., Елецкий А.В., Федорович С.Д.
Опыт разработки и создания новых функциональных материалов……... 135
Зройчиков Н.А., Фадеев С.А., Каверин А.А., Бирюков Я.А., Пай А.В., Тарасов Г.А.
Особенности компьютерного моделирования процесса термического разложения медицинских отходов……. 137
Мищенко В.Я., Горбанева Е.П., Родина Е.В.
Особенности разработки и внедрения в образовательный процесс ВГТУ международной магистерской программы по инновационным технологиям в сфере энергоэффективного строительства для университетов и предприятий РФ и Армении в рамках международного проекта ERASMUS+ MARUEEB 2015-2018…….. 139

Глотов В.В., Глотова Т.С.
Оценка ближнего электромагнитного поля в энергоустановках……... 141
Кондратьева О.Е., Локтионов О.А., Бурдюков Д.А., Мясникова Е.М.
Оценка воздействия факторов климатических изменений на надежность воздушных линий электропередач…… 143
Манусов В.З., Хасанзода Н., Иванов Г.В.
Оценка мощности ветроэлектростанции на основе нечеткой регрессионной модели прогнозирования скорости и направления ветра…….. …… 145
Байрамов А.Н.
Оценка эффективности водородного комплекса при комбинировании с АЭС при прогнозных ценах на топливо…… 147
Володин А.А., Тарасов Б.П., Блинов Д.В.
Перспективные материалы для никель − металлогидридных химических источников тока……. 149
Рембеза С.И., Бахадырханов М.К., Просветов Р.Е., Свистова Т.В., Рембеза Е.С.
Перспективы применения гетероструктур n-ZnO/p-Si в солнечной энергетике……..... 151
Иванов А.С., Калинин Ю.Е., Чуйко А.Г.
Перспективы развития термоэлектрических и термовольтаических материалов…… 153
Астафьев А.В., Мусафиров Д.Е., Табакаев Р.Б., Языков Н.А.
Пиролитическая переработка соломы за счёт собственных тепловых эффектов разложения……... 155
Добросельский К.Г., Антипин В.А., Лебедев А.С.
Пироэлектрическое преобразование тепловой энергии в тонких пленках ЦТС……..... 158
Бакуменко А.В., Ткаченко Ю.С., Краснова М.Н.
Повышение коэффициента полезного действия подшипников скольжения работающих в режиме сухого трения скольжения……. 160
Бараков А.В., Прутских Д.А., Кожухов Н.Н., Дубанин В.Ю., Муравьев А.В.
Повышение эффективности работы системы приточно-вытяжной вентиляции……. 162
Булычев Н.А., Муравьев Э.Н., Казарян М.А.
Получение водорода при пиролизе жидкофазных сред в низкотемпературной плазме под действием ультразвука…….. 164
Ряжских В.И., Семенихин О.А., Сумин В.А., Богер А.А.
Приближенное аналитическое решение задачи свободной конвекции ньютоновской жидкости в прямоугольной области…….. 166
Счастливцев А.И., Борзенко В.И.
Применение водородно-кислородных парогенераторов для повышения надежности функционирования ПГУ…… 168
Бочаров А.С.
Применение графической среды имитационного моделирования SIMULINK для исследования электроэнергетических комплексов самолетов……... 170
Терехов Д.В., Данилов А.Д.
Проблемы информационного обмена между подсистемами АСУТП ядерного блока……... 172
Акулинин С.А.
Проблемы надежности систем аккумуляции и хранения энергии на основе модулей суперконденсаторов…… 174
Зарипов И.Ш., Щукин А.В., Ильинков А.В., Такмовцев В.В., Хабибуллин И.И., Рыбаков А.С.
Проблемы совершенствования систем воздушного охлаждения турбинных лопаток ГТД……... 176
Трифонов Г.И., Жачкин С.Ю., Краснова М.Н., Пеньков Н.А.
Прогнозирование распространения тепла в обрабатываемой детали при плазменном напылении……... 178
Аленичев М.В., Данилов А.Д.
Программно-технический комплекс диагностики оборудования ядерных энергетических установок……. 180
Петроченков А.Б., Ромодин А.В., Ляхомский А.В., Франк Т.
Проект интеллектуальной микросети: исследования, технологии и обучение…… 182
Литвиненко А.М., Новиков А.Е., Чеботок К.И.
Проектирование ветрогенераторов сегментного типа……. 184
Гасанов О.М., Гусейнов Дж.И., Адгезалова Х.А., Мамедова Р.Ф.
Развитие альтернативных источников энергии как путь сохранения экологии в

Азербайджане……..... 186
Блинов Д.В., Борзенко В.И., Казаков А.Н., Глаголева А.А.
Разделение биоводорода методом продувки через металлогидрид…….. 188
Лаврёнов С.В.
Разработка вертикальной двухроторной ветроустановки…….. 190
Рембеза С.И., Пермяков Д.С., Полковников В.Е., Белых М.А., Винокуров А.А.
Разработка и исследование многослойных структур на основе маталлооксидов для солнечной энергетики…… 192
Калядин О.В., Королев К.Г., Сергеев А.В.
Разработка математической модели термоэлектрического генераторного модуля, состоящего из термобатарей кольцевого типа……..... 194
Лукьяненко Д.Е., Пирогов А.А.
Разработка метода получения максимальной мощности от маломощных солнечных батарей в широком диапазоне уровней освещенности…… 197
Щегольков А.В., Щегольков А.В., Чудов К.А.
Разработка электрохромных устройств на основе наноструктурированных материалов……... 199
Ильичев, Р.Ю. Ильясов, В.Н. Крысанов, А.М. Сушков, В.В. Чмелев
Разработка эффективной системы управления электрического привода рулевого механизма..... 201
Крысанов В.Н., Иванов К.В., Хайченко И.А., Бабенко В.В.
Реализация энергосберегающих технологий компенсации реактивной мощности в сетях всех уровней напряжения на основе статических преобразователей……... 203
Щукина Т.В., Жерлыкина М.Н., Шепс Р.А., Бурак Е.Э.
Регулируемый тепловой режим пассивного солнечного отопления……. 205
Колягина И.А., Данилов А.Д.
Системный подход к повышению эффективности производства электрической энергии на АЭС……..... 213
Дмитриев А.С.
Солнечная теплоэнергетика на базе функциональных наноматериалов…… 215
Трубецкой В.А., Муконин А.К., Тонн Д.А.
Структура асинхронного частотно-управляемого электропривода для перегрузочных манипуляторов АЭС…… 217
Костюченко А.В., Дыбов В.А., Сериков Д.В., Дякина М.С., Мозговой П.С.
Структура и механические свойства термоэлектрических материалов на основе халькогенидов висмута Bi2Te3-Bi2Se3 И Bi2Te3-Sb2Te3 и адгезия коммутационных слоев на их поверхности……. 219
Саранин Д.С., Орлова М.Н., Юрчук С.Ю., Рабинович О.И., Гостищев П.А., Паничкин А.В., Коновалов М.П., Осипов Ю.В., Диденко С.И.
Тандемный солнечный элемент на основе перовскит – GaAs……... 221
Ряжских В.И., Коновалов Д.А., Дроздов И.Г., Кожухов Н.Н., Шматов Д.П.
Теплообмен при ламинарном течении ньютоновского теплоносителя в плоском пористом канале при симметричных граничных условиях первого рода……..... 223
Рязанцев В.А., Виноградов М.М., Забиров А.Р., Канин П.К., Ягов В.В.
Теплообмен при плёночном кипении недогретых смесей вода-этанол под давлением……..... 225
Кирсанов Ю.А., Макарушкин Д.В.
Теплоотдача пластинчатой насадки в регенеративном воздухоподогревателе…… 227
Кузнецов Ю.М., Дорохин М.В., Ланцев Е.А., Попов А.А.
Термоэлектрические свойства структур SiGe, полученных методом электроимпульсного плазменного спекания……... 229
Федотов А.К., Алехнович В.А., Федотов А.С., Бушинкий М.В., Федотова В.В.
Термоэлектрические характеристики легированных керамик $Ca_3Co_4O_9$, измеренные способом Хармана…… 231
Буданов А.В., Власов Ю.Н., Котов Г.И., Руднев Е.В.
Тонкие пленки Cu_2SnS_3 для применения в устройствах фотовольтаики……..... 233
Суздалева А.Л. , Горюнова С.В. , Озерова Н.В. , Федорова Е.В. , Боровкова А.М. , Ануфриков М.С.
Улучшение экологических условий на основе использования термальных вод……..... 235
Шмыгалев А.С., Лашова А. А., Корсаков А.С., Жилкин Б.П.

Факторы, влияющие на передачу теплового излучения инфракрасными световодовами……..... 237
Бырдин А.П., Сидоренко А.А.
Частотная зависимость меры диссипации для нелинейного наследственно-упругого вибратора при гармоническом возбуждении……. 239
Лебедев Ю.П., Кобяков И.Ю.
Экспериментальная оценка вклада контактных тепловых сопротивлений в эффективность теплопередачи теплопроводных паст……... 241
Окорокова Н.С., Пушкин К.В., Севрук С.Д., Суворова Е.В., Фармаковская А.А.
Электролит для гидронного химического источника тока с алюминиевым анодом как генератора водорода…….. 243
Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю., Петропавловский К.С., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф.
Энегоэффективные карбонизированные гипсовые композиты……..... 245
Окорокова Н.С., Пушкин К.В., Севрук С.Д., Суворова Е.В., Фармаковская А.А.
Энергетические характеристики комбинированной энергоустановки на базе гидронного химического источника тока……..... 248
Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н., Петухов С.В.
Энергоменеджмент – организационно-технологическая инновация повышения энергоэффективности……..... 250
Медведев В.А.
Энергосберегающая система управления робота “РМ-01”…… 252
Муравьев А.В., Дроздов И.Г., Наумов А.М., Надеев А.А., Воробьева Ю. А.
Энергосберегающие технологии при использовании теплообменных аппаратов с турбулизаторами……..... 254
Тонн Д.А., Трубецкой В.А., Муконин А.К.
Энергосберегающие технологии современного автоматизированного промышленного производства…… 256
Литвиненко А.М., Евтушенко Е.Р., Баранов Д.С.
Энергосберегающий электропривод намоточного станка……..... 258
Васильев В.Я., Никифорова С.А.
Энергосберегающий эффект рациональной интенсификации теплообмена в каналах пластинчато-ребристых поверхностей ……... 260
Мозговой Н.В., Терещенко М.А., Звягина Л.Н.
Энергоэкологические характеристики парогенератора на основе пульсирующего горения…..... 262
Коротких Д.Н., Погорелова Ю.В.
Явные реологические свойства обводненных систем техногенного карбоната кальция и известняковой каменной муки……... 264

УДК 537.9

Sn-Y-O КАК ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ДАТЧИКОВ ВОДОРОДА

О.В. Жилова[1], В.А. Макагонов[2], А.В. Ситников[3], И.В. Бабкина[4], О.И. Ремизова[5]
[1]Канд. физ.-мат. наук, мл. науч. сотр., zhilova105@mail.ru
[2]Канд. физ.-мат. наук, мл. науч. сотр., vlad_makagonov@mail.ru
[3]Д-р физ.-мат. наук, профессор, sitnikov04@mail.ru
[4]Канд. физ.-мат. наук, доцент, ivbabkina@mail.ru
[5]Ассистент, oxana.remizova@gmail.com
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследования газосенсорных свойств тонких пленок Sn-Y-O с содержанием Y от 0,4 до 4,8 ат.%, полученных методом реактивного ионно-лучевого напыления в атмосфере аргона с добавлением кислорода. При концентрации Y ~ 1 ат.% в температурном диапазоне 200 – 350 °C обнаружено увеличение сопротивления пленки Sn-Y-O при добавлении водорода в инертную среду, что связано с акцепторными свойствами Y^{3+} относительно SnO_2.

Ключевые слова: оксид олова, электропроводность, газовая чувствительность.

Оксид олова - полупроводник n-типа с шириной запрещенной зоны 3,8 эВ, который широко используется в современной прозрачной электронике [1]. Кроме того, наиболее важным является применение SnO_2 в качестве функциональных элементов для газовых датчиков. Поиск легирующих примесей - одно из перспективных направлений повышения функциональных свойств пленок SnO_2.

В данной работе рассмотрено влияние водорода на изменение электрического сопротивления оксида олова, легированного иттрием.

Плёнки Sn-Y-O были получены методом реактивного ионно-лучевого распыления составной мишени [2].

Измерения электросопротивления проводились в среде воздуха и аргона с добавлением водорода на образцах предварительно подвергнутых термической обработке при 600 °C в течение 30 минут. В газовую среду, имеющую давление 380 Торр, добавлялся водород с парциальным давлением 7,6 Торр.

Величина относительного изменения электрического сопротивления в различных газовых средах($\Delta R/R$) характеризовалась чувствительностью полупроводникового резистивного элемента к различным газам:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{R(T)_{\text{воздух}} - R(T)_{\text{водород}}}{R(T)_{\text{водород}}}$$

Так как иттрий может выступать в качестве катализатора в процессе адсорбции водорода и являться акцепторной примесью в позиции замещения атомов олова в пленках Sn-Y-O, образцы были исследованы как без дополнительного катализатора – палладия (Pd), так и с нанесением Pd из 5 % водного раствора $PdCl_2$.

Нанесение каталитического Pd на поверхность пленки снижает величину относительного изменения электрического сопротивления системы Sn-Y-O в водородосодержащей среде. В этом случае предположения о каталитических способностях Y оправдываются в полной мере.

Однако было замечено, что в некотором диапазоне температур и концентрации Y, добавление водорода приводит к увеличению сопротивления пленки.

Эффект положительного ΔR/R·100% проявляют пленки с концентрацией Y ~ 1 ат.% в области температур 200 – 350 °С.

На рисунке показано, что нанесение каталитического Pd на поверхность образца увеличивает температурный диапазон, в котором наблюдается рост сопротивления в среде, содержащей водород.

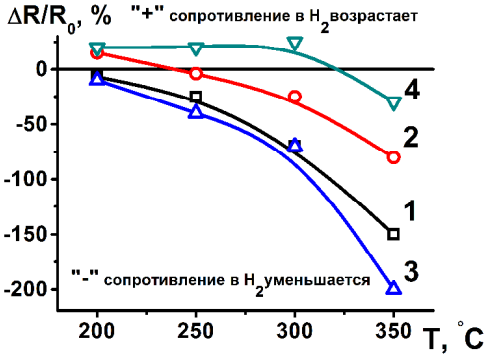


Рис. Температурные зависимости относительного изменения электрического
сопротивления пленок Sn-Y-O при напуске водорода в аргоновую среду
1, 3 – без нанесения катализатора (Pd); 2, 4 - поверхность образцов палладированна,
содержание Y: 1, 2 – 4,8 ат.%; 3, 4 – 2,2 ат.%

Совокупность выявленных свойств проявления эффекта положительного ΔR/R·100% позволяет сделать предположение, что после кристаллизации при невысоком содержании Y≤ 1 ат.% легирующий элемент остается в структуре пленки оксида олова и занимает позицию замещения атомов олова. Таким образом, формируется полупроводник с дырочной проводимостью.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки в рамках государственного задания (проект № 3.1867.2017/4.6).

Литература

1. Rockenberger J. Near edge X-ray absorption fine structure measurements (XANES) and extended x-ray absorption fine structure measurements (EXAFS) of the valence state and coordination of antimony in doped nanocrystalline SnO_2 / J. Rockenberger, U. zum Felde, M. Tischer, L. Troger, M. Haase, H. Weller. J. Chem // Phys. – 2000. – V. 112. – P. 4296-4304.

2. Нелинейные явления в нано- и микрогетерогенных системах / С.А. Гриднев, Ю. Е. Калинин, А. В. Ситников, О. В. Стогней. - Москва, БИНОМ Лаборатория знаний, 2012. - 352 с.

УДК: 532.51

АДАПТАЦИЯ МЕТОДА ГАЛЁРКИНА ДЛЯ ПЕРВОЙ ТЕСТОВОЙ ЗАДАЧИ СВОБОДНОКОНВЕКТИВНОГО ЛАМИНАРНО-КОНДУКТИВНОГО ТЕЧЕНИЯ В КВАДРАТНОЙ ОБЛАСТИ

А.В.Ряжских
Канд. физ.-мат. наук, доцент, ryazhskihav@bk.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. Получено аналитическое решение первой тестовой задачи свободной конвекции в квадратной области.

Ключевые слова: метод Галёркина; свободная конвекция; квадратная область.

Краевая постановка для бигармонического уравнения относительно безразмерной функции тока, моделирующая первую тестовую задачу такова [1]:

$$\partial^4\Phi/\partial X^4 + 2\partial^4\Phi/\partial X^2\partial Y^2 + \partial^4\Phi/\partial Y^4 = -1; \quad (1)$$

$$\Phi(0,Y) = \Phi(1,Y) = \Phi(X,0) = \Phi(X,1) = 0; \quad (2)$$

$$\partial\Phi(0,Y)/\partial X = \partial\Phi(1,Y)/\partial X = \partial\Phi(X,0)/\partial X = \partial\Phi(X,1)/\partial X = 0. \quad (3)$$

Аппроксимирующая функция подобрана таким образом, чтобы удовлетворить не только условиям непротекания и прилипания, но и не обращать в нуль касательные напряжения на смоченных поверхностях, причем ее вариация по неизвестному параметру есть

$$\delta\Phi(X,Y) = \delta\alpha X^2Y^2(1-X)^2(1-Y)^2. \quad (4)$$

Потребовано, чтобы оператор уравнения (1) интегрально удовлетворял условию ортогональности

$$\int_0^1\int_0^1\left(\frac{\partial^4\Phi}{\partial X^4} + 2\frac{\partial^4\Phi}{\partial X^2\partial Y^2} + \frac{\partial^4\Phi}{\partial Y^4} + 1\right)\delta\Phi(X,Y)\,dXdY = 0\cdot \quad (5)$$

Т.к. $\partial^4\Phi/\partial X^4 = 24\delta\alpha Y^2(1-Y)^2$; $\partial^4\Phi/\partial Y^4 = 24\delta\alpha X^2(1-X)^2$;

$\partial^4\Phi/\partial X^2\partial Y^2 = \delta\alpha\left[2(1-X)^2 - 8X(1-X) + 2X^2\right]\left[2(1-Y)^2 - 8Y(1-Y) + 2Y^2\right]$,

то подставив эти выражения в (5) с учетом (4) найдем $\alpha = 0{,}256$. Т.о. решение первой тестовой задача имеет вид:

$$\Phi(X,Y) = 0{,}256X^2(1-X)^2Y^2(1-Y)^2,$$

которое по максимальному значению полностью соответствует численному решению [2].

Литература

1. Ряжских В.И. Численное интегрирование бигармонического уравнения в квадратной области/ В.И. Ряжских, М.И. Слюсарев, М.И. Попов //Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. – 2013. – №. 1. – Р. 52–62.

2. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. М.: Едиториал УССР, 2003. – 787с.

УДК 004.9

АЛГОРИТМЫ И МЕТОДЫ ЭФФЕКТИВНОГО И БЕЗОПАСНОГО ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

М.В. Паринов[1], С.В. Росновский[2]
[1]Канд. техн. наук , доцент, parmax@mail.ru
[2]Аспирант, rrr337@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В статье рассматриваются методы и алгоритмы эффективного и безопасного обращения с радиоактивными отходами атомных электростанций. Основная идея автоматизации основана на специализированном алгоритме расстановки контейнеров с отходами без использования дополнительных средств защиты.

Ключевые слова: методы и алгоритмы, радиоактивные отходы, хранилища ангарного типа, программные системы.

Безопасное, надежное и эффективное обращение с радиоактивными отходами является важной проблемой современных атомных электростанций. Одним из наиболее эффективным методом ее решения является применение хранилищ ангарного типа с экранированием ионизирующего излучения контейнеров с отходами соседними контейнерами. Основная проблема при работе с хранилищами ангарного типа – поддержание заданного (минимального) уровня мощности дозы на стенах и границах хранилища. Решение достигается выбором определенной схемы заполнения хранилища. В настоящее время схема заполнения определяется экспертным путем с последующим контролем излучения вручную. Для работы с хранилищем используется математический аппарат и алгоритмы, не позволяющие обеспечить выбор корректной схемы расстановки в автоматическом режиме с первой попытки. Также данные методы неудобны и сложны в применении [1].

Для устранения недостатков предлагается специализированный алгоритм. Он также предусматривает возможность разборки хранилища по прошествии заданного времени и внесение различных изменений в структуру хранилища.

Рассмотрим базовый алгоритм (рис. 1).

Модуль расчета параметров загрузки используется для определения максимального количества загружаемых контейнеров и выбора приоритета между максимальной загрузкой и удобством доступа к произвольной ячейке. Размер кластера определяет доступность контейнеров, плотность загрузки хранилища и геометрические параметры. Данный параметр может быть рассчитан автоматически или задан оператором.

Основная матрица описания хранилища хранит все его параметры. Наиболее важной является геометрическая информация. Она описывает все пространство хранилища, которое относится к нескольким группам, идентифицируемым кодами. В матрицу добавляется значение приоритета заполнения для каждой ячейки. Он определяет, какие ячейки будут заполнены

первыми. Данный параметр обеспечивает оптимальное заполнение пространства хранилища. Такая организация хранения создает минимальную мощность дозы в контрольных точках и достаточную транспортную доступность любой точки хранилища.

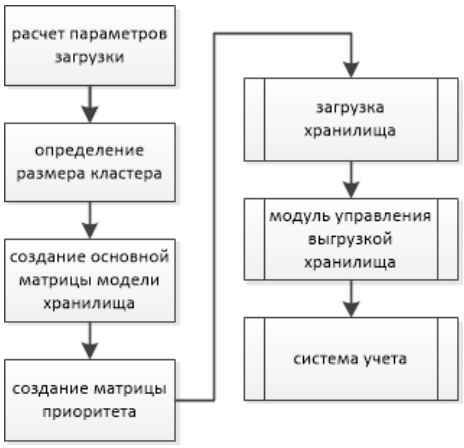


Рис.1. Базовый алгоритм

На рис. 2 показан алгоритм заполнения хранилища. Представление предусматривает упрощенный вариант, которые не учитывает ряд этапов. Например, алгоритм не включает модуль требования нового контейнера, если нет возможности разместить поступившие на хранения контейнеры в связи с их неподходящими параметрами.

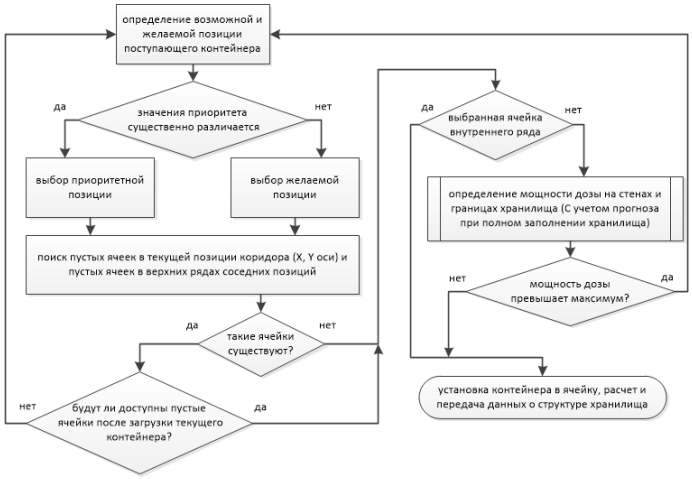


Рис.2. Алгоритм загрузки хранилища

Используя алгоритм и методы, мы разработали соответствующее программное обеспечение, которое показало корректность полученных результатов.

Литература

1. С.К. Булка, С.В. Росновский, “Прогнозирование радиационной обстановки при хранении кондиционированных радиоактивных отходов в хранилищах ангарного типа” Теплоэнергетика стр. 144-152., № 2. 2014.

УДК 66.083.4

АНАЛИЗ СХЕМ РЕДУЦИРОВАНИЯ ГАЗА

О.Н. Медведева[1], А.Ю. Чиликин[2]
[1]Д-р техн. наук, профессор, medvedeva-on@mail.ru
[2]Заместитель генерального директора по общим вопросам
[1]ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»
[2]АО «Газпром газораспределение Киров», chilikin.063@gmail.com

Аннотация. В работе был проведен анализ схем редуцирования газа. Для разработки оптимальной схемы редуцирования был осуществлен подбор оборудования, работающего в диапазоне давлений от 1,2 до 6,4 МПа, с одноступенчатым редуцированием газа. По результатам технико-экономического расчёта каждой схемы был сделан вывод о целесообразности их использования.

Ключевые слова: редуцирование, газораспределительная станция, эффективность

Технологически снижение давления газа на газораспределительных станциях (ГРС) и пунктах редуцирования газа (ПРГ) осуществляется с помощью редуцирующей арматуры и оборудования, основным принципом которых является процесс дросселирования газа. Целью работы является оценка экономической эффективности схем редуцирования газа на ГРСна основании величины капиталовложений в процесс монтажа схем, затрат на покупку оборудования и устройств, участвующих в компоновке линий редуцирования.

К изучению предлагаются схемы редуцирования газа, имеющие в своем составе регулятор-монитор[1]. Использования подобного типа регулятора решает две задачи одновременно –повышение безаварийности линии редуцирования газа и автоматизацию процесса дросселирования.

Бесперебойности газоснабжения и, как следствие, снижения аварийности газораспределительных систем можно достигнуть путем различных вариаций компоновки узла редуцирования ПРГ[2]: схема 1 – запорная арматура (ЗА), регулятор-монитор (РМ), регулятор давления (РД), ЗА, предохранительный клапан (ПК); схема 2 – ЗА, запорный отсечной клапан (ЗОК), РМ, РД, ЗА, ПК; схема 3 – ЗА, ЗОК, РМ, РД, ЗА; схема 4 – ЗА, РМ, управляемая ЗА, ПК; схема 5 – ЗА, РД, РД резервной линии редуцирования, РМ, ЗОК,управляемая ЗА.

В результате анализа было установлено, что одним из преимущественно перспективных вариаций компоновки пунктов редуцирования с управляемой запорной арматурой, в качестве которой выступают быстродействующие клапаны, являетсясхема 5. Основным отличием от традиционной схемы здесь является то, что установка ЗОК необязательна, так как его функции выполняет быстродействующий клапан, осуществляющий в аварийной ситуации автоматическое переключение с основной линии редуцирования на резервную. В данной вариации наличие системы телеметрии в составе оборудования пункта редуцирования является обязательным условием. Преимущества данной

схемы: к типу и характеристикам регуляторов не предъявляются какие-либо особые требования, возможность задействования линий редуцирования для работы в параллели, возможность осуществления автоматического перехода с одной линии на другую. Основной минус – обязательное наличие управляющего контроллера и зависимость от внешнего источника электроснабжения.

Результаты сравнительных расчетов пяти разработанных схем редуцирования и одной типовой принципиальной схемыпредставлены на рисунке.

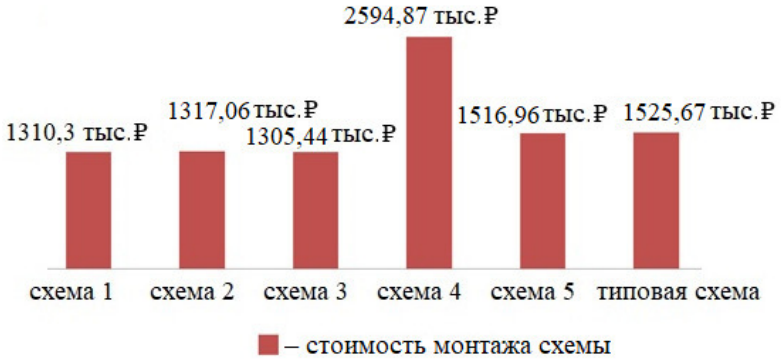


График сравнительной суммарной стоимости монтажа схем

Как следует из показателей экономической эффективности,предложенные схемы редуцирования газа имеют преимущества перед типовой схемой,находящейся в эксплуатации. Наиболее эффективны схемы 1÷3, но, следует отметить, что данные схемы имеют узкую применяемость на ГРС, поскольку имеют всего одну линию редуцирования. Схемы 4 и 5 имеют меньший экономический эффект, но, по сравнению с остальными, обеспечивают гораздо больший уровень безотказности и безаварийности линии редуцирования. С точки зрения безопасности максимальной экономической отдачи системы целесообразно применять схему 1, для обеспечения максимальной безопасности эксплуатации блока редуцирования газа к использованию предлагается схема 4. Схема 5 представляет компромиссный вариант между капитальными затратами и безопасностью эксплуатации линии редуцирования газа на ГРС. Экономичность и эффективность схемы достигается за счет разности используемого оборудования в основной и резервной линии без потери уровня эффективности системы. Основной перспективной задачей является разработка более компактного оборудования и отечественного аналога регулятора-монитора.

Литература

1. ГОСТ 34011-2016. Системы газораспределительные. Пункты газорегуляторные блочные. Пункты редуцирования газа шкафные. Общие технические требования. – М.: Стандартинформ, 2017. – 22 с.

2. СТО Газпром газораспределение 2.3-2011. Сети газораспределения природного газа. – СПб: ОАО «Газпром газораспределение, 2011. – 144 с.

УДК 537.32

АНИЗОТРОПИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ$Lu_{0,1}Bi_{1,9}Te_{2,7}Se_{0,3}$, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО ИСКРОВОГО СПЕКАНИЯ

А.Е. Васильев[1], М.Н. Япрынцев[2], О.Н. Иванов[3], М.В. Жежу[4]
[1]Аспирант, 748070@bsu.edu.ru
[2]Канд. физ.-мат. наук, yaprintsev@bsu.edu.ru;
[3]Д-р физ.-мат. наук, профессор, ivanov.oleg@bsu.edu.ru
[4]Аспирант, 1214239@bsu.edu.ru
ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)

Аннотация. Исследована анизотропия термоэлектрических свойств образцов соединения $Lu_{0,1}Bi_{1,9}Te_{2,7}Se_{0,3}$текстурированных с помощью метода искрового плазменного спекания вдоль направления [001]. Установлено, что текстурирование образцов приводит к значительному увеличению термоэлектрической добротности для перпендикулярной ориентации измерения (перпендикулярно направлению приложения давления) (~0,68 при ~420 K) по сравнению с параллельной ориентацией (вдоль направления приложения давления) (~0,24).

Ключевые слова: искровое плазменное спекание, анизотропия, зеренная структура, термоэлектрические свойства.

В настоящее время теллурид висмута Bi_2Te_3 и сплавы на его основе обладают наилучшими термоэлектрическими свойствами для различных применений при температурах, вблизи комнатной. Одной из характерных особенностей этих материалов является достаточно высокая анизотропия транспортных свойств, таких как удельное электрическое сопротивление (ρ)и теплопроводность (k).Так как термоэлектрическая добротность материалов определяется как$ZT=(S^2/\rho k)T$(S – коэффициент Зеебека), то из-за анизотропии ρ и k в материалах на основе теллурида висмута, ZT также является анизотропной и достигает максимального значения при измерении в кристаллографической плоскости «*a-b*». В поликристаллических материалах со случайной ориентацией зерен анизотропия подавляется, что не позволяет в таких материалах реализовать оптимальные значения термоэлектрических свойств, типичных для монокристаллов. Текстурирование, направленное на получение структур с преимущественной ориентацией зерен, позволяет частично «восстановить» анизотропию термоэлектрических свойств[1]. Целью настоящей работы является установление закономерностей влияния текстурирования на анизотропию термоэлектрических свойств образцов соединения на основе $Lu_{0,1}Bi_{1,9}Te_{2,7}Se_{0,3}$. Легирование редкоземельными элементами способствует повышению термоэлектрической добротности этих соединений [2].Были исследованы образцы соединения $Bi_{1,9}Lu_{0,1}Te_{2,7}Se_{0,3}$, текстурированные с помощью метода искрового спекания вдоль направления [001] (параллельно направлению приложения давления). Появления текстуры подтверждается результатами рентгеноструктурного анализа и растровой

электронной микроскопии (рис.). В текстурированных образцах с ориентационным фактором ~0,38 зерна формируют пластинчатую структуру, причем пластины лежат в плоскости, перпендикулярной направлению приложения давления. Средний размер зерен, измеренный вдоль направления приложения давления, равен ~50 нм (параллельная ориентация измерения), что существенно меньше среднего размера зерен (~400 нм), измеренного в плоскости, перпендикулярной направлению приложения давления (перпендикулярная ориентация). В интервале температур 290 ÷ 650 K обнаружена анизотропия транспортных свойств, измеренных для этих направлений. Так, электрическое сопротивление увеличивается, а теплопроводность уменьшается для параллельной ориентации, по сравнению с перпендикулярной ориентацией, тогда как коэффициент Зеебека практически не зависит от ориентации измерения. Увеличение электрического сопротивления оказывается гораздо выше, чем уменьшение теплопроводности, что приводит практически к трехкратному возрастанию термоэлектрической добротности для перпендикулярной ориентации измерения (~0.68 против ~0.24 при ~420 K). Влияние текстурирования на термоэлектрические свойства может быть связано: (а) восстановлением кристаллической анизотропии, характерной для монокристаллов Bi_2Te_3; (б) рассеянием электронов и фононов на границах зерен.

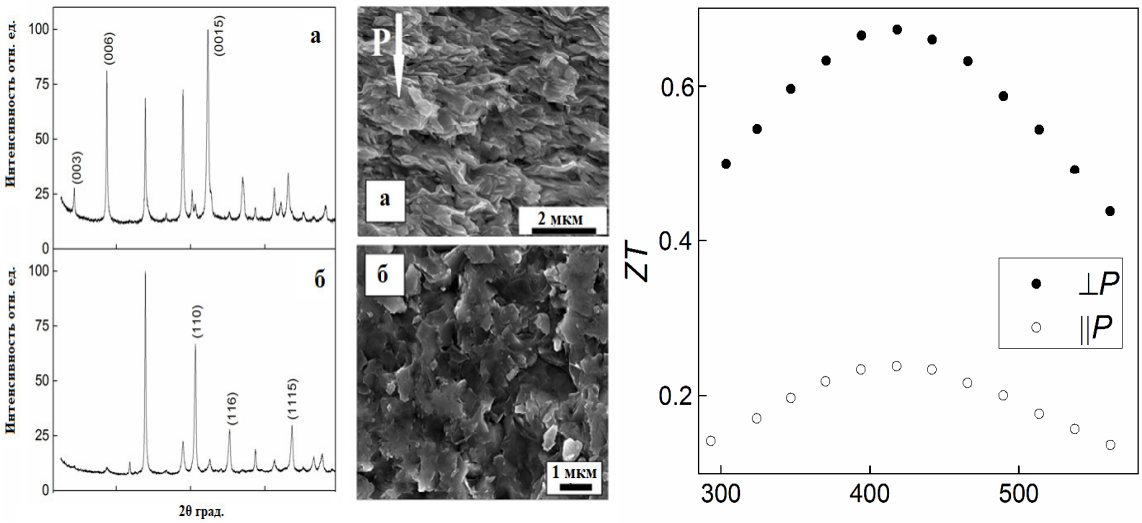


Рис. Слева: дифрактограммы и изображения зеренной структуры образцов для плоскости, параллельной (а) и перпендикулярной (б) оси прессования (направление давления при прессовании указано стрелкой); справа: температурная зависимость термоэлектрической добротности образцов.

Литература

1. ShenJ.J. The texture related anisotropy of thermoelectric properties in bismuth telluride based polycrystalline alloys /J.J. Shen,L.P. Hu, T.J. Zhu, X.B. Zhao // Appl. Phys. Lett. – 2011. – V. 99. – P. 124102-1 - 3.

2. CaoR.Thermoelectric properties of Lu-doped n-type $Lu_xBi_{2-x}Te_{2.7}Se_{0.3}$ alloys / H. Song, W. Gao, E. Li, X. Li, X. Hu //J.Alloys and Comp. – 2017 - V. 727. – P. 326 -331.

УДК 621.311

ВАРИАНТЫ И СХЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ СИНХРОННОЙ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ И ЛОКАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Ю.В. Какоша[1], А.Г. Фишов[2]
[1]Аспирант, y.kakosha@nskproekt.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, fishov@ngs.ru
Новосибирский государственный технический университет

Аннотация: исходя из недостатков автономной работы малой генерации рассматриваются варианты их интеграции, как с существующими электрическими сетями с параллельной работой энергоисточников, так и ссозданием малых островных энергосистем. Анализируются преимущества и недостаткипредставленных вариантов и схем.

Ключевые слова**:** распределенная малая генерация, параллельная работа, островной режим, полуостровной режим.

Автономная работалокальных систем энергоснабжения (ЛСЭ) имеет низкую эффективность.Интеграция ЛСЭ на базе малой генерации во внешние электрические сети имеет технические и экономические преимущества для всех участников объединения: генерации, электрической сети и потребителей электроэнергии, однако, их параллельная работа сопряжена с рядом рисков, которые должны быть устранены при объединении.

В [1] предложен способ управления ЛСЭ в режимах автономной и параллельной с сетью работой, исключающий риски с сохранением положительных эффектов от объединения.

В работе рассмотрены варианты и схемы интеграции, использующие данный способ (рис. 1):

– Вариант 1. Индивидуальное присоединение каждой из ЛСЭ к внешней электрической сети с возможностями, как параллельной работы электростанций с сетью, так и автономной (рис. 1).

– Вариант 2. Объединениенескольких ЛСЭ в локальную изолированно работающую энергосистему (ИРЭС) без связи с внешней электрической сетью (рис. 2).

– Вариант 3. Объединений нескольких ЛСЭ в локальную ИРЭС с подключением к внешней электрической сети в нескольких точках с возможностями как параллельной, так и изолированной работы (Рис. 3).

Преимущества и недостатки схем представлены в таблице.

Выбор схемы и обоснование режимов МГ зависит, в первую очередь, от целей, преследуемых при вводе генерирующих мощностей, в т. ч. от требуемой надежности электроснабжения.

Для исключения нормативных и административных барьеров при объединении ЛСЭ требуется усовершенствование нормативно-технической базы и разработка нового порядка технологического присоединения генерирующих мощностей и ЛСЭ к электрическим сетям централизованного

энергоснабжения, в т.ч. существующих правил технологического присоединения потребителей.

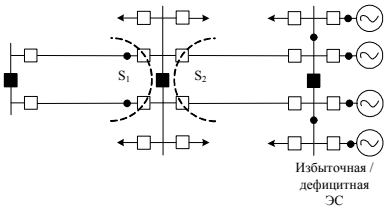
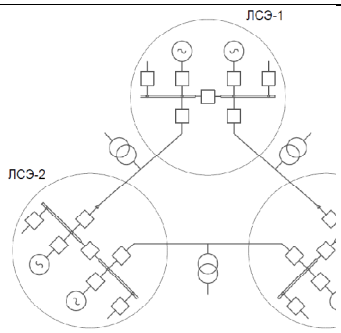
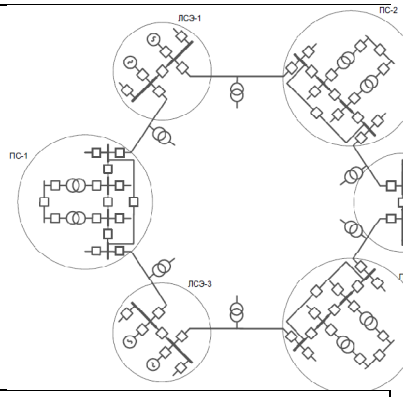
		

Рис. 1. Схема присоединения ЛСЭ к внешней электрической сети	Рис. 2. Схема объединения нескольких ЛСЭ в локальную ИРЭС	Рис. 3. Присоединение локальной энергосистемы на базе нескольких ЛСЭ к внешней электрической сети

Таблица - Преимущества и недостатки вариантов и схем интеграции

№	Вариант интеграции ЛСЭ во внешнюю сеть	Достоинства	Недостатки
1	Индивидуальное присоединение ЛСЭ к внешней электрической сети	Надежность электроснабжения Возможность выдачи избытков мощности в сеть Повышение качества энергоснабжения	Необходимость значительных резервов Необходимость дооснащения специальной Значительные величины относительных нерегулярных колебаний мощности в сравнении с присоединением ИРЭС
2	Объединение нескольких ЛСЭ в локальную энергосистему	Надежность электроснабжения Снижение потребностей в резервных мощностях Возможность оптимизировать распределение нагрузки между ЭС Возможности локального регулирования напряжений Возможности	Необходимость оснащения системными устройствами ПА и режимной автоматики Потребность в системных электрических связях (кабельные сети), системах связи; Риски нарушения устойчивости параллельной работы ЛСЭ.

		сбалансированного выделения в островной режим отдельных ЛСЭ	
3	Присоединение локальной энергосистемы на базе нескольких ЛСЭ к внешней электрической сети	Все преимущества Варианта 2 Возможность выдачи избытков мощности в сеть Повышение качества электроэнергии у потребителей и в местах присоединения к внешней сети Возможность создания альтернативных традиционным энергосистемам – электрических сетей и электросетевых компаний; Многовариантное сбалансированное деление в островных режимах и в режиме параллельной работы	Дополнительные затраты на создание межстанционных электрических связей Нормативные и административные барьеры со стороны собственников электрических сетей на присоединение к сетям Необходимость оснащения специальной автоматикой Необходимость комплексного проектирования совместной работы ЛСЭ, ИРЭС, внешней электрической сети.

Литература

1. Марченко А. И., Мукатов Б. Б., Фишов А. Г. Способ противоаварийного управления режимом параллельной работы синхронных генераторов в электрических сетях, Патент РФ №2662728, Опубл. БИ №22 от 30.07.18)

УДК 621.54(075)

ВЕТРОГЕНЕРАТОРЫ СЕГМЕНТНОГО ТИПА

А.М. Литвиненко[1], А.Е. Новиков[2], К.И. Чеботок[3]
[1]Д-р техн. наук, профессор ВГТУ
[2]Аспирант ВГТУ, andreuis@mail.ru
[3]Студент ВГТУ, kschebotochekks@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. Предложена новая разновидность ветроэлектрогенерационных систем, обладающих повышенной надежностью вследствие отсутствия редуктора при сохранении основных характеристик редукторных установок. Вскрыты основные трудности реализации данных установок, указаны пути их преодоления путем использования новых технических решений. Предложены способы построения и применения предложенных устройств.

.Ключевые слова: безредукторные ветроэлектрогенераторы сегментного типа, статорные элементы, роторные элементы, модульные сегментные элементы, коэффициент перекрытия.

Среди генераторных систем, не потребляющих органическое топливо, т. е. являющихся наиболее экологически чистыми, традиционно, большое внимание уделяется фотоэлектронным преобразователям и ветроэлектрогенераторам (ВЭГ).В любом случае, к таким системам предъявляются требования повышенной надежности.

Как известно, в состав большинства ВЭГ традиционно входят собственно генератор и редуктор, преобразующий относительно невысокую угловую скорость вращения ветроколеса в повышенную скорость вращения генератора.

Между тем известно, что, окружные скорости концов лопастей даже тихоходных ветроколес имеют величину, соизмеримую с окружными скоростями роторов обычных электрических машин [1].

Существенным признаком ветроэлектрогенераторов сегментного типа является размещение их роторных элементов на концах лопастей ветроколес, при этом данные элементы могут частично выполняет функцию винглет, то есть аэродинамических поверхностей, препятствующих сходу потока по торцам лопастей. Что касается статорных элементов, они представляют собой сегменты статора электрических машин обычного типа, но предпочтительно с катушечными обмотками.

Можно выделить следующие особенности сегментных генераторных установок:

1. Отсутствие редуктора, что однозначно повышает надежность.
2. Сегментное исполнение статора дает возможность реализовать в определенных пределах, регулирование потока постоянных магнитов - возбуждающих элементов.
3. Одностороннее тяжение роторных и статорных элементов в сочетании с неравномерностью вращения, вызывает повышенную виброактивность и требует принятия мер по ее ослаблению и компенсации,

например, применение двухстаторного исполнения, повышение жесткости лопастей, усиление подшипникового узла.

4. Специфические требования предъявляются к энергетико-силовой части, в частности, затруднена прямая отдача энергии в сеть, в связи с чем требуется первоначальное выпрямление напряжения. Для маломощных станций это общепринято, поскольку позволяет использовать автомобильное электрооборудование, в том числе и потребители, рассчитанные на 12 или 24 вольта.

5. В связи с этим использование промежуточного накопителя очень желательно, не только с точки зрения долговременного запаса энергии, но и запаса в течение одного оборота ветроколеса[2].

Основные расчетные соотношения, необходимые для синтеза рассматриваемых генераторных систем базируются на механическом и электрическом расчетах. Как известно, для сегментных машин, важным является величина конструктивного коэффициента $К_п$, показывающая величину перекрытия статорных и роторных зон:

$$К_п = \frac{\alpha_r . \alpha_s}{4\pi^2},$$

где α_rиα_s - соответственно суммарные (центральные) углы роторной и статорных сегментов.

Для обычных машин:

$\alpha_r = \alpha_s = 2\pi$и $К_п = 1$.

В рассматриваемом нами случае α_rимеет увеличенное значение и может быть представлен как:

$\alpha_r = \alpha_{r1} + 2\alpha_{r2}$,

где α_{r1}- характеризует классический синхронный генератор (в пределах модуля);

α_{r2} – относится к индукторному режиму.

Очевидно, что возможное уменьшение $К_п$ по сравнению с единицей, должно быть чем-либо скомпенсировано для сохранения электромагнитной мощности. Естественным путем достижения этого, является увеличение скоростной компоненты в механической мощности, подведенной к ветроколесу. Конечно, это может сопровождаться увеличением моментной компоненты.

В общем случае, генерируемое напряжение носит импульсный характер, с провалами в случае отсутствия перекрытия[3].

Литература

1. Литвиненко А.М., Кирилов А.Б. Управление возбуждением сегментных генераторов ветроэнергетических установок изменением воздушного зазора. – Электричество, 2018, №1, с. 28-32.

2.Литвиненко А.М., Тикунов А.В. Проектирование ветроэлектрогенераторов; Учеб. пособие. – Воронеж.: Кварта, 2003, - 96., ил.

3. D. Le Gourieres. Energie eolienne. Theorie, conception et calcul pratiaue des installation. Edition EYROLLES. Paris, 1982. 279p.

УДК: 537.323

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ВРЕМЕНИ ВЫДЕРЖКИ ПРИ ГОРЯЧЕМ ПРЕССОВАНИИ НА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕЛЛУРИДА ВИСМУТА

А.А. Гребенников[1], А.И. Бочаров[2], А.В. Сергеев[3], И.В. Извекова[4]
[1]Заведующий лабораторией, канд. физ.-мат. наук, anton18885@yandex.ru
[2]Ведущий инженер, lekha.bocharoff@yandex.ru
[3]Канд. физ.-мат. наук, sergeev-av@bk.ru
[4]Начальник цеха, threeroad@mail.ru
[1,2,3]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
[4]АО Корпорация НПО «РИФ», г. Воронеж

Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния давления прессования и времени выдержки под давлением на термоэлектрические свойства теллурида висмута n-$Bi_2Te_{2,4}Se_{0,6}$ + Hg_2Cl_2. Установлено, что увеличивая давление прессования с 5 до 5,5 т/см^2, время выдержки под давлением с 5 до 20 мин или оба параметра при неизменной температуре прессования 400 ^oC можно увеличить термоэлектрическую добротность теллурида висмута. В исследованных образцах рост термоэлектрической добротности составил 15%.

Ключевые слова: термоэлектричество, теллурид висмута, электропроводность, теплопроводность, термо-ЭДС.

Исследовано влияние режимов горячего прессования (давления прессования и времени выдержки под давлением) на термоэлектрические свойства теллурида висмута $Bi_2Te_{2,4}Se_{0,6}$ n-типа проводимости, легированного каломелью. Образцы в количестве 4 шт. получены по двухстадийной технологии – синтез с последующим горячим прессованием – на предприятии АО «Корпорация НПО „РИФ“». Режимы горячего прессования каждого образца приведены в таблице 1, где T – температура прессования, p – давление прессования, t – время выдержки под давлением.

Таблица 1

Режимы горячего прессования образцов $Bi_2Te_{2,4}Se_{0,6}$

№ образца	Режим горячего прессования		
	T, ^oC	p, т/см^2	t, мин
1	400	5	5
2	400	5	20
3	400	5,5	10
4	400	5,5	20

Установлено, что изменение режимов горячего прессования незначительно влияет на коэффициент термо-ЭДС – численные значения практически совпадают при температурах больших 200 ^oC и различаются не более чем на 3% при температурах менее 200 ^oC. Проводимость образцов не зависит от давления прессования и времени выдержки. До температуры 200 ^oC температурные

зависимости проводимости практически совпадают, при более высокой температуре различие в проводимости не превышает 5%. Большие значения термо-ЭДС и проводимости образца №2 обусловлены большей концентрацией носителей заряда [1,2] и не связаны с изменением режима горячего прессования.

Изменение режима горячего прессования влияет прежде всего на величину теплопроводности (рис. 1). Причем как увеличение давления прессования, так и увеличение времени выдержки под давлением приводит к снижению теплопроводности материала. Таким образом, увеличивая давление прессования, временя выдержки под давлением или оба параметра можно увеличить термоэлектрическую добротность теллурида висмута. В исследованных образцах рост термоэлектрической добротности составил 15% (рис. 2).

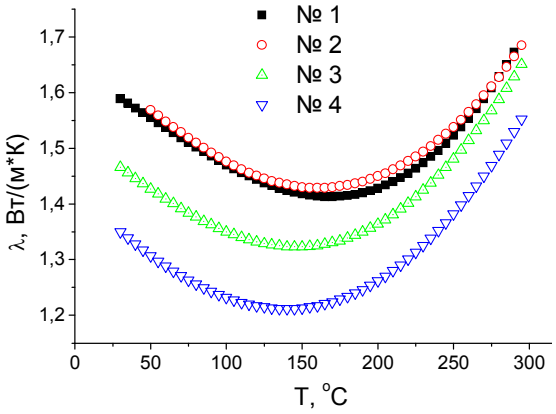


Рис.1. Температурные зависимости теплопроводности образцов $Bi_2Te_{2,4}Se_{0,6}$

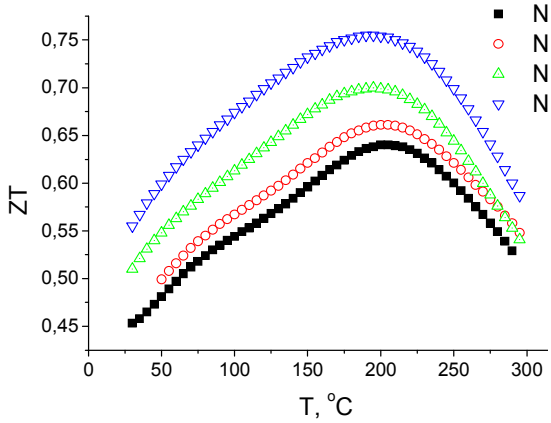


Рис.2. Температурные зависимости термоэлектрической добротности образцов $Bi_2Te_{2,4}Se_{0,6}$

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010г. №218 (Договор № 03.G25.31.0246).

Литература

1. Стильбанс Л.С. Физика полупроводников / Л.С. Стильбанс. – М.: Советское радио, 1967. – 452 с.

2. Гольцман Б.М. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3 / Б.М. Гольцман, В.А. Кудинов, И.А. Смирнов. – М.: Наука, 1972. – 320 с.

УДК 666.3-187

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА

А.К. Федотов[1], Е.Н. Подденежный[2], Л.А. Близнюк[3], Ю.А. Федотова[4], А.В. Пашкевич[5]
[1]Гл. науч. сотр., д-р физ.-мат. наук, профессор, fedotov@bsu.by
[1]НИИ ядерных проблем Белорусского государственного университета, Беларусь
[2]Зав. лаб., д-р техн. наук, профессор, podd-evgen@yandex.ru
[2]Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Беларусь
[3]Заведующий лабораторией, lyuda@physics.by
[3]НПЦ НАНБ по материаловедению, Беларусь
[4]Зам. дир., д-р физ.-мат. наук, julia@hep.by
[4]НИИ ядерных проблем Белорусского государственного университета, Беларусь
[5]Мл. науч. сотр., бакалавр, alexei.paschckevich@yandex.by
[5]НИИ ядерных проблем Белорусского государственного университета, Беларусь,

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

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

В настоящее время большое внимание уделяется твердотельным термоэлектрическим преобразователям (ТЭП), которые имеют как преимущества, так и недостатки перед традиционными генераторами электроэнергии. К преимуществам относится экологическая чистота, относительная простота конструкции, отсутствие движущихся частей, бесшумность работы, высокая надёжность и возможность миниатюризации без потери эффективности ТЭП. Однако наряду со стоимостными показателями термоэлектрических материалов (ТЭМ), широкому применению ТЭП препятствует низкая эффективность преобразования, вследствие неоптимального соотношения электропроводности, теплопроводности и коэффициента Зеебека [1]. Поэтому задача разработки новых типом ТЭМ на основе порошковых керамик весьма актуальна в настоящее время.

В данной работе были получены потенциальные ТЭМ на основе оксида цинка, которые были синтезированы на основе керамических технологий с использованием порошков оксидов железа, алюминия (, никеля () и титана () в качестве легирующих агентов. На полученных образцах были проведены исследования микроструктуры, химического и фазового состава керамик, измерения температурных зависимостей электросопротивления в диапазоне 20 – 700 К) и коэффициента термоэдс при комнатной температуре.

Керамические образцы получались двумя способами. В способе 1 использовался метод управляемого синтеза наноструктурированных порошков

ZnO, Al_2O_3, TiO_2 и NiO в условиях термохимического процесса (горения) [2]. При этом в качестве восстановителя использовались смеси карбамида и ГМТА, а в качестве окислителя - азотнокислые соли Zn, Al Ti и Ni. Для синтеза керамик полученные порошки оксидов смешивались (с добавлением связки) в разных комбинациях, компактировались в таблетки путем прессования и спекались в течение 3-х часов при 1200 °С. В способе 2 использовалась процедура двухстадийного получения керамик из компактированных смесей коммерческих порошков ZnO, FeO, Fe_2O_3 и NiO (синтез при 900 °С в течение 2 ч и последующее 2 хчасовое спекание при 1200 °С) [3].

Химический состав и микроструктура определялись с помощью СЭМ с приставкой для энергие-дисперсионного рентгеновского анализа. Фазовый состав устанавливался с помощью рентгено-дифракционного анализа (РДА) и спектроскопии комбинационного рассеяния (СКР) при комнатной температуре. Параметры решетки фаз устанавливались с помощью данных РДА. Данные РДА и СКР показали, что при легировании оксида цинка Al_2O_3 наблюдаются 3 фазы (вюрцитная фаза ZnO, ганитная фаза $ZnAl_2O_4$ и фаза остаточного оксида Al_2O_3), при добавлении NiO обнаружено 2 фазы (вюрцитная ZnO и остаточный оксид NiO), а при введении TiO_2 были выявлены фазы $ZnTiO_3$ и остаточный TiO_2.

Как показали эксперименты, легирование ZnO разными оксидами по разному влияет на значения коэффицента термоэдс $S_{эдс}$. К примеру, использование в качестве легирующего агента Al_2O_3 с содержанием менее 0,05 практически не изменяет значений термоэдс ZnO. Однако при легировании с содержанием Al_2O_3 свыше 0,05 значение $S_{эдс}$ увеличилась примерно на 30% по сравнению с нелегированным ZnO. Легирование оксидом никеля повышает $S_{эдс}$ примерно на 20 %. В образце $(ZnO)_{0,775}(TiO_2)_{0,19}(Al_2O_3)_{0,03}(NiO)_{0,005}$ за счет легирования TiO_2 значения $S_{эдс}$ увеличиваются на 25-30%. Наибольшее увеличение $S_{эдс}$ наблюдалось при добавлении к ZnO 10 вес.% FeO либо Fe_2O_3 (на 50% и 100%, соответственно). Результаты измерения $S_{эдс}$ свидетельствуют о его определенной корреляции с удельным электросопротивлением ρ изученных образцов: величина $S_{эдс}$ растет с увеличением концентрациии носителей заряда n_n и падением ρ.

Литература

1. Голдсмит, Х. Дж. Эксперименты по непосредственному измерению термоэлектрической добротности / 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.S. Fedotov. Electric properties of composite ZnO-based ceramics doped with Fe / A.V. Pashkevich, L.A. Bliznyuk, J. Kasiuk, A.K. Fedotov, N.A. Basov, I.A. Svito, M. Budzyński, M. Wierteł, P. Zukowski // Przegląd Elektrotechniczny. – 2018. - nr 3. - P. 197-199.

УДК 537.32

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ НА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕЛЛУРИДА ВИСМУТА

О.Н. Иванов[1], М.Н. Япрынцев[2]
[1]Д-р физ.-мат. наук, профессор, ivanov.oleg@bsu.edu.ru
[2]Канд. физ.-мат. наук,yaprintsev@bsu.edu.ru;
ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)

Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния легирования редкоземельными элементами (Lu, Tm, Gd) на удельное электрическое сопротивление, коэффициент Зеебека и теплопроводность теллурида висмута. Проанализированы возможные механизмы, ответственные за повышение термоэлектрической добротности легированных соединений теллурида висмута.

Ключевые слова: теллурид висмута, редкоземельные элементы, легирование, термоэлектрические свойства, механизмы проводимости, магнитосопротивление.

Целью настоящей работы явилось установление закономерностей и механизмов влияния легирования редкоземельными элементами на термоэлектрические свойства теллурида висмута. Термоэлектрические материалы составов Bi_2Te_3, $Bi_{1,9}Lu_{0,1}Te_3$,$Bi_{1,9}Tm_{0,1}Te_3$и$Bi_{1,9}Gd_{0,1}Te_3$электронного типа проводимости были получены с помощью сольвотермально-микроволнового синтеза, искрового плазменного спекания и холодного изостатического прессования.

Установлено, что эти соединения являются вырожденными полупроводниками в интервале температур от комнатной до температуры $T_d \approx$ 470 K. В пределах этого температурного интервала температурное поведение удельного электрического сопротивления ρ обусловлено изменением подвижности электронов, определяемым рассеянием на акустических и оптических фононах. Выше температуры T_d наблюдается переход к собственной проводимости, когда генерируются и электроны и дырки. Легированиередкоземельными элементами ведет к увеличению коэффициента Зеебека, а также к уменьшению удельного электрического сопротивления и полной теплопроводности теллурида висмута в интервале температур 290 - 630 K[1]. Уменьшение ρсвязано с увеличением концентрации электронов, так как редкоземельные элементы являются донорными центрами в структуреBi_2Te_3. Увеличение эффективной массы плотности состояний для электронов может приводить к наблюдаемому увеличению коэффициента Зеебека. Уменьшение полной теплопроводности легированного Bi_2Te_3 связано с формированием точечных дефектов, таких как антиструктурные дефекты и атомыредкоземельных элементов, замещающими атомыBi. Кроме того, уменьшение электронного вклада в теплопроводность, связанное с формированием узкой примесной зоны, характеризующейся резким

изменением плотности состояний вблизи уровня Ферми, может эффективно подавлять полную теплопроводность. Для образцов, полученных с помощью холодного изостатического прессования, термоэлектрическая добротность увеличивается от ~0,4 для чистого Bi_2Te_3 до ~0,5и$Bi_{1,9}Tm_{0,1}Te_3$ и$Bi_{1,9}Gd_{0,1}Te_3$, и~ 0,7 для $Bi_{1.9}Lu_{0.1}Te_3$(рис.).

В температурном интервале 2 ÷ 230 K изучена температурная зависимость ρ соединения $Bi_{1,9}Lu_{0,1}Te_3$. При температуре $T_m \approx$ 11 K обнаружен минимум ρ,связанный с изменением механизма проводимости. Выше T_mсопротивление растет с увеличением температуры. Такое поведение связано с уменьшениемподвижности электронов вследствие рассеяния на акустических фононах. Ниже T_m наблюдается прыжковая проводимость с переменной длиной прыжка, основанная на туннелировании электронов. В этом случае сопротивление увеличивается при уменьшении температуры. Установлено влияние внешнего электрического поля на сопротивление в области прыжковой проводимости, связанное с изменением средней длины прыжка и эффективной плотности состояний на уровне Ферми [2].

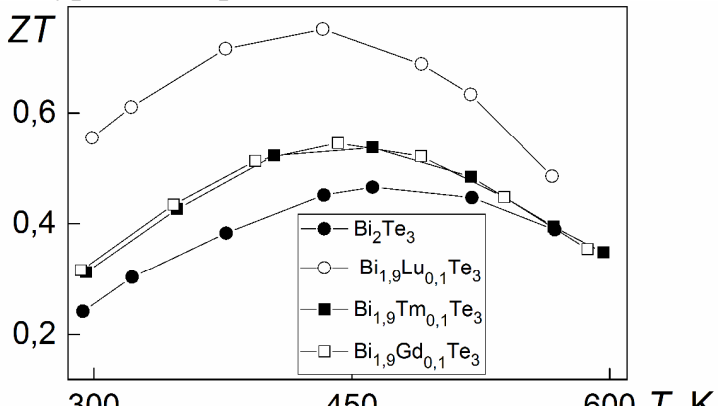


Рис. Влияние легирования редкоземельными элементами на термоэлектрическую добротность теллурида висмута.

Положительное ненасыщенное поперечное магнитосопротивление (*MR*) наблюдалось ниже комнатной температуры в соединении $Bi_{1.9}Lu_{0.1}Te_3$ с неоднородной микрозеренной структурой. Обнаруженкроссовер от параболической зависимости $MR \sim B^2$ в слабых магнитных полях к линейной зависимости $MR \sim B$ в сильных магнитных полях. Линейное магнитосопротивление может быть связано с микроструктурными неоднородностями, создающими сильное неоднородное распределение электрического сопротивления в объеме $Bi_{1,9}Lu_{0,1}Te_3$.

Литература

1. IvanovO. Enhancement of thermoelectric efficiency in Bi_2Te_3 via rare earth element doping /O. Ivanov, M. Yaprintsev, R. Lyubushkin, O. Soklakova// Scr. Mater. –2018. – V.146. - P. 91–94.

2. IvanovO.Electric field effect on variable-range hopping conductivity in $Bi_{1.9}Lu_{0.1}Te_3$ / O. IvanovM. Yaprintsev, E. Danshina// Phys. B: Condens. Matter. – 2018. – V. 545. – P. 222–227

УДК 621.311.1

ВЛИЯНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В.А. Тихонов
tikhonovva00@mail.ru
ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»

Аннотация. В данной работе представлена зависимость диагностических измерений высоковольтных трансформаторов на их эксплуатационное состояние. Приведены примеры дефектов переключающих устройств преобразовательных трансформаторов и методы их выявления. Приведено обоснование важности распознавания дефектов на ранней стадии их возникновения.

Ключевые слова: периодичность диагностики, анализ, преобразовательный трансформатор, хроматографический анализ растворённых газов в трансформаторном масле.

Широкое внедрение получила методика проведения диагностических измерений высоковольтных трансформаторов и выключателей в рабочем режиме. В данном случае, диагностика проводится под рабочим напряжением и рабочей нагрузкой, без отключения их от сети. Диаграммы количества проведённых диагностических измерений и происходящих аварийных ситуаций представлены на рис. 1.

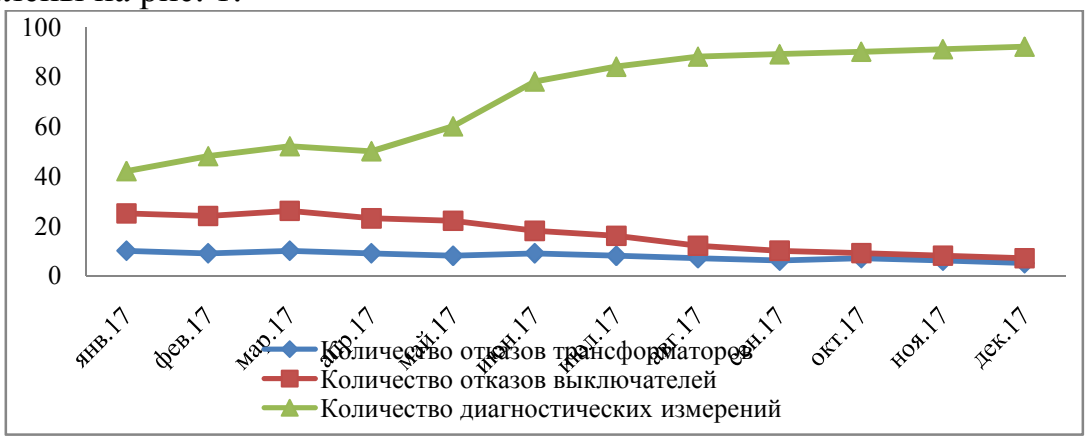


Рис.1. Помесячное распределение отказов трансформаторов и выключателей в зависимости от количества диагностических измерений

Анализ представленных зависимостей показывает, что с увеличением диагностических измерений [1], снижается аварийность электрооборудования и трансформаторов за счёт проведения мелких и средних ремонтов. Тем самым снижается вероятность возникновения крупных аварий и как следствие повышается надёжность системы электроснабжения.

Самым известным примером диагностики является хроматографический анализ растворённых газов в трансформаторном масле. С помощью измеряемых концентраций газов в масле и сравнения их с граничными допустимыми значениями, определяются виды дефектов в трансформаторе.

На рис. 2 показано, что повторяемость правильного результата высокая и составляет 90% при увеличении количества диагностических измерений от 50 единиц [2].

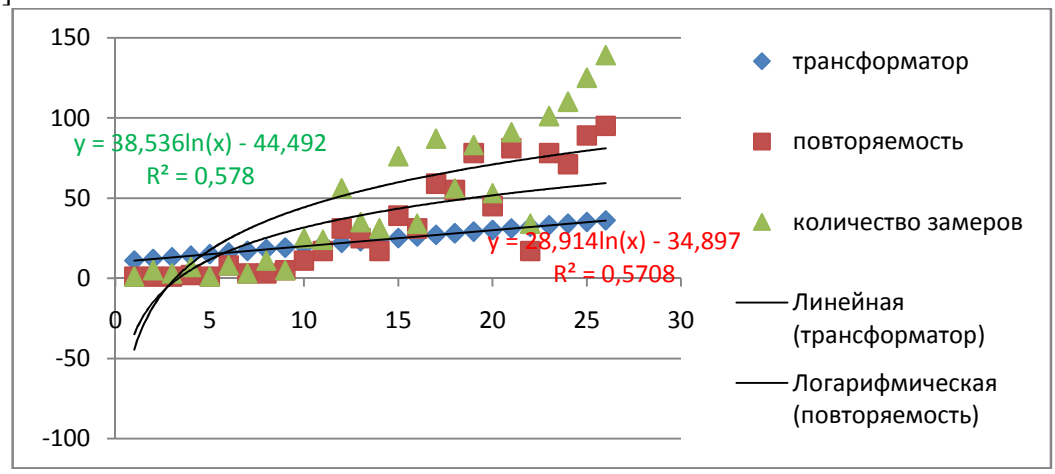


Рис.2. Функции зависимости количества измерений и повторяемости результатов правильного определения дефектов

Увеличенное число замеров хроматограмм так же выявляет дефекты бумажной изоляции, вызываемые протекающими переходными процессами и коммутационными перенапряжениями в трансформаторе[3]. Во время установленные и в минимальное время устранённые, мелкими и средними ремонтами, дефекты трансформаторов, позволяют провести ремонты в часы максимума энергосистемы.

В часы максимума энергосистемы происходит расчёт за мощность электролизного предприятия. Если в часы максимума мощность ниже, то и оплата электроэнергии будет меньше. При проведении ремонтных работ, используя параллельность процессов и применяя систему оперативного контроля КАНБАН [4], одновременно снижается мощность, плата за неё и выполнение ремонтных работ переходит в самоокупаемость.

Литература

1. Силакова В.В. Анализ общеэкономических факторов технологического риска предприятий непрерывного типа производства в России // Экономика и менеджмент систем управления. - 2016. - Т. 20. - № 2. С. 54-62.

2. Power D. J., Sharda R., Burstein F. Decision support systems. – John Wiley & Sons, Ltd, 2015.

3. Анализ и прогноз аварийности распределительных сетей и электроприёмников 6-10кВ в горной отрасли / Медведева М.Л., Кузьмин С.В., Кузьмин И.С., Шманев В.Д. // Надежность и безопасность энергетики. – 2017. – том 10. № 2 – с.120-125.

4. Канбан и «точно вовремя» на Toyota: Менеджмент начинается на рабочем месте / Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. – 218 с.: ил.

УДК: 538.975, 539.234

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА НА ВАХ ПЛЕНОК НИТРИДА УГЛЕРОДА

Р.В. Шалаев[1], А.И. Изотов[2], В.В. Сироткин[3], Г.В. Кильман[4], А.М. Прудников[5]
[1]Канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., sharos@donfti.ru
[2]Ведущий инженер
[3]Ведущий инженер, vladir.52@mail.ru
[4]Ведущий инженер, galyna.k.2015@gmail.com
[5]Канд. физ.-мат. нак, ст. науч. сотр., anatoliy.prudnikov@hotmail.com
Донецкий физико-технический институт им. А.А.Галкина, Донецк, Украина

Аннотация. В данной работе исследованы вольт-амперные характеристики нитрид-углеродных пленок различных типов и влияние на них отжига. Обнаружен эффект термостабилизации ВАХ тонких пленок C-N:Ni после отжига при температуре 200ºС.

Ключевые слова: нитрид углерода, магнетронное распыление, ВАХ.

Благодаря уникальности своих свойств углеродные материалы давно рассматриваются как потенциальный заменитель кремния в микроэлектронике [1,2]. Оптические, электронные, электрические свойства углеродных структур могут меняться в достаточно широких пределах, в зависимости от условий получения, фазового состава, присутствия допирующих элементов. Различные формы углерода могут быть буквально “напечатаны” на поверхностях разнообразной конфигурации для изготовления тонкой, гибкой и прозрачной электроники.

В частности, повышенный интерес к алмазоподобным, графеновым, фуллереноподобным и наноколонарным нитрид-углеродным плёнкам CN_x, CN_x:Ni, CN_x:Eu и др. связан с их уникальными свойствами. Модификация этих свойств приводит к получению материалов нового поколения. Потенциальная область применения таких структур - полностью углеродные солнечные элементы, которые могут быть эффективными, недорогими, доступными для печати на легкоплавкие материалы, гибкими и, в то же время, достаточно жесткими, чтобы выдерживать экстремальные условия и погоду. Благодаря своей универсальности и вариативности свойств, углерод в той или иной форме может быть использован для каждого компонента солнечной батареи (p-n перехода, съемных контактов, защитного слоя - см.рис.). Целью даной работы является исследование вольт-амперных характеристик нитрид-углеродных пленок различных типов и влияние отжига на эти характеристики.

Пленки нитрида углерода (с добавлением Ni, Eu и пр.) получали магнетронным распылением составной графитной мишени (ОСЧ) на подложки из покровного и кварцевого стекла при температурах 80…350^{0}С в атмосфере Ar и N_2. Температурные зависимости вольт-амперных характеристик образцов снимали 4х-зондовым методом при комнатной, 40^{0}С, 60^{0}С, 80^{0}С и 100^{0}С. После этого производился отжиг образцов в инертной атмосфере Ar при температурах, достигающих 500^{0}С, с последующим повторным снятием ВАХ.

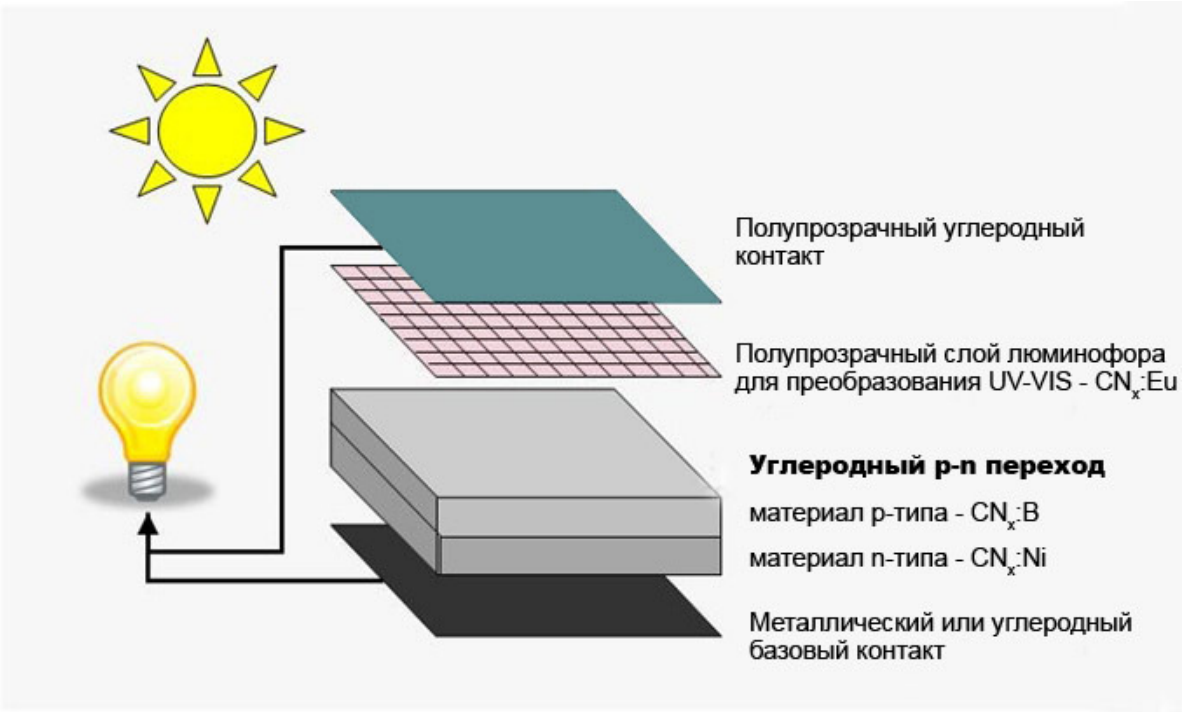


Рис. Схематическое изображение солнечного элемента на основе углеродных материалов: недорогой в производстве, доступный для нанесения на материалы различной конфигурации, гибкий, устойчивый к агрессивной внешней среде

В результате исследований обнаружен эффект термостабилизации вольт-амперных характеристик тонких пленок C-N:Ni после отжига при температуре 200ºC. Обнаружено также, что характерный переход никеля в оксид никеля (со сменой типа проводимости и удельного сопротивления) в присутствии углерода происходит всего лишь при 300˚C, что заметно отличается от стандартной температуры перехода Ni → NiO при 500-600˚C. Такое поведение может объясняться взаимным влиянием нитрида углерода и никеля, а также формой их вхождения в структуру (предположительно образуется структура вида “ядро-оболочка”, где никель представлен в виде ядра, облаченного в углеродную оболочку). Также выявлено влияние концентрации азота в пленках нитрида углерода на удельное сопротивление и тип проводимости пленочных образцов. В целом, показана перспективность получения новых материалов на основе углерода для использования в качестве базовых слоев эффективных солнечных элементов.

Литература

1. Gómez-Gualdrón D.A. Characterization of Metal Nanocatalyst State and Morphology during Simulated Single-Walled Carbon Nanotube Growth / D.A. Gomez-Gualdron, J.M. Beetge, P.B. Balbuena // J. Phys. Chem. – 2013. - C117. - 12061-12070.

2. Cheng D. Core–shell-structured bimetallic clusters and nanowires / D. Cheng, W. Wang, S. Huang // J. Phys.: Condens. Matter. – 2007. – v.19. - 356217.

УДК: 537.322

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДА НА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА МЕДИ

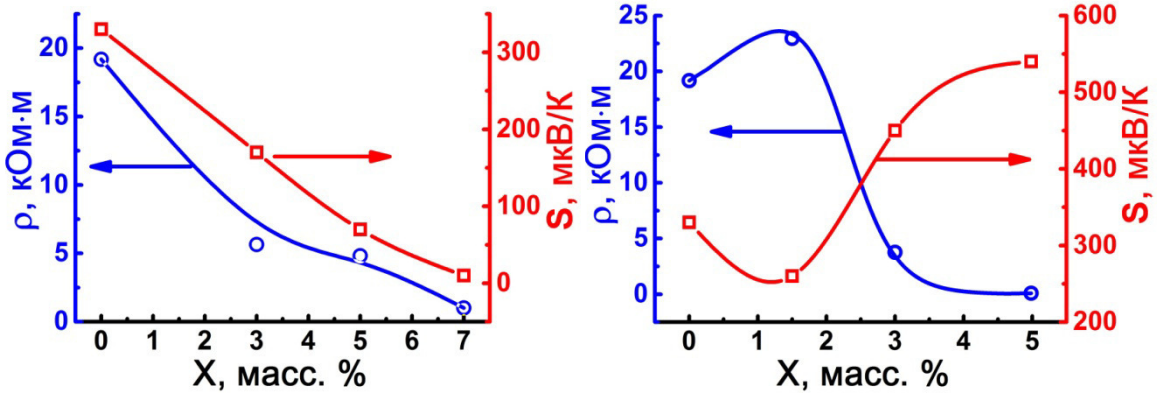
Ю.Е. Калинин[1], М.А. Каширин[2], В.А. Макагонов[3]
[1]Д-р физ.-мат. наук, профессор, kalinin48@mail.ru
[2]Мл. науч. сотр., mnitro@yandex.ru
[3]Мл. науч. сотр., vlad_makagonov@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Россия, 394026, г. Воронеж, Московский пр. 14

Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния количества и типа углеродного наполнителя на структуру и термоэлектрические свойства объемных композитов на основе оксида меди. Установлено, что использование в качестве наполнителя фуллеренов наиболее перспективно с практической точки зрения: введение 5 % масс C_{60} приводит к увеличению фактора термоэлектрической мощности более чем в 300 раз в сравнении с чистым CuO.

Ключевые слова: оксид меди, удельное электросопротивление, термоэдс, углеродный наполнитель

Образцы объемных композитов на основе оксида меди CuO с углеродным наполнителем, в качестве которых исследовались углеродные нановолокна (УНВ) «ТАУНИТ» и фуллерены C_{60}, были получены по керамической технологии методом горячего одностороннего прессования на воздухе при давлении 500 МПа и температуре 375 °С в течение 15 минут. В качестве матрицы композитов использовался наноразмерный порошок CuO со средним размером частиц 50 – 100 нм.

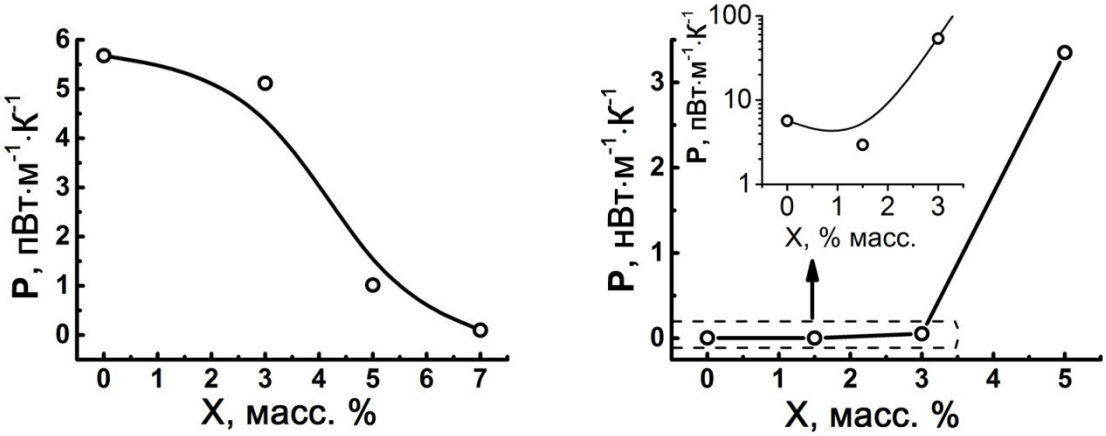
Для установления влияния углеродного наполнителя на электрофизические свойства полученных композитов были измерены зависимости удельного электрического сопротивления ρ и термоэдс S от концентрации углеродного наполнителя X при комнатной температуре (рис. 1).



а) б)

Рис.1. Зависимости удельного электрического сопротивления ρ и термоэдс S от содержания углеродного наполнителя, измеренные для композитов CuO – УНВ (а) и CuO - C_{60} (б)

Все изученные в работе образцы композитов обладают дырочной проводимостью. На основании результатов анализа зависимостей удельного электрического сопротивления ρ и термоэдс S от содержания углеродного наполнителя и температурных зависимостей сделано предположение, что добавление углеродного наполнителя приводит не только к увеличению концентрации носителей заряда (в нашем случае дырок), но также к изменению распределения плотности состояний на уровне Ферми.



а) б)

Рис.2. Зависимости фактора термоэлектрической мощности P от содержания углеродного наполнителя, измеренные для композитов CuO – УНВ (а) и CuO - C_{60} (б)

Для оценки перспективности применения исследованных материалов в качестве термоэлектрических были рассчитаны значения фактора термоэлектрической мощности P (рис. 2). Полученные значения фактора термоэлектрической мощности для всех исследованных композитов, даже максимально достигнутые для композита CuO - C_{60} с 5 % масс. C_{60} являются низкими для практического применения, однако модифицирование свойств термоэлектрических материалов углеродными наполнителями, в частности фуллеренами, выглядит весьма перспективным.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки в рамках проектной части государственного задания (проект № 3.1867.2017/4.6).

Литература

1. Калинин Ю.Е. Влияние углерода на электрические свойства объемных композитов на основе окиси меди / Ю.Е. Калинин, М.А. Каширин, В.А. Макагонов, С.Ю. Панков, А.В. Ситников // Физика твердого тела. – 2018. – Т.60. - Вып. 4 - С. 677 – 686

УДК: 538.911

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ РОСТА ГЕТЕРОСТРУКТУР GaAs/Ge-n$^+$/Si (001) СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ИХ СВОЙСТВА

Д.С. Прохоров[1], А.В. Рыков[2], В.Г. Шенгуров[3], С.А. Денисов[4], Н.В. Байдусь[5], Ю.Н. Бузынин[6]
[1]Магистрант, dprokhrov95@mail.ru
[2] Мл. науч. сотр., rykovsc@gmail.com
[3]Д-р физ.-мат. наук, зав. лаб., shengurov@phys.unn.ru
[4]Канд. физ.-мат. наук, науч. сотр., denisov@nifti.unn.ru
[5]Канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., bnv@nifti.unn.ru
[6]Канд. техн. наук, ст. науч. сотр., buzynin@ipm.sci-nnov.ru
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Аннотация. В данной работе приведены исследования по росту методом химического осаждения из газовой фазы с «горячей проволокой» виртуальных подложек Ge/Si(001) и последующего роста на них методом МОГФЭ солнечных элементов на основе материала A^3B^5. Определены и оптимизированы условия роста, исследованы свойства этих структур.

Ключевые слова: виртуальная подложка, HW CVD, Ge/Si, МОГФЭ, GaAs на Ge, солнечный элемент.

Многослойные гетероструктуры на основе материалов A^3B^5 на виртуальных подложках Ge/Si(001) привлекают внимание из-за возможности применения во многих электронных и оптоэлектронных приборах, в том числе в высокоэффективных солнечных элементах (СЭ)[1,2,3]. Высокое качество слоев GaAs, выращенных на Ge/Si(001), является критическим для работы этих приборов. Для их выращивания необходимо в первую очередь иметь структурно совершенные слои Ge на Si(001) подложках. Это затруднительно из-за большого несоответствия параметров решеток этих материалов, что приводит к образованию прорастающих дислокаций большой плотности в эпитаксиальном слое Ge.

С целью уменьшения их плотности нами впервые для этой цели использовался метод химического газофазного осаждения с «горячей проволокой» (HW CVD)[4]. Процесс проводился при постоянной низкой температуре ~350°C. Плотность прорастающих дислокаций в слоях n$^+$-Ge/Si(001) не превышала $2\cdot10^5$ см$^{-2}$, значение полуширины рентгеновской кривой качания (FWHM) составляет менее 6 угл. мин., а величина среднеквадратичной шероховатости поверхности (rms) не превышала 0,4 нм.

Для выращивания in-situ легированных слоев использовали соиспарение фосфора из соединения GaP, загруженного в эффузионную ячейку вакуумной установки. Максимальная концентрация носителей заряда в слоях Ge составляла $6\cdot10^{19}$ см$^{-3}$[5].

На качество эпитаксиальных слоев A^3B^5 при выращивании их на подложках Ge/Si(001) сказывается различие полярных и неполярных полупроводников, что в результате может привести к формированию

антифазных доменов. Для устранения или минимизации этих доменов нами использовался ряд приемов.

Методом МОГФЭ при пониженном давлении на буферных слоях Ge-n^+/Si(001) выращивали монокристаллические слои GaAs толщиной ~2 мкм. Значение FWHM составляет для них ~ 4,5 угл. мин., а rms не превышает 2 нм. Были выращены также низкоразмерные гетероструктуры с квантовыми ямами InGaAs, которые проявляли интенсивную фотолюминесценцию, что свидетельствует о высоком качестве материала.

Эти исследования позволили провести эксперименты по росту структур на основе A^3B^5 для СЭ. Вначале исследовали электрофизические свойства диодной структуры n-GaAs/p-GaAs/Ge/Si(001). Вольтамперные характеристики имели достаточно низкие обратные токи. Также была исследована структура для СЭ с тремя слоями AlAs/GaAs, выращенная на Ge/Si(001) подложках.

Работа выполнялась в рамках государственного задания № 16.7443.2017/БЧ Министерства образования и науки РФ и при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-32-00636 мол_а – выращивание слоев A^3B^5).

Литература

1. Ren Z. The GaAs/GaAs/Si solar cell – Towards current matching in an integrated two terminal tandem / Z. Ren, H. Liu, Z. Liu, C.S. Tan, A. G Aberle, T. Buonassisi, I. M. Peters // Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2017. – V.160. – P.94-100.

2. Archer M.J. GaInP/GaAs dual junction solar cells on Ge/Si epitaxial templates / M.J. Archer, D.C. Law, S. Mesropian, A. Boca, M. Haddad, C. Ladous, R.R. King, H.A. Atwater // Appl. Phys. Lett. – 2008. – V.92. – P.103503.

3. Buzynin Y. GaAs/Ge/Si epitaxial substrates: Development and characteristics / Y.Buzynin, V. Shengurov, B. Zvonkov, A. Buzynin, S. Denisov, N. Baidus, M. Drozdov, D. Pavlov, P. Yunin // AIP Adv. – 2017. – V.7. – P.015304.

4. Shengurov V. Thin single-crystal Ge layers on 2″ Si substrates / V. Shengurov, S. Denisov, V. Chalkov, Y. Buzynin, M. Drozdov, A. Buzynin, P. Yunin // Technical Physics Letters. – 2015. – V.41. – P.36-39.

5. Прохоров Д.С. In-situ легирование фосфором слоев Ge при выращивании их методом Hot Wire CVD / Д.С. Прохоров, С.А. Денисов, В.Ю. Чалков, В.В. Постников, А.В. Кудрин, М.М. Иванова, В.В. Сдобняков, В.Н. Трушин, Ю.Н. Бузынин, В.Г. Шенгуров // Материалы XXII Международного Симпозиума "Нанофизика и Наноэлектроника", Нижний Новгород, Россия, 12-15 марта 2018 г. – Т.2. – С.741-742.

УДК: 620.92

ВОДОРОДНОЕ АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Б.П. Тарасов
Заведующий лабораторией, tarasov@icp.ac.ru
Институт проблем химической физики РАН

Аннотация: в докладе обоснована перспективность использования водорода в качестве высокоэффективного энергоносителя для сглаживания естественных колебаний в объёмах производства и потребления электрической энергии, получаемой за счёт традиционных и возобновляемых источников.

Ключевые слова: водород, водородная энергетика, возобновляемая энергетика.

Важнейшими проблемами современной энергетики являются разработка экологически чистых источников энергии, переход к «безуглеродной» энергетике для уменьшения загрязнения окружающей среды и предотвращения глобального изменения климата, создание ресурсосберегающей технологии сглаживания естественных колебаний в объёмах производства и потребления электроэнергии, повышение эффективности использования возобновляемых источников энергии. Для решения этих проблем наиболее перспективно использование водорода в качестве высокоэффективного энергоносителя, когда электролизом воды производится водород, который компактно и безопасно обратимо хранится в связанном состоянии, а при окислении водорода в топливном элементе вырабатывается электрический ток. Водород может также играть ключевую роль и в качестве топлива в экологически чистом транспорте и для электропитания объектов жизнедеятельности, может способствовать обеспечению производственной деятельности населения изолированных и удаленных территорий.

Для внедрения и продвижения водородной энергетики в России требуется преодолеть несколько научно-технологических барьеров:

1. Проблема локальной генерации водорода. Наиболее распространенный способ производства водорода из углеводородов характеризуется большим объемом вредных выбросов в окружающую среду. Самым экологичным способом получения водорода является электролиз воды с использованием электроэнергии из возобновляемых источников [1,2].

2. Проблема безопасной транспортировки водорода. Хорошо освоенный коммерческий способ транспортировки водород в баллонах высокого давления применим только для локального использования из-за высоких требований техники безопасности. Транспортировка водорода в сжиженном состоянии решает проблему небольшого объема перевозимого газа, но очень дорога из-за необходимости поддерживания низкой температуры. Наиболее перспективны транспортировки водорода в виде добавок до 20% в трубопровод природного газа с последующим выделением и в химически связанном состоянии в виде гидридов металлов и органических соединений с высоким содержанием обратимого водорода [2,3].

3. Проблема компактного и безопасного хранения водорода. Известные способы хранения водорода в компримированном и сжиженном состоянии для сглаживания естественных колебаний в объёмах производства и потребления электроэнергии не подходят из-за высоких требований техники безопасности, особенно для электроэнергии за счёт возобновляемых источников. Для этой цели наиболее перспективны компактные и безопасные системы обратимого хранения связанного водорода водород-аккумулирующими материалами [3].

В настоящее время активно разрабатываются концепции солнечно-водородной, ветро-водородной и атомно-водородной энергетики, создаются гибридные электроустановки из электролизного генератора водорода, системы хранения водорода и блока водородно-воздушных топливных элементов. Такие экологически чистые гибридные водородные энергоустановки наиболее привлекательны для обеспечения электричеством труднодоступных и удаленных районов, в том числе для освоения Арктики. Во всех развитых странах проходят испытания водородные или гибридные транспортные средства (автомобили, поезда, морские и речные суда, летательные аппараты) [4,5]. По мнению Всемирного энергетического агентства, в ближайшие десятилетия произойдет существенная трансформация структуры генерации электрической энергии, которая приведет к снижению в энергобалансе доли углеводородного топлива и резкому увеличению доли возобновляемых источников энергии [6].

Водородная система аккумулирования электроэнергии, в том числе из возобновляемых источников, должна состоять из трех блоков: 1 – электролизер, который при избытке электроэнергии производит водород, 2 – компактная и безопасная система хранения водорода, в которой водород находится в химически связанном состоянии, 3 – блок водород-воздушных топливных элементов, в которых химическая энергия окисления водорода преобразуется в электрическую, компенсируя недостаток электроэнергии из первичного источника [7]. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (Уникальный идентификатор соглашения RFMEFI61318X0087).

Литература

1.Emonts B., Schiebahn S., Göner K. et al./J. Power Sources.2017.V.342.P. 320.

2. Renewables 2016 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat. 2016.

3. Тарасов Б.П. Водородные энергетические технологии. М.:ОИВТ. 2017. Вып.1. С. 78-100.

4. Попель О.С., Фортов В.Е. Возобновляемая энергетика. М.:МЭИ. 2015, 450 с.

5. Проект Энергостратегии РФ: http://minenergo.gov.ru/node/1920 (2017).

6. International Energy Outlook 2016: www.eia.gov/forecasts/ieo. 2016.

7. Тарасов Б.П., Володин А.А., Фурсиков П.В., Сивак А.В., Кашин А.М. Системы аккумулирования энергии. // Альтернативная энергетика и экология. 2014. № 22. С. 30–41.

УДК: 620.92

ВОДОРОДНОЕ АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВИЭ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ POWER-TO-GAS

Д.О. Дуников
Канд. физ.-мат. наук, ddo@mail.ru
ФГБУН Объединенный институт высоких температур РАН
НИУ Московский энергетический институт

Аннотация. В работе рассмотрена возможность применения технологии Power-to-Gas для аккумулирования энергии ВИЭ в российских условиях на примере Мутновских геотермальных электростанций.

Ключевые слова: ВИЭ, геотермальная энергетика, водород, Power-to-Gas.

Изменение структуры сетевой генерации при внедрении ВИЭ приведет к повышению требований к функционированию и устойчивости сети и создаст новые вызовы к развитию технологий аккумулирования энергии. Меры по повышению устойчивости сети могут быть эффективны только когда доля ВИЭ в генерации составляет менее 25%. При повышении доли ВИЭ либо нужно отключать возобновляемую генерацию во время избытка мощности или снижения потребления, либо устанавливать крупномасштабные системы аккумулирования энергии. На 2016 г. установленная мощность систем хранения энергии составляла только 3% (150 ГВт) от общего количества мировых генерирующих мощностей, при этом 95% приходится долю гидроаккумулирующих станций [1].

Этому подвержены не только переменные ВИЭ, такие как солнце и ветер, но и отличающиеся высоким КИУМ геотермальные электростанции. Например, на Камчатке доля производства электрической энергии Мутновскими геотермальными станциями в общем балансе ЦЭУ Камчатского края находится в пределах 27-30%[2]. В то же время в связи с необходимостью надежного снабжения теплом, приоритетом является теплофикационная выработка электроэнергии на ТЭЦ, в результате величина ночных разгрузок турбоагрегатов Мутновских ГеоЭС составляет свыше 60% от их установленной мощности, из-за чего в среднем за год теряется 12.3% геотермального пара [3]

Водород в качестве универсального вторичного энергоносителя может играть ключевую роль в долгосрочном и сезонном хранении электроэнергии в сетях, полагающихся в основном на локальные возобновляемые источники энергии и местное сырье[4]. Один из наиболее перспективных путей развития водородной энергетики основан на использовании водорода, произведенного электролизом, в качестве аккумулятора энергии ВИЭ, при этом все большую популярность приобретает технология Power-to-Gas (P2G)[5], основанная на добавлении водорода в природный газ с целью использования существующей газовой инфраструктуры для хранения и транспортировки водорода.

Высокопроизводительные щелочные и твердополимерные электролизные системы производятся в настоящее время многими компаниями, на рынке

представлены электролизерымегаваттного класса мощности, оснащаемые вспомогательными системами водоподготовки, охлаждения и очистки до 99.999%, срок эксплуатации стеков до замены составляет 6-11 лет, КПД по нижней теплоте сгорания водорода находится в диапазоне 52%-62% для щелочных электролизеров и 67-64% для твердополимерных[6].

ГОСТ 5542-2014 не нормирует компонентный состав горючих природных газов промышленного и коммунально-бытового назначения, тем самым позволяя подмешивать водород. Однако требования по значению числа Воббе природных газов ограничивают максимальную долю водорода, на практике она не должна превышать 5-10%об. Избыточный водород может быть подвергнут метанизации и добавлен в газовые сети в виде синтетического метана.

Поскольку экономически обоснованные тарифы на электрическую энергию, производимую МутновскимиГеоЭС, примерно в полтора раза ниже, чем у тепловой генерации, возникает возможность экономически обоснованного производства водорода электролизом на Камчатке. В результате можно будет повысить установленную мощность МутновскихГеоЭС, например, за счет бинарных технологий [7],и их КИУМ за счет снижения потерь пара, возникающих из-за диспетчерского регулирования.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (субсидия №14.607.21.0188 RFMEFI60717X0188).

Литература

1. IEA. World Energy Outlook 2016. — Paris: IEA, 2016.

2. АО "Геотерм". Раскрытие информации: годовые отчеты http://www.geotherm.rushydro.ru/disclosure/annual-reports/.

3. Dunikov D.O. Cycle improvement and hydrogen steam superheating at Mutnovsky geothermal power plant // Case Studies in Thermal Engineering. 2018. Т. 12. — С. 736-741.

4. Andrews J., Shabani B. Re-envisioning the role of hydrogen in a sustainable energy economy // International Journal of Hydrogen Energy. 2012. Т. 37. № 2. — С. 1184-1203.

5. Gahleitner G. Hydrogen from renewable electricity: An international review of power-to-gas pilot plants for stationary applications // International Journal of Hydrogen Energy. 2013. Т. 38. № 5. — С. 2039-2061.

6. Felgenhauer M., Hamacher T. State-of-the-art of commercial electrolyzers and on-site hydrogen generation for logistic vehicles in South Carolina // International Journal of Hydrogen Energy. 2015. Т. 40. № 5. — С. 2084-2090.

7. Томаров Г.В., Шипков А.А., Никольский А.И., Семенов В.Н. Повышение эффективности использования геотермальных ресурсов на основе применения комбинированного энергоблока с бинарной установкой на сбросном сепаратемутновскойГеоЭС // Теплоэнергетика. 2016. № 6. — С. 31-35.

УДК: 620.92

ВОДОРОДНЫЕ СИСТЕМЫ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ КИЛОВАТТНОГО КЛАССА МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.И. Борзенко[1], Д.В. Блинов[2], А.А. Глаголева[3]
[1]Канд. техн. наук., зав. лаб., borzenko1971@gmail.com
[2]Канд. техн. наук, ст. науч. сотр., h2lab@mail.ru
[3]Ph. D., мл. науч. сотр., h2lab@mail.ru
ФГБУН Объединенный институт высоких температур РАН

Аннотация. В данной работе представлены результаты демонстрационных проектов по разработке и созданию водородных энергоустановок на топливных элементах с использованием низкотемпературных металлогидридов типа AB_5 в качестве основы для системы хранения водорода. Показаны применимость предложенной архитектуры энергоустановок для создания эффективных систем хранения избыточной энергии ВИЭ и рассмотрены проблемы системной интеграции устройств производства, хранения и использования водорода.

Ключевые слова: топливные элементы, твердофазное обратимое хранение водорода, электролиз.

Использование инструментов распределенной генерации, таких как ветроустановки, фотоэлектрические установки, электростанции на биомассе, топливные элементы, турбины внутреннего сгорания и микротурбины, а также перспективное развитие электрического и водородного автотранспорта создает новые вызовы в управлении режимом энергосистемы, связанные со стабилизацией и повышением напряжения в распределительных сетях, избытком и реверсивными потоками мощности, регулированием частоты, обеспечением устойчивости энергосистемы при отключении большого числа установок, созданием возможности изолированной работы всех типов установок и т.д. [1,2].

Важнейшим инструментом интеграции распределенной генерации в энергосистему являются накопители электроэнергии. Их применение позволяет выравнивать график нагрузки сети и демпфировать колебания мощности, расширять доступную мощность, в том числе для покрытия пиковых нагрузок, стабилизировать работу децентрализованных источников электрической энергии, включая ВИЭ и обеспечивать регулирование частоты в энергосистеме.

В настоящее время наиболее распространенным способом обеспечения бесперебойного питания электроприемников является использование электрохимических аккумуляторных батарей (АКБ) в сочетании с электроагрегатами на основе дизель-генераторных установок (ДГУ). Это решение обладает рядом существенных недостатков, ограничивающих его использование в случае длительных нарушений питающей сети переменного тока, а также в автономных и распределенных энергосистемах. Основными недостатками электрохимических аккумуляторов являются их низкий ресурс,

низкая удельная мощность, существенное ухудшение эксплуатационных характеристик при воздействии как низких, так и высоких температур окружающего воздуха, необходимость постоянного обслуживания и экологическая небезопасность (выделение токсичных веществ как во время эксплуатации, так и при переработке). Основными недостатками ДГУ необходимость значительных капитальных и эксплуатационных затрат, низкая надежность, необходимость завоза топлива, экологическая небезопасность (загрязнение воздуха). Решением этой проблемы может стать хранением энергии в промежуточном энергоносителе - водороде, получаемом от ВИЭ путем электролиза воды и запасаемого либо в сжатом виде, либо в твердофазном связанном состоянии в гидридах металлов, с последующим получением электроэнергии в энергоустановках на базе топливных элементов [3]. Представлены результаты демонстрационных проектов по разработке и созданию водородных энергоустановок на топливных элементах с использованием низкотемпературных металлогидридов на основе $LaNi_5$ в системе хранения водорода. Показаны применимость предложенной архитектуры энергоустановок для создания эффективных систем хранения избыточной энергии ВИЭ, рассмотрены проблемы системной интеграции устройств производства, хранения и использования водорода, а также, повышения эффективности тепломассообмена в устройствах хранения водорода [4 - 7]. Работа выполнена в рамках Госзадания ОИВТ РАН на 2017-2018 гг.

Литература

1. Фортов В.Е. Энергетика в современном мире / Фортов В.Е., Попель О.С. // Долгопрудный: Изда-тельский дом "Интеллект", 2011. 168 с.

2. Да Роза А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: учеб-ное пособие./ да Роза А. //М.: Издательский дом МЭИ, 2010. 704 с

3. S.P. Malyshenko. Metal hydride technologies of hydrogen energy storage for independent power supply systems constructed on the basis of renewable sources of energy. / S.P. Malyshenko, V.I. Borzenko, D.O. Dunikov, O.V. Nazarova. // Thermal Engineering 2012; 59 (6): 468 – 478.

4. Borzenko V. The use of air as a heating agent in hydrogen metal hydride storage coupled with PEM fuel cell/ Borzenko V, Eronin A. // Int J of Hydrogen Energy 2016. V. 41, Issue 48, 23120–23124.

5. Borzenko V. Feasibility analysis of a hydrogen backup power system for Russian telecom market / Borzenko V and Dunikov D // J. Phys.: Conf. Ser. 891 012077, 2017.

6. Borzenko V. Crisis phenomena in metal hydride hydrogen storage facilities/ Borzenko V, Dunikov D, Malyshenko S. // High Temp 2011;49(2):249 – 256.

7. Minko K.B. Numerical simulation of sorption/desorption processes in metal-hydride systems for hydrogen storage and purification. Part II: Verification of the mathematical model / Minko K.B., Artemov V.I., Yan’kov G.G.// Int J of Heat and Mass Transfer 2014; 68: 693-702.

УДК 661.96

ВОДОРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Ю.Н. Шалимов[1], О.Б. Рудаков[2], В.В. Архипов[3], А.Л. Гусев[4], В.И. Корольков[5]
[1]Д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «ВГТУ», shalimov_yn@mail.ru
[2]Д-р хим. наук, профессор, ФГБОУ ВО «ВГТУ», robi57@mail.ru
[3]Советник заместителя председателя коллегии военно-промышленной комиссии РФ
[4]Гл. ред. международного научного журнала "Альтернативная энергетика и экология"
[5]Д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «ВГТУ», korolkov_vi@bk.ru

Аннотация: в работе рассмотрены вопросы безопасного хранения водорода в твердофазной форме. Представлена модель пористого аккумулятора, полученного из алюминия, для объемного накопления водорода по дефектам структуры.

Ключевые слова: водородная энергетика, гидриды металлов, пористые структуры, дефекты структуры.

Представлена технология гидридного хранения водорода в твердофазном состоянии без давления при температурном интервале в условиях эксплуатации $-70 \div +150\,°C$. В зависимости от используемого материала температура экстракции составляет $125 \div 150\,°C$. В системе хранения предполагается наличие редукционного эффекта, исключающего взрывной характер течения газа. Отличительным свойством редукционной системы аккумулирования является полное отсутствие механических клапанов и диафрагм. Предлагаемая система основана на принципе дросселирования газового потока через каналы «поры» с профилем сечения переменного диаметра. При этом формирование пор осуществляется методами электрохимической технологии. Следует указать, что предлагаемая технология 3D-аккумулирования (хранение в объеме) на несколько порядков превосходит системы 2D-аккумулирования (хранение на поверхности), применяемые в настоящее время даже при условии использования технологий многоярусной печати [1-2].

Принцип гидридного хранения водородного топлива должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Иметь высокую степень развития поверхности для обеспечения доступности электролита ко всем участкам электрода при осуществлении зарядки.
2. Обладать возможностью формирования пористой структуры в материале с использованием технологий анодного растворения материала (металла).

На рис. 1 представлены различные варианты образования идеализированной поры.

Рис. варианты образования идеализированных пор в структуре металла.

Не вдаваясь в подробности всех взаимодействий и связей основных параметров технологического процесса: плотности анодного тока, температуры электролита, его концентрации, отметим, что основным (определяющим) технологическим параметром является – плотность анодного тока.

Энергетическая емкость систем хранения водорода определяется, прежде всего, возможностью элемента (металла) взаимодействовать с определенным числом атомов водорода. Например, водород может образовывать гидриды вида Ni-H, Cr-H, Ti-H_2 или $(AlH_3)_n$. Кроме того, один и тот же элемент в зависимости от особенностей кластерной структуры может иметь различную емкость по водороду. Согласно результатам наших экспериментальных исследований величина соотношении $\frac{N_d}{N_A}$, где N_d – число дефектов, N_A – число Авогадро, пропорциональна емкости водорода в накопителе. Главным преимуществом электрохимической технологии формирования металлогидридов является наличие сопряженных реакций на катоде с восстановлением ионов водорода до атомарного и далее до молекулярного

$$H^+ + e \rightarrow H^0 \qquad H^0 + H^0 \rightarrow H_2 . \tag{1}$$

При этом время дезинтеграции образования из двух атомов водорода одной молекулы составляет 1,5мсек. Одновременно на катоде восстанавливается атом металла:

$$Me^{n+} + ne \rightarrow Me^0 \qquad Me^0 + H^0 \rightarrow MeH . \tag{2}$$

В этом случае увеличивается вероятность образования металлогидрида. Определяющее значение в образовании металлогидридов имеет геометрия их структурных формул.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проектной части государственного задания № 9.11295.2018/10.11.

Литература

1. Bockris John O. M., Reddy Amulya K.N. Modern electrochemistry. Ionics. Volume 1. Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 2002, - 767 P.

2. Шалимов Ю.Н. Электрохимические технологии реализации систем безопасного хранения водорода/ Шалимов Ю.Н., Звягинцева А.В., Помигуев А.В., Руссу А.В.// Вестник Воронежского государственного технического университета. 2018. Т. 14. № 3. С. 163-170.

УДК 543.623:544.344.015.4

ДЕГРАДАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ В КЕРАМИКЕ НА ОСНОВЕ ScSZ

В.И. Барбашов[1], Э.В. Чайка[2]
[1]Канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., v.barbashov@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, науч. сотр., ceramics@mail.ru
ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина»

Аннотация. Экспериментально исследована проблема деградации удельной электропроводности керамики ScSZ. Показан детерминированный характер снижения проводимости, вызванный разрушением материала вследствие фазового перехода из ромбоэдрической фазы в кубическую фазу в интервале температур (300-700)^{0}С.

Ключевые слова: ионная электропроводность, диоксид циркония, полиморфный фазовый переход.

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений альтернативной энергетики является разработка твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) на основе керамики из диоксида циркония. Известно, что среди двойных систем диоксид циркония стабилизированный скандием (ScSZ) отличается экстремально высокой удельной проводимостью. Однако широкого практического применения эта керамика пока не получила из-за деградации проводящих свойств, связанных с фазовыми превращениями при средних температурах, и эффектов рекристаллизации и сегрегации примесей на границах зерен. Эти недостатки отсутствуют у материалов, полученных в виде монокристаллов, где у состава 10Sc1YSZ получена наивысшая проводимость для данного типа материалов [1]. В работе приводятся результаты исследований деградации электротранспортных свойств керамики ScSZ в среднетемпературном интервале. Измерения выполнялись на переменном токе частотой 1 кГц.

На рис.1 представлены зависимости удельной проводимости керамики 10ScSZ в образце, имеющем удлиненную форму для выявления влияния трещин на проводимость, поскольку растрескивание носит крупноблочный характер и не выявляется на кривых lgσ-1/T (кривые 2h и 2c). Изменение направле-

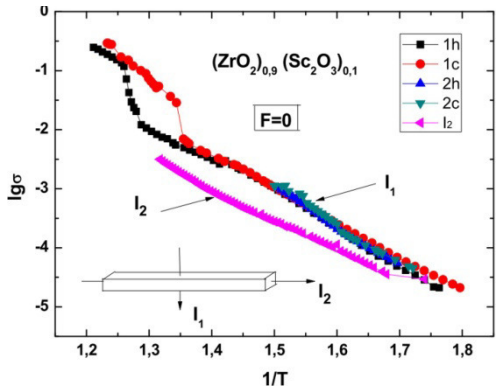


Рис.1. Зависимости удельной проводимости керамики 10ScSZ: 1h - первый нагрев, 1c -первое охлаждение; 2h - второй нагрев, 2c - второе охлаждение.

ния тока позволило однозначно установить факт снижения удельной проводимости, вызванного образованием трещин. Видно, что деградация свойств материала произошла вследствие фазового перехода из ромбоэдрической фазы в кубическую, о чем свидетельствует петля гистерезиса на кривых lgσ-1/T (1h и 1c).

При температурах свыше 700^0C основным механизмом деградации является миграция ионов скандия к границам зерен, что приводит к их недостатку в объеме материала и снижению концентрации ионов кислорода – носителей электрического заряда. Для замедления этого процесса материал легируют ионами большего радиуса (Y, Ce (керамика DKKK), Bi, La и др.). Преимуществом легирования висмутом является снижение на 200^0C температуры спекания с возможностью получения плотной газонепроницаемой керамики.

Эксперименты показали, что полностью остановить процесс деградации не удается. На рис.2 показано, что в процессе нагрева при 1350^0C происходит рост удельной проводимости и переход материала в двухфазное состояние (образуется ромбоэдрическая фаза), проявляющееся в нелинейном характере кривых lgσ-1/T. При нагреве керамики DKKK и ей подобных, происходит фазовый переход из кубической в ромбоэдрическую фазу, а при дальнейшем повышении температуры – обратный переход из ромбоэдрической в кубическую фазу.

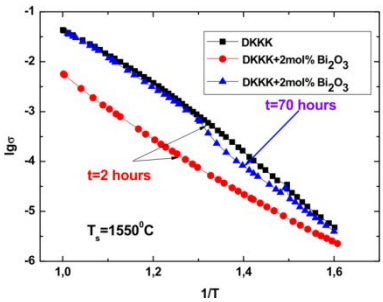


Рис.2. Зависимости удельной проводимости керамики DKKK.

Происходящая при полиморфных переходах деградация механических и транспортных характеристик является препятствием для использования указанных материалов при циклических температурных испытаниях. Одним из способов разрешения указанной проблемы может быть формирование высокопроводящей ромбоэдрической фазы в керамике ScSZ [2].

Литература

1. Курицына, И.Е. Исследование электротранспортных характеристик керамических и монокристаллических материалов состава $(ZrO_2)_{0.89}(Sc_2O_3)_{0.10}(Y_2O_3)_{0.01}$ / И.Е. Курицына, С.И. Бредихин, Д.А. Агарков и др. // Электрохимия. – 2018. – Т. 54. – № 6. – С. 554-560.

2. Барбашов, В.И. Упорядочение кристаллитов в керамике ScSZr при полиморфном фазовом переходе под нагрузкой / В.И. Барбашов, Э.В. Чайка // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. докл. VIII Междунар. науч. конф., Минск: Ковчег. – 2018. – Т. 1. – С. 239-241.

УДК: 527.226.3; 539.23;539.975;621.893

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК НА ОСНОВЕ ЛИТОЛА И СОЛИДОЛА С МЕЗОГЕННЫМИ ПРИСАДКАМИ

А.Т. Пономаренко[1], В.Г. Шевченко[1], Л.В. Ельникова[2], О.Б. Акопова[3], В.В. Терентьев[4]
[1]Д-р хим. наук, профессор Anapon@ispm.ru, Shev@ispm.ru,
Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, Москва;
[2]Канд. физ.-мат. наук, elnikova@itep.ru, ФГБУ «ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова», НИЦ «Курчатовский Институт», Москва;
[3]Д-р хим. наук, akopov@dsn.ru, ФГБОУ ВО « Ивановский государственный университет», Иваново;
[4]Канд. техн. наук, vladim-terent@yandex.ru, ФГБОУ ВО «Ивановская ГСХА им. Д.К. Беляева», Иваново.

Аннотация: электрические характеристики смазочных композиций Литола-24 и солидола с жидкокристаллическими присадками валерата и изовалерата меди с концентрацией 1,5,10 и 20 масс.% определены методом диэлектрической спектроскопии в диапазоне частот 100 Гц – 1 МГц. Подтверждена возможность лиотропных фазовых переходов между колончатой и изотропной жидкокристаллическими фазами при малых концентрациях присадок и оценены энергии активации композитов.

Ключевые слова: смазка, электрические характеристики, диэлектрическая спектроскопия.

Для повышения износостойкости деталей сельскохозяйственных машин и механизмов применяются, в частности, пластичные смазочные композиции на основе Литола-24 и солидола с мезогенными присадками в виде, карбоксилатов меди(II), валерата и изовалерата и др. гомологов [1]. По результатам испытаний изделий на машинах трения в присутствии таких смазочных композиций [1-2] доказана эффективность использования дискотических мезогенов для улучшения как антифрикционных, так и противоизносных характеристик серийных смазок.

Мы демонстрируем результаты метода диэлектрической (ДЭ) спектроскопии, позволяющий построить частотные зависимости электрических величин композитов на основе Литола-24 с присадками валерата и изовалерата меди(II) в различных концентрациях в температурных диапазонах от нормальных условий до температур, превышающих температуры плавления, где ожидаются лиотропные переходы между изотропной и дискотической фазами [1].

Смазочные композиции были приготовлены [1-2] посредством механического смешивания базовой смазки (Литола-24 и солидола) с порошками 1,5,10 и 20 масс.% карбоксилатов меди(II) $Cu(C_4H_9COO)_2$.

В присутствии присадок в соотношениях 1,5,10 и 20 масс.% при воздействии частот от 100 Гц до 1 МГц проявилось изменение характера диэлектрической проницаемости $\varepsilon'+i\varepsilon''$ (рис. 1) и электропроводности по сравнению с базовой смазкой.

Для образцов Литола-24 с присадками валерата и изовалерата меди при измеренных температурах проявилось наличие пиков тангенсов угла потерь. Из их распределения получена энергия активации при концентрации присадок 1% Q = 1,13212 и 1,1151 эВ, при концентрации 5% Q = 1,083 и 1,05305 эВ соответственно.

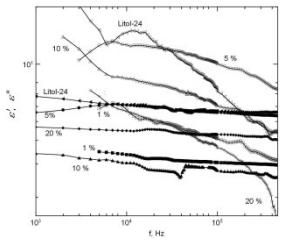


Рис. Частотная зависимость ε', ε'' Литола-24 с различными концентрациями валерата меди при 363 К.

Вероятна принадлежность этих пиков к α- или β-релаксации (≈ 97 кДж/моль). При увеличении температуры пики величины tgδ смещаются в сторону высоких частот и уменьшаются по абсолютной величине. Для анализа полученных спектров потерь использовалась модель Хаврилиака-Негами. Из этих результатов оценены времена релаксации (так, при 1 масс.% изовалерата меди в Литоле-24 эти времена составляют 0,1 мс).

В случаях бесприсадочной смазки и систем с присадками концентраций 1 масс.% валерата и 10 масс.% изовалерата меди наблюдается низкочастотный выход электропроводности на плато – зонная проводимость, а на частотах выше 3,7–4 кГц наблюдается прыжковая проводимость.

Характер температурной зависимости электропроводности изменяется при добавлении карбоксилатов меди к базовой смазке. Конформация присадки также влияет на эту температурную зависимость.

ДЭ показали различие функций $\sigma(1/T)$ на различных частотах и прохождение двух типов релаксационных процессов.

Установлено, что для 1 масс.% валерата меди и 10 масс.% изовалерата меди в системе Литол-24–присадка наилучшим образом стабилизируется упорядоченная фаза, а в диапазоне концентраций 5-10 % происходит фазовый переход в изотропную фазу; при высоких концентрациях присадок, около 20 %, смазка ведет себя подобно бесприсадочной, но может меняться тип ее проводимости.

Литература

1. Акопова О.Б., Лапшин В.Б., Терентьев В.В., Богданов В.С. Карбоксилаты меди. Моделирование, синтез, мезоморфизм и трибологические свойства // Жидкие кристаллы и их практическое использование. - 2012.- Вып. 2(40).- С. 20-28.

2. Терентьев В.В., Акопова О.Б., Телегин И.А., Боброва Н.В. Повышение надежности сельскохозяйственной техники за счет использования пластичных смазочных материалов с мезогенными присадками-карбоксилатами меди // Жидкие кристаллы и их практич. использ. - 2014. -Вып. 14(2). – С. 97-102.

УДК: 621.316

ЕМКОСТНОЙ ОТБОР МОЩНОСТИ ОТ ЛИНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

М.А. Рожина[1], Н.С. Бурянина[2], Ю.Ф. Королюк[3], А-М. В. Тимофеева[4]
[1]Аспирант, djmik_90@bk.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, bns_2005@mail.ru
ФГАОУ ВО «Северо – Восточный федеральный университет» [1], Чукотский филиал Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Анадырь[2], Российская Федерация

Аннотация. В данной работе представлен способ электроснабжения удаленных потребителей «малой» мощности. Альтернативным решением проблемы снабжения без строительства мощных трансформаторных подстанций и использования дизельных генераторов.

Ключевые слова: конденсатор; передача электрической энергии; выбор мощности; высоковольтные линии; мощность; трансформатор.

Электроснабжение северных территорий является серьезной проблемой из-за удаленности объектов, в основном небольших населенных пунктов, зачастую ограниченных единицами или несколькими десятками домов.

Северный энергорайон, который занимает 2/3 территории всей республики (2,2 млн. км^2). Линии электропередачи 110 – 220 кВ прокладываются вдоль дорог, на которых имеются населенные пункты из нескольких домов, геологические партии, сельскохозяйственные угодья и лесоперерабатывающие станции. Строить подстанции с трансформаторами с учетом их эксплуатации экономически не целесообразно. Поэтому такие населенные пункты снабжаются электроэнергией от малых дизельных генераторов. Квалифицированного обслуживания, как правило, нет, поэтому происходят частые отключения.

Сложная инфраструктура и транспортная схема завоза топлива; большая протяженность и загруженность линий электропередач, резко-континентальный климат с перепадами температур от – 58 ^{o}C до + 45 ^{o}C – все эти факторы негативно сказываются на качестве электроэнергии. Высока вероятность аварий из-за ненадежности работы электрических сетей.

Существует несколько вариантов емкостного отбора мощности. Классическая схема емкостного отбора [1] изображена на рис.

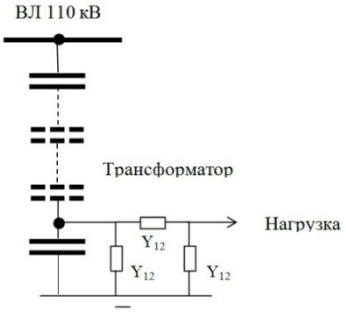


Рис. Классическая схема емкостного отбора мощности

Величина отбираемой мощности от емкостного отбора зависит от мощности конденсаторов. При высоком напряжении первичной обмотки трансформатора отбора, равном 10 кВ, номинальное напряжение конденсаторов тоже должно быть 10 кВ. Минимальная мощность отечественных конденсаторов на такое напряжение составляет 50 кВАр.

Соответственно и мощность отбора должна быть того же порядка. Если же мощность отбора на порядок меньше, использование описанных схем с точки зрения экономики нецелесообразно.

В связи с выше изложенным можно сказать, что в районах Север-Востока РФ целесообразно выполнять отборы малых мощностей от линий электропередачи 110 – 220 кВ для электроснабжения небольших жилищных объектов, временных горно-геологических партий и баз, пунктов питания сотовой связи и др.

Для этой цели рекомендуется выполнять емкостные отборы мощности, причем емкости включать на напряжение 0,4 кВ к обмоткам низкого напряжения однофазных трансформаторов, обмотки высокого напряжения которых включать последовательно в цепь между фазными проводами линии электропередачи и «землей».

Серьезная проблема, которая требует решения, является отключение емкостного отбора от линии. Устанавливать выключатель дорого. Поэтому рассмотрим отключение отбора разъединителем. На напряжении 110 кВ при расстоянии между полюсами 3,5 м согласно ПУЭ можно отключать зарядные токи линии 5 А. Зарядные токи линии, как и токи емкостного отбора, емкостные, поэтому вышеуказанное правило распространяется и на отключение тока отбора в холостом режиме. Гарантировано можно отключать ток холостого хода при мощности трехфазного отбора 150 кВА. При этом ток отключения составит 3 А. Предварительно необходимо отключить нагрузку, что можно выполнить выключателем нагрузки.

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года (далее – Стратегия) разработана в соответствии с Федеральным законом от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации»

2. Устройство емкостного отбора мощности от линии электропередачи: пат. 2594890 Рос. Федерации: МПК H02J 3/04/ Королюк Ю.Ф., Бурянина Н.С., Лесных Е.В., Рожина М.А.; заявители и патентообладатели: Королюк Ю.Ф., Бурянина Н.С., Лесных Е.В. - №2015110388/07; заявл. 23.03.2015; опубл. 20.08.2016, Бюл. № 23.

УДК 621:913:621.633

ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС РЕДУКТОРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

О.И. Попова[1], М.И. Попова[2], Л.С. Печенкина[3], А.В. Демидов[4]
[1]Канд. техн. наук, доцент olga_10_popova@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, vip.popovamargarita@mail.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, pls-7@mail.ru
[4]Канд. техн. наук, доцент, dontcray@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В данной работе представлена новая конструкция червячной фрезы для изготовления червячных колес. Новая конструкция фрезы позволяет значительно снизить интенсивность износа зубьев инструмента, что приводит к увеличению стойкости инструмента, повысить точность обработки. Предложена методика изготовления нового литого инструмента из самозакаливающихся комплексно-легированных сплавов на основе железа, сочетающие высокую прокаливаемость с принципом композиционного упрочнения.

Ключевые слова: червячная фреза, червячное колесо комплексно-легированные сплавы.

Одним из главных критериев технического состояния червячных редукторов является их уровень допустимой нагрузки. Также очень важным критерием является надежность сборки червячной передачи в редукторе. Из практики проектирования и производства червячных передач известно, что теоретически верное зацепление червячной пары может быть обеспечено при высокой точности изготовления червячного колеса [1].

В предлагаемой конструкции червячной фрезы (рис. 1), благодаря уменьшению рабочей высоты зуба для первого, второго и третьего проходов сокращается длина основания каждого зуба, что дает возможность, не уменьшая прочности зуба, уменьшить угловой шаг зубьев в торцевом сечении и образовать на том же внешнем диаметре червячной фрезы большее количество реек. Увеличение количества реек дает большее количество профилирующих резов, что позволяет обеспечить повышение точности обработки, а также уменьшить неравномерность нарезания и динамические нагрузки [2, 3].

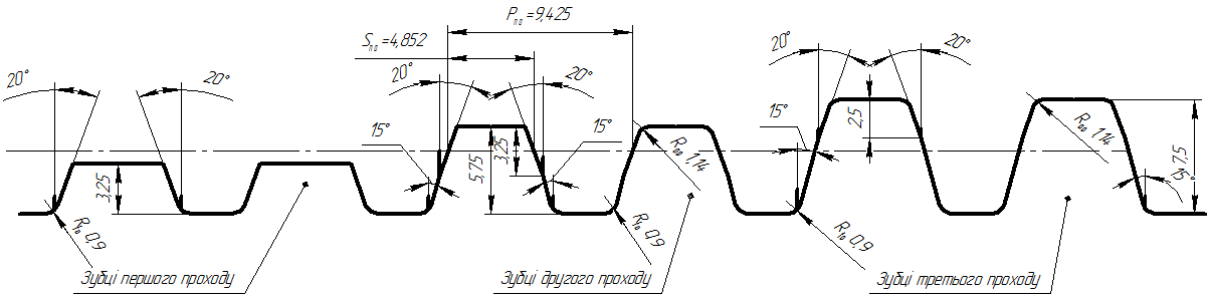


Рис.1. Профиль инструментальной рейки червячной фрезы $m=3$, d_{a0} =58,5мм.

Благодаря тому, что червячная фреза с разделенным профилем по высоте на три части инструментальной рейки одновременно содержит расположенные на одной винтовой поверхности зубья для первого, второго и третьего прохода с одинаковым диаметром впадин и различными внешними диаметрами, обработка червячного колеса осуществляется с одной установки, что обеспечивает повышение точности обработки. Кроме того, затылование и заточка зуба самой фрезы осуществляется также с одной установки, что обеспечивает повышение точности изготовления, уменьшение трудоемкости изготовления и эксплуатации инструмента.

Для изготовления червячной фрезы новой конструкции из новых комплексно-легированных сплавов использованы две принципиально различные технологические схемы: 1) отжиг литых заготовок, механическая обработка, высокотемпературная закалка, отпуск на вторичную твердость, доводка шлифованием; 2) получение точнолитых заготовок, их зачистка и доводка. Установлен рациональный химический состав комплексно-легированных сплавов (основа – железо), включающий: от 1,3% до 1,9% углерода, 3,6 -5,3% молибдена, 3,4-6,1% ванадия и 4,0-5,5% хрома до 1,3% кремния при ограниченном содержании марганца (до 1,2%), алюминия и редкоземельных элементов (до 0,15%). Использование в качестве инструментального материала новых литых комплексно-легированных сплавов обеспечивает режущему инструменту высокую стойкость и сопротивляемость ударной нагрузке, приводит к уменьшению стоимости, дает возможность изготавливать режущие инструменты, работающие при высоких ударных нагрузках, для обработки крупногабаритных деталей, зубчатых колес и других заготовок [4, 5].

Установлено, что применение червячных фрез новой конструкции позволяет увеличить число стружечных канавок в 1,5 - 1,7 раз, что позволяет увеличить число профилирующих резов, уменьшить неравномерность нарезания и динамические нагрузки, позволяет снизить интенсивность износа зубьев инструмента в 1,3-1,5 раза, что увеличивает износостойкость инструмента.

Установлен рациональный химический состав самозакаливающихся комплексно-легированных сплавов (основа – железо), включающий до 2% углерода, ванадий и хром при соотношении их содержаний 0,90-0,95% до 2% кремния при небольшом содержании молибдена (до 3%) и ограниченном содержании марганца (до 0,8%).

Литература

1. Зубчатые и червячные передачи. Некоторые вопросы кинематики, динамики, расчета и производства/ ред. Н. И. Колчина. – Л. : Машиностроение, 1974. – 352 с.

2. Попова О. И. Пути повышения стойкости червячных фрез/ О. И. Попова, М. И. Попова, Л. С. Печенкина// Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2018. – Т.14. - № 4. – С.134-139.

3. Попова О. И. Усовершенствование математических моделей формообразования червячных колес с учетом равномерного припуска при обработке / О. И. Попова, А.В. Кривошея М. И. Попова// Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2017. – Т.13. - № 2. – С.114-122.

4. Афанасьев В. К. Разработка инструмента из белого чугуна без применения специального легирования/ В. К. Афанасьев, А. В. Кольба// Металлообработка.- №2(62). – 2011. С. 41-48.

5. Печенкина Л. С. Оптимизация состава самозакаливающихся чугунов// Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2017. – Т.13. - № 6. – С.117-121.

УДК: 004: 681.518

ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СТРУКТУРУ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ УПРАВЛЕНИЯ АЭС

В.П. Поваров[1], Д.В. Терехов[2], А.Д. Данилов[3]
[1]Канд. техн. наук, директор НВ АЭС, povarov_vp@mail.ru
[2]Начальник ЦТАИ НВ АЭС, terehovdv@nvnpp1.rosenergoatom.ru
филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»
[3]Д-р техн. наук, профессор, danilov-ad@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В данной работе рассмотрена задача интеллектуализации управления ядерными блоками АЭС на основе ANFIS-подобной нечетко-нейронной сети и экспертной базы знаний.

Ключевые слова: многопараметрический мониторинг, нечетко-нейронная сеть, экспертная база знаний,

Одной из серьезнейших проблем, требующих применения экспертных систем, являются задачи обработки и анализа информации для принятия решений при управлении потенциально опасными объектами ядерной энергетики. К таким объектам относятся и атомные электростанции (АЭС), характерной особенностью управления которых является то, что любой энергоблок представляет собой динамический объект с большой вероятностью появления в процессе эксплуатации внештатных ситуаций.

Главной проблемой решения такой задачи является то, что типовым проектом АЭС не были предусмотрены системы неразрушающего контроля дефектности и диагностики фактической термосиловой нагруженности наиболее проблемного оборудования.Решение данной задачи, в первую очередь, заключается в разработке и внедрении новых теоретических основ принятия решений в системах управления потенциально опасными объектами на основе интеллектуального многопараметрического мониторинга параметров состояния и расчетно-экспериментальной оценке повреждаемости наиболее эксплуатационно – нагруженных зон ответственного оборудования АЭС.

При проведении такой работы был осуществлен анализ структуры общей системы контроля и управления АЭС и предложен вариант интеграции в нее систем мониторинга, прогнозирования и принятия решений (рис.)[1].

Концепция интеллектуальной системы принятия решений в условиях аварийных ситуаций при управлении объектами ядерной энергетики на базе систем непрерывного мониторинга основывается на следующем подходе: в ее структуре выделяется 4 блока – собственно сама система непрерывного многопараметрического мониторинга состояния объекта ядерной энергетики. Является источником информативных параметров для интеллектуальной

системы принятия решений; блок анализа входных данных и устраненияпроблем неполноты информациинаосновереализации многомерных регрессионных

Рис. Укрупненная структурная схема систем управления АЭС

моделей. Данный блок обрабатывает поступающую на его вход матрицу значений информативныхпараметров, зависящих от дискретного времени поступления данных в блок многопараметрического мониторинга и имеющих корреляцию между собой; блок прогнозирования. Реализован на основе ANFIS-подобной нечетко-нейронной сети, которая используется для формирования прогнозных значений информативных параметров интеллектуальной системы принятия решений в задачах управления процессами функционирования энергетических установок атомных электростанций. Кроме прогнозирования данный блок включает в себя модуль обучения и модуль модификации параметров функционирующей сети; блок принятия решений. Функционирует на основе экспертной базы знаний с использованием текущих и прогнозных значений информативных данных. Реализован в виде ситуационной модели. На вход блока поступают два спрогнозированных вектора параметров и один текущий, на выходе блока формируется множество альтернатив принимаемых решений [2].

Литература

1. Поваров В.П. Автоматизированная система многопараметрического мониторинга параметров состояния энергетических установок АЭС / В.П. Поваров, М.Б. Бакиров, А.Д. Данилов - Воронеж: Издательство «Научная книга», 2017.- 244 с.

2. Danilov A.Intellectual decision-making system in the context of potentially dangerous nuclear power facilities / A. Danilov, V. Burkovsky, S. Podvalny, K. Gusev, V. Povarov // MATEC Web of Conferences, 13. Ser. "13th International Scientific-Technical Conference on Electromechanics and Robotics "Zavalishin's Readings" - 2018".- 2018.-С. 2009-2014.

УДК: 681.5.01, 621.31.44, 621.311.16

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ВНУТРЕННИМИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМИ РЕСУРСАМИ АЭС НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Е.В. Сидоренко[1], А.Л. Руцков[2], В.Л. Бурковский[3]
[1]Директор Нововоронежского представительства ООО «Корпорация АК «ЭСКМ», eskm.nv@mail.ru
[2]Канд техн. наук, alex_8_90@mail.ru,
[3]Д-р техн. наук, профессор, bvl@vorstu.ru.
ООО «Корпорация АК «ЭСКМ»,
Филиал ПАО «МРСК Центра» - «Воронежэнерго»,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет».

Аннотация. В данной работе анализируется проблематика использования средств интеллектуализации управления внутренними потребительскими ресурсами АЭС на основе аппарата нейронных сетей. Рассмотрены факторы, влияющие на качество реализации соответствующих задач. Представлены результаты, позволяющие сделать вывод о повышении энергоэффективности и надёжности исследуемых систем электроснабжения при организации интеллектуальных систем управления.

Ключевые слова: внутренние потребительские ресурсы АЭС, интеллектуализация, снижение потерь активной мощности, надёжность, нейронные сети.

Электрооборудование, предназначенное для удовлетворения собственных нужд АЭС, является значимым сегментом в энергетическом балансе региональных электроэнергетических систем (ЭЭС). Так установленная мощность данного типа нагрузки на Нововоронежской АЭС имеет значение 126 МВ·А, что составляет 2,62 % от рассматриваемого показателя на территории Воронежской области. По этой причине оптимизация функционирования соответствующего электрооборудования АЭС является важной задачей в контексте создания энергоэффективных и ресурсосберегающих систем регионального энергопотребления.

Кроме того, следует учитывать специфические требования надёжности, предъявляемые к рассматриваемому классу оборудования (по наиболее критичной группе электроприёмников – первой):

– допустимое отклонение напряжения: +10%; -15%;

– допустимое отклонение частоты ± 1 %;

– допустимое искажение формы кривой напряжения (коэффициент синусоидальности) не более 5 %;

– допустимый перерыв в электроснабжении не более 20 мс.

При этом, как показано в [1,2], решение поставленных задач напрямую связано с качеством прогнозирования нагрузки в региональных ЭЭС с обязательным учётом слабоформализуемых факторов, выражающихся в климатических, технико-экономических вариациях (и отклонениях от стандартных значений, получаемых посредствам применения классических регрессионных моделей).

Для решения данной проблемы перспективным и практически реализуемым подходом является применение в локальных системах управления

средств интеллектуализации, основанных на применении, в том числе, нечётких нейронных сетей и регуляторов (ННР). Исследования, проведённые применительно к различным уровням (группам) нагрузки в рамках ЭЭС [2,3], позволяют получить сравнительную оценку эффективности применения средств интеллектуализации, как в рамках задач сбережения энергоресурсов, так и повышения надёжности систем электроснабжения (в частности, применительно к электрооборудованию, реализующему внутренние потребительские ресурсы АЭС, находящемуся в области элементов распределения перетоков мощности) – рис.

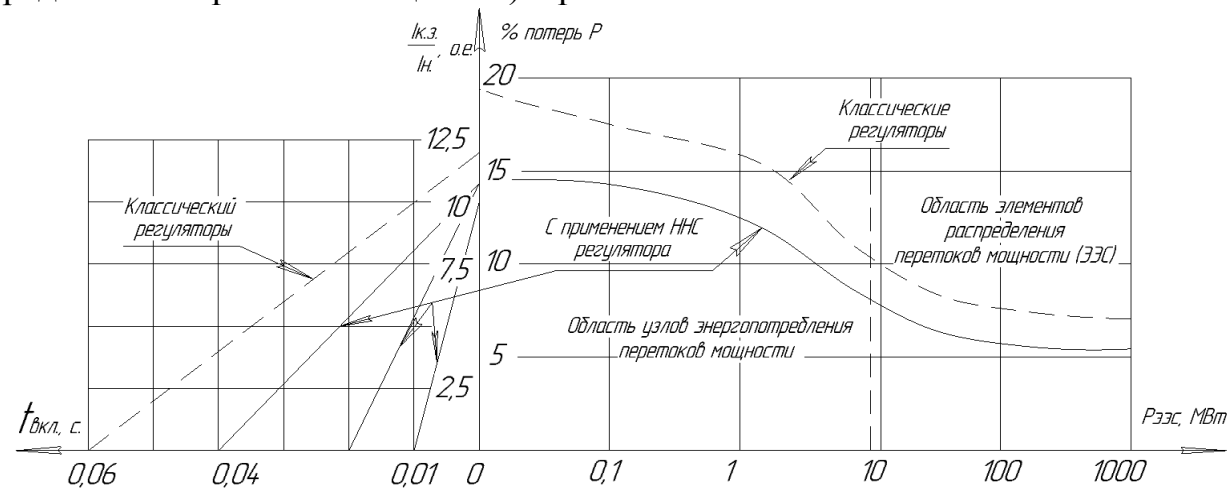


Рис. Сравнительная оценка эффективности применения ННР

Создание и внедрение средств интеллектуализации (в формате аппаратно-программной реализации) управления внутренними потребительскими ресурсами АЭС на основе нечётких сетей позволит добиться снижения величины потерь электроэнергии (мощности) на величину порядка 2,5 % в сравнении с существующими средствами оптимизации. При этом, возможно достижение высоких показателей надёжности (выражающихся в приемлемом времени реакции на возникновение нештатного режима в ЭЭС) относительно как существующих стандартов в данной области, так и аналогичных показателей классических регуляторов.

Литература

1. Бурковский В.Л. Реализация программного комплекса прогнозирования уровня регионального энергопотребления / В.Л. Бурковский, В.Н. Крысанов, А.Л. Руцков// Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2016. – Т.12. – № 3. – С. 41-47.

2. Крысанов В.Н. Применение нейро-нечётких сетей для распределённых объектов / В.Н. Крысанов, А.Л. Руцков // Электротехнические комплексы и системы управления. -2013.- №2.- С.18 - 22.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016662274 от 07.11.2016 «Программа прогнозирования выработки и потребления электрической энергии в региональной системе электроснабжения» / А.Л. Руцков, А.Д. Данилов, В.Н. Крысанов, В.М. Мугатина, Махмуд Омар Шукур Махмуд, В.Л. Бурковский.

УДК: 666.972.16

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ HIGH TECH – РЕЖИМОВ ТВЕРДЕНИЯ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

Е.М. Чернышов[1], О.В. Артамонова[2]
[1]Д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, chem@vgasu.vrn.ru
[2]Канд. хим. наук, доцент, ol_artam@rambler.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. Рассматриваются вопросы научного сопровождения высокотехнологичных управляемых режимов твердения цементных бетонов. На основе положений кинетики гетерогенных процессов гидратации цемента и структурообразования систем твердения в условиях варьирования средств арсенала «нано» предлагаются энергоэффективные решения технологии бетонов.

Ключевые слова: цементные бетоны, режимы твердения, энергоэффективное наномодифицирование.

Научно-обоснованное сопровождение энергоэффективных режимов твердения цементных бетонов опирается на результаты исследований: 1) эволюционного маршрута формирования структуры цементного камня при реализации нанотехнологических принципов «сверху – вниз» и «снизу – вверх» получения бетонов; 2) условий и арсенала средств наномодифицирования структуры цементного камня для управления критериями энергии активации гидратации цемента E_a, необходимой продолжительности твердения τ; 3) модели динамики синтеза прочности цементного камня R в гетерогенном кинетическом процессе его структурообразования в бетоне. При этом предложены high tech – режимы твердения, которые отвечают решению задач повышения энергоэффективности в заводском производстве строительных конструкций:

- задача 1 – снижение величины максимальной температуры тепловлажностной обработки твердеющего бетона. Решение задачи базируется на учете влияния на степень гидратации цемента $C_г$ кинетического и диффузионного контроля гетерогенного процесса, отражаемого величиной температурного коэффициента скорости гидратации $\alpha(T)$, и заключается в назначении оптимального температурного режима твердения, обеспечивающего максимально возможную (при прочих равных условиях) величину $\alpha(T)_{max}$;

- задача 2 – сокращение продолжительности достижения необходимой степени гидратации цемента при его твердении. Решение задачи базируется на учете зависимости эффективной энергии активации E_a и скорости гидратации $dC_г/d\tau$ применяемого цемента от вида и дозировок нанодобавок в соответствующих температурных условиях T получения бетона, и состоит в выборе вида и назначении дозировок нанодобавок по результатам постановки специальных экспериментальных исследований с определением $dC_г/d\tau$, $E_a(T)$;

- задача 3 – сокращение сроков твердения цементных бетонов до достижения регламентированных значений их прочности. Решение задачи базируется на учете зависимости динамики упрочнения бетона при твердении от влияния кинетических характеристик гидратации цемента $dC_г/d\tau$, $E_a(T)$, $\alpha(T)$ и опирается на выбор достаточных по длительности сроков твердения цемента τ при принятой температуре T в условиях введения в бетонную смесь нанодобавок;

- задача 4 – повышение удельной прочности бетона $R_{уд}$ на единицу измерения расхода цемента и/или на единицу измерения степени его гидратации $C_г$. Решение задачи базируется на учете зависимости прочности цементного камня от степени гидратации цемента $R(C_г)$, химико-минералогического состава, морфологии, дисперсности (размера) кристаллов новой фазы, от особенностей формирования из них кристаллических сростков и кластеризации структурных элементов новой фазы в условиях применения добавок наномодификаторов. Такая зависимость прочности от сформированной в эволюционном маршруте структуры рассматривается и объясняется в рамках положений физики и механики сопротивления композитов разрушению, раскрывающих, с одной стороны, термофлуктуационный процесс разрыва элементарных кристаллохимических связей, а с другой, процесс аккумуляции и диссипации энергии внешнего воздействия, локализации, концентрации напряжений и хрупкого разрушения по масштабным уровням макро-, мезо-, микро- и наноструктуры цементного камня и бетона. Технологическое решение задачи состоит в выборе вида и дозировки наномодифицирующих добавок, в назначении длительности процесса твердения τ с учетом обоснованной минимальной температуры твердения T_{min};

- задача 5 – повышение энергоэффективности процесса твердения бетонов при получении железобетонных изделий. Решение задачи базируется на комплексном системном интегрированном использовании эффектов, получаемых при рассмотрении задач 1 – 4, состоящих в возможности снижения величины максимальной температуры тепло-влажностной обработки твердеющего бетона, сокращения продолжительности достижения необходимой степени гидратации цемента при твердении бетона, сокращения сроков твердения цементных бетонов до достижения регламентированных значений их прочности, повышения прочности бетонов на единицу измерения степени гидратации цемента или единицу расхода цемента на $м^3$ бетона.

Литература

1. Мелихов И.В. Физико-химическая эволюция твердого вещества. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 309 с.

2. Чернышов Е.М. Наномодифицирование систем твердения в структуре строительных композитов: монография / Е.М. Чернышов, О.В. Артамонова, Г.С. Славчева. – Воронеж: Научная книга, 2016. – 132 с.

3. Чернышов Е.М. Прикладные нанотехнологические задачи повышения эффективности процессов твердения цементных бетонов / Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 25 – 41.

УДК: 621.38

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА НА ПАВ ДЛЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ: НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ И ДОСТИЖЕНИЯ

А.С. Багдасарян[1], Ю.В. Гуляев[2], И.А. Каляев[3], С.А. Багдасарян[4], В.В. Коробкин[5]
[1]Академик НАН РА, д-р техн. наук, профессор, ФГУП НИИР, bas@niir.ru
[2]Академик РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, ИРЭ РАН, gulyaev@cplire.ru
[3]Академик РАН, д-р техн. наук, профессор, НИИ «МВУС», kaliaev@mvs.sfedu.ru
[4]Канд. техн. наук, НПП «ТРИиС», 2347930@gmail.com
[5]Канд. техн. наук, НИИ «МВУС», vvk@niimvs.ru

Аннотация. В данной работе представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований, дополняющие и расширяющие возможности непрерывного мониторинга тепловых перемещений главного циркуляционного трубопровода атомных электростанций с использованием, не имеющей аналогов для рассматриваемого объекта технологии поверхностных акустических волн.

Ключевые слова: непрерывный мониторинг тепловых перемещений главного циркуляционного трубопровода атомных электростанций (НМТП ГЦТ АЭС), беспроводные датчики на поверхностных акустических волнах (ПАВ).

Одной из важных задач современной атомной энергетики является задача обеспечения безопасности эксплуатации главного циркуляционного тракта (ГЦТ) АЭС [1]. ГЦТ является важным элементом атомных и тепловых станций, и именно для него характерно образование и ускоренное развитие эксплуатационных повреждений. При работе ГЦТ температура пара в нем варьируется в широких пределах, что приводит к увеличению или уменьшению линейных размеров всей трассы. Эти изменения вызывают в элементах ГЦТ напряжения, возникающие в результате самокомпенсации температурных расширений. Чтобы повысить надежность работы ГЦТ необходим мониторинг изменения тепловых перемещений элементов ГЦТ в режиме реального времени. Кроме того, в соответствии с регламентом эксплуатации и профилактических работ атомных станций (АЭС) необходимо постоянно устанавливать соответствие фактических напряжений ГЦТ проектным. Существующие на сегодняшний день методы зачастую трудоемки и требуют дорогостоящего оборудования.

Получение радикально новых возможностей перспективных технологий предполагает решение целого ряда фундаментальных и прикладных задач по поиску новых физических принципов генерации, передачи, приёма и обработки информации. Основными приложениями функциональной электроники, которые в настоящее время исследуются и адаптируются к потребностям перспективных телекоммуникаций является мониторинг физических параметров (рис.1). Для достижения поставленной цели нами были решены следующие задачи: проведены исследования и разработаны математические модели объекта контроля на элементе ГЦТ; исследованы модели пассивных беспроводных датчиков на ПАВ для высокоточного дистанционного измерения параметров АЭС (тепловых перемещений ГЦТ, температуры, вибраций и др.),

разработана конструкция датчика линейного перемещения с большим динамическим диапазоном измерений. Система мониторинга работает по принципу радиолокатора с пассивной целью. Датчик работает в разрешённых для устройств малого радиуса действии SRD диапазонах в режиме линии задержки

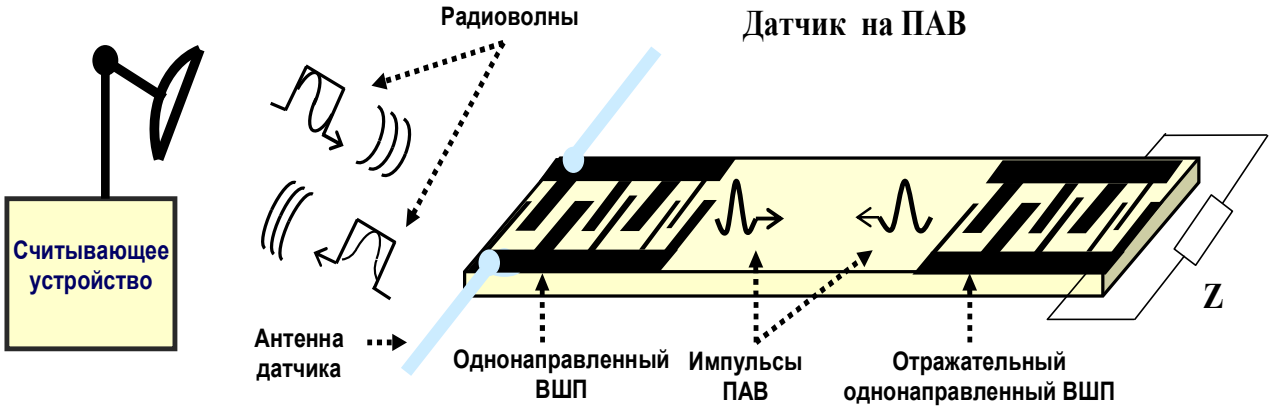


Рис. Система мониторинга физических параметров Базовая конструкция интеллектуального датчика на ПАВ.

Отличительными особенностями датчиков на ПАВ являются невосприимчивость к электромагнитным помехам, отсутствие возможности клонирования, широкий температурный режим работы, невозможность обнаружения иными средствами, помимо средств, входящих в состав системы мониторинга с одновременной радиочастотной идентификацией. Дальность считывания пассивных датчиков на ПАВ может достигать десятков метров.

Представленные в настоящей работе последние достижения по созданию интеллектуальных устройств на ПАВ с новыми возможностями: балансных устройств с самосогласованием и преобразованием импедансов, ПАВ-микросборок и модулей, платформ с интеграцией ПАВ -, WLP-, LTCC-технологий могут быть с успехом использованы, как для НМТП ГЦТ АЭС, так и для мониторинга критически важных объектов [2], в т.ч. для управлении лечебно-диагностическим процессом у больных артериальной гипертензией [3]. Для каждого из этих направлений рассмотрены современные характеристики [4].

Эти исследования составляют базу для создания новых теорий и физических моделей, а также для разработки новых классов и поколений устройств с уникальными характеристиками, определяющими мировой уровень развития технологии ПАВ.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (гранты № 18-07-00282 А; №18-29-02076 мк) и Фонда Бортника (грант №354ГР/27002 26.07.2017).

Литература

1. Методические указания по контролю за тепловыми перемещениями паропроводов тепловых электростанций / см. http://meganorm.ru/Index2/1/4294844/4294844599.htm Дата обращения: 01.01.2018

2. А.С. Багдасарян, Мкртчян А.Р., С.А. Багдасарян, Коробкин В.В. / Труды V Международной конференции “Рассеяние электронов, позитронов, нейтронов и рентгеновских лучей под внешними воздействиями” Ереван 2017. ISBN 978–9939–1–0685–4 с..85-96

3. Багдасарян А.С., Багдасарян С.А. Информационные технологии с использованием радиомониторинга в общей врачебной практике / Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2018. Т. 18. № 1. С.

4. 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.

УДК: 537.9

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ НА МИКРО- И НАНОМАСШТАБАХ

Ю.А. Кузма-Кичта[1], А.В. Лавриков[2]
[1]Д-р техн. наук, профессор, kuzma@itf.mpei.ac.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, lavrikovav@yandex.ru
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Аннотация. Представлены кривые кипения для микроканалов с технически гладкой поверхностью и покрытием из наночастиц Al2O3. Кризис теплоотдачи в канале с покрытием отмечен при тепловой нагрузке, которая превышает критическую тепловую нагрузку в канале без покрытия до 50%. Также обнаружено увеличение тепловой нагрузки в переходном режиме кипения в микроканале с покрытием из наночастиц.

Ключевые слова: теплообмен, кипение, микроканал, покрытие из наночастиц

Для интенсификации теплообмена при кипении используются покрытия из нано- и микрочастиц [1]. При кипении водного раствора сульфата натрия в большом объеме на горизонтальной трубке вследствие осаждения кристаллов сульфата натрия на поверхности нагрева под паровыми пузырями образуются дополнительные центры парообразования и коэффициент теплоотдачи повышается до 3 раз [2]. Для получения поверхности с покрытием из наночастиц разработан способ [3], основанный на том, что при кипении наножидкости наночастицы осаждаются в окрестности тройной линии на поверхности и скрепляются с нею при определенных условиях. Получающаяся при этом структура подобна микропористому покрытию [4]. Как показано в [5], при кипении наножидкости на трубке с шероховатой поверхностью теплоотдача уменьшается и при кипении на полированной трубке - возрастает. В случае кипения наножидкости на шероховатой трубке плотность активных центров парообразования уменьшается по сравнению с кипением воды.

Измерения показали, что краевой угол для поверхности с покрытием из наночастиц меньше, чем для поверхности без покрытия критический тепловой поток при кипении увеличивается[6]. Для сферы с МДО покрытием установлены рост теплоотдачи при пленочном кипении [7]. Микро- и наноструктуры на поверхности оказывают влияние на температуру Лейденфроста и это надо знать для верификации существующих кодов, а также формирования модели динамической кривой кипения [8]. В работе проведено экспериментальное исследование теплообмена и гидродинамики при кипении воды одиночном микроканале с технически гладкой поверхностью и поверхностью с покрытием из наночастиц Al_2O_3[9]. Кипение исследовано в одиночном микроканале высотой 0.2 мм, шириной 3 мм и длиной 13.7 мм. Верхняя стенка канала сделана из стекла, что позволяет проводить видеосъемку. Методика исследования теплоотдачи в микроканале основана на измерении распределения температуры в медном блоке, представляющем собой тепловой клин, при помощи тепловизора. Скоростная видеосъемка кипения в микроканале позволила определить истинное объемное паросодержание. На

рис. представлены кривые кипения для микроканалов с технически гладкой поверхностью и покрытием из наночастиц Al_2O_3. Кризис теплоотдачи в канале с покрытием отмечен при тепловой нагрузке, которая превышает критическую тепловую нагрузку в канале без покрытия до 50%. Также обнаружено увеличение тепловой нагрузки в переходном режиме кипения в микроканале с покрытием из наночастиц.

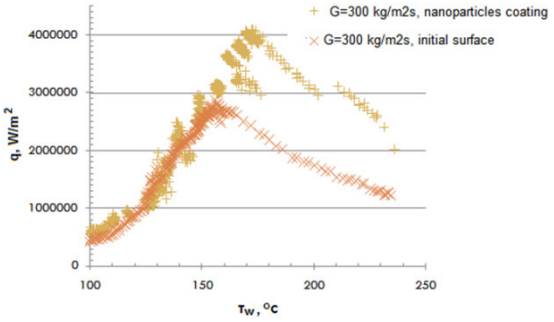


Рис. Кривые кипения для микроканала с покрытием из наночастиц и технически гладкой поверхностью при массовой скорости 300 кг/м^2 с

Литература

1. Б.В. Дзюбенко, Ю.А. Кузма-Кичта, А.И. Леонтьев, И.И. Федик, Л.П. Холпанов / Интенсификация тепломассообмена на макро-, микро- и наномасштабах. ЦНИИАТОМИНФОРМ, -2008. с.532.

2. А.С.Седлов, Ю.А.Кузма-Кичта// Гидродинамика и теплообмен при кипении водных растворов. Издательский дом МЭИ, 2007. 164 с.

3.Ю.А. Кузма-Кичта, А.В. Лавриков, Н.Я. Паршин, В.Н. Турчин, Д.Н. Игнатьев, Ю.П. Штефанов. Патент на изобретение № 2433949 “Способ формирования нанорельефа на теплообменных поверхностях изделий”. 20.11.11.

4. Исследование интенсификации теплообмена при кипении воды на поверхности с микро- и нанорельефом. Кузма-Кичта Ю.А., Лавриков А.В., Шустов М.В., Чурсин П.С., Чистякова А.В., Звонарев Ю.А., Жуков В.М., Васильева Л.Т. Теплоэнергетика. 2014. № 3. С. 35

5. Vladimir Zhukov, Yuri Kuzma-Kichta, Victor Lenkov, Aleksandr Lavrikov, Mikhail Shustov. Enhancement of heat transfer at transition and film boiling of nitrogen on spheres with dimples and low conductivity coating. Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, IHTC-15. August 10-15, 2014, Kyoto, Japan.

6. Шустов М.В., Кузма-Кичта Ю.А., Лавриков А.В. Покрытие наночастицами поверхности микроканала - эффективный метод повышения критического теплового потока. Теплоэнергетика.2017.№4.301-306.

7. Yu.Kuzma-Kichta, A.Leontyev, A.Lavrikov, M.Shustov, K.Suzuki. Boiling investigation in the microchannel with nano-particles coating. Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference IHTC-15. August 10-15, Kyoto, Japan.

8. С.В.Алексеенко, Э.П.Волчков, Б.В.Дзюбенко, Ю.Г.Драгунов, С.А.Исаев, А.А.Коротеев, Ю.А.Кузма-Кичта, А.И.Леонтьев, И.А.Попов, В.И.Терехов. Вихревые технологии для энергетики. М.Издательский дом МЭИ, 2017, 350 с.

УДК: 537.9

ИНФРАКРАСНЫЕ ВОЛОКОННЫЕ СБОРКИ НА ОСНОВЕ ГАЛОГЕНИДСЕРЕБРЯНЫХ КРИСТАЛЛОВ ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Е.А. Корсакова[1], Н.А. Муфтахитдинова[2], В.С. Корсаков[3], И.А. Кашуба[4], А.С. Корсаков[5], Л.В. Жукова[6]
[1]Аспирант, мл. науч. сотр., e.a.korsakova@urfu.ru
[2]Магистрант, kamalovan@mail.ru
[3]Канд. техн. наук, мл. науч. сотр., viktor.korsakov@urfu.ru
[4]Аспирант, belij-svet-ural@mail.ru
[5]Д-р техн. наук, доцент, a.s.korsakov@urfu.ru
[6]Д-р техн. наук, профессор, l.v.zhukova@urfu.ru
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Аннотация. В данной работе представленырегулярные волоконные сборки для среднего инфракрасного диапазона (2,5 – 20 мкм), предназначенные для применения в ИК термографии. Обсуждена применимость данных сборок для дистанционного контроля и управления различнымипроцессами в области энергетики в широком диапазоне температур (-130 – 900°C).

Ключевые слова: регулярные ИК волоконные сборки, ИК термография, автоматизированные системы контроля.

ИК-термография широко применяется в энергетике, поскольку для многих теплоэнергетических процессов необходим учет температурного распределения. В большинстве случаев, термограммы регистрируются тепловизионными камерами напрямую, при этом налагается ряд ограничений на использование метода. ИК волоконные сборки могут значительно расширить сферу применения ИК-термографических систем. Они могут быть использованы в качестве многоточечных зондовв системах онлайн управления,мониторинга и исследования различных агрегатов и узлов энергетического комплекса, причем, как на месте нахождения объекта, так и удаленно.

Регулярные ИК волоконные сборки на базе галогенидсеребряных кристаллов обладают оптимальными функциональными свойствами: гибкие, тонкие, длинные, негигроскопичные, высоко прозрачные в диапазоне длин волн от 2,5 до 20 мкм без окон поглощения, имеют большой интервал рабочих температур и способны передавать тепловые изображения с хорошим температурным и пространственным разрешением. Они позволяют получать данныео температурах в интервале -130 – 900 ^{o}C в ограниченных пространствах и в местах, где нет прямой видимости между объектом и тепловизионной камерой. Ранее нами были предложеныгалогенидсеребряные ИК волоконныесборки для энергетики [1]. В настоящей работе представлены сборки с улучшенными параметрами.

Предварительно, в программном пакете COMSOLMultiphysicsбыла проведена симуляция регулярной ИК волоконной сборки из 7x7 единичных

волокон с сетчатой укладкой. Варьируя диаметры единичных волокон и расстояния между ними, а также состав волокон и матрицы (а, следовательно, и показатели преломления), мы выбрали оптимальные параметры сборки для работы в интервале длин волн 8-14 мкм.

Затем была подготовлена шихта методом термозонной кристаллизации-синтеза, выращены монокристаллы галогенидов серебра методом Бриджмена-Стокбаргера, получены мультиэлементные заготовки и проведена высокотемпературная экструзия поликристаллической сборки[2]. Диаметр единичного волокна составил около 30 мкм, расстояние между границами соседних единичных волокон – около 60 мкм, а наружный диаметр –1,12 мм. Фото поперечного сечения изготовленной волоконной сборки,полученное с помощью микровизора LOMO vizo-MET-221, представлено на рисунке.

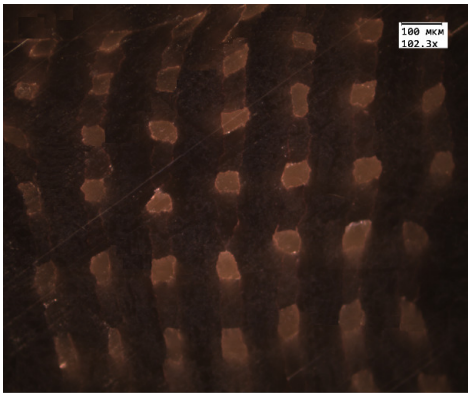


Рис. Фото поперечного сечения ИК волоконной сборки7х7 световодов на основе галогенидсеребряных кристаллов

Такиеволоконные сборки позволяют с пространственным разрешением меньше 100 мкм проводить исследование температурного поля даже в узких зазорах между рабочими частями агрегатов, благодаря малому диаметру, большой длине и гибкости. Например, они могут быть полезны для проведения неразрушающего контроля состояния деталей газотурбинного оборудования во время его работы, что является крайне актуальной задачи, поскольку выход из строя даже одной рабочей лопатки может привести к поломке всей турбины.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-73-10063).

Литература

1. IR thermographic system supplied with an ordered fibre bundle for investigation of power engineering equipment and units / E.A.Korsakova,A.S. Korsakov, V.S. Korsakov, L.V. Zhukova // ASRTU Conference Alternative Energy: Materials, Technologies, and Devices. – 2018. – Vol. 2018. –P. 223-230.

2. $AgCl_xBr_{1-x}$ and $AgCl_xBr_yI_{1-x-y}$ crystals for IR engineering and optical fiber cables / L.V. Zhukova, N.V. Primerov, A.S. Korsakov, A.I. Chazov // Inorganic Materials – 2008. – Vol. 44. – P. 1372-1377.

УДК: 537.9, 62-791.2

ИНФРАКРАСНЫЙ ДАТЧИК С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМ ЗОНДОМ НА ОСНОВЕ КВАРЦЕВЫХ И ГАЛОГЕНИДСЕРЕБРЯНЫХ СВЕТОВОДОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАГИ В ТРАНСФОРМАТОРНОМ МАСЛЕ

А.А. Лашова[1], В.С. Корсаков[2], Е.А. Корсакова[3]А.С. Корсаков[4], Л.В. Жукова[5]
[1]Аспирант, a.a.lashova@urfu.ru
[2]Канд. техн. наук, мл. науч. сотр., viktor.korsakov@urfu.ru
[3] Аспирант, e.a.korsakova@urfu.ru
[4]Д-р техн. наук, доцент, a.s.korsakov@urfu.ru
[5]Д-р техн. наук, профессор, l.v.zhukova@urfu.ru
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Аннотация. В работе представлен волоконно-оптический датчик, определяющий концентрацию влаги с помощью метода инфракрасной спектроскопии в диапазоне длин волн от 1,2 до 6,5 мкм с применением нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО).

Ключевые слова: ИК-спектроскопия, волоконная оптика, инфракрасный световод, галогенид серебра, контроль влаги в масле.

В силовых трансформаторах высокой мощности в качестве изоляционного материала используются масла на основе углеводородов, в которых в процессе эксплуатации накапливаются растворенные газы, влага и продукты окисления, вызывающие старение изоляции и увеличивающие риски аварийности. Одним из наиболее важных параметров для эффективной и длительной работы трансформатора является содержание влаги в масле, так как при повышении концентрации воды в изоляции происходит снижение электрической прочности масла и сокращение срока службы. Известно, что при достижении концентрации влаги в масле 5% от общего объема изоляции, возникает высокий риск ее эмульгирования, что приводит к высокой вероятности выхода из строя самого трансформатора.

Для измерения количества влаги в трансформаторном масле применяются устройства непрерывного и периодического контроля. Наиболее эффективными для раннего выявления дефектов и признаков старения масла являются непрерывные датчики влаги, принципы действия которых основаны на электрических и спектральных методах [1].

Для определения количественного содержания влаги в трансформаторном масле авторами спроектировандатчик с погружнымзондом, принцип работы которого основан на методе инфракрасной спектроскопии в диапазоне от 1,2 до 6,5 мкм. Указанный диапазон спектра обоснован поглощением воды на следующих длинах волн:1,45 мкм; 1,95 мкм; 2,94мкм; 6,02 мкм, которое связано с валентными О-Н и деформационными Н-О-Н колебаниями [2]. Основными характеристическими полосами поглощения трансформаторного масла являются 2920 см$^{-1}$ и 2860 см$^{-1}$ (3,42 и 3,49 мкм, соответственно), которые определяются валентными колебаниями СН

групп (а именно CH_2 и CH_3). В ближней области ИК-спектра присутствует также относящаяся к ним полоса поглощения λ -1,725 мкм; [3].

Датчик состоит из широкополосного источника ИК-излучения, волоконного зонда и приемников оптического сигнала. Метод работы волоконного зонда основан на принципах нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) с чувствительным элементом из селенида цинка (λ = 0,2-18 мкм) типа «конус», показанном на рис. В волоконной сборке использованы оптические световоды на основе диэлектрических материалов – кварцевых волокон (для λ = 1,2-2,5 мкм) и модифицированных галогенид серебряных световодов на основе системы AgCl-AgBr (для λ = 2,5-20,0 мкм) [4-6]. Волоконный-зонд позволяет вынести блоки источников и приемников оптического сигнала за пределы сильных ЭМ-помех, а погружной элемент не вступает в реакцию с трансформаторным маслом.

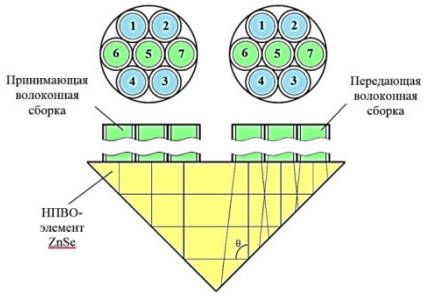


Рис. Модель распространения излучения из передающей сборки в принимающую сборку через НПВО-призму типа «конус». Каналы 1, 2, 3, 4 – волокна на основе кварцевого стекла; 5, 6, 7 – волокна на основе твердого раствора AgCl-AgBr

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-73-10063).

Литература

1. Юхневич Г.В. Инфракрасная спектроскопия воды / Г. В. Юхневич– Москва : Наука. –1973.–207с.

2. Lynch. P. F. Identifying Source of Petroleum by Infrared Spectroscopy / P.F. Lynch. Ch. W. Brown. // Environ Sci. Technol.– 1973. – Vol. 7, Iss. 13. – P. 1123-1127.

3. Zhukova L. Fiber probe for the spectral range of 2-45 μm for IR-Fourier spectrometer / L. Zhukova, D. Vrublevsky, A. Chazov, V. Korsakov, V. Kortov // Imaging and Applied Optics Congress, OSA Technical Digest (online), Fourier Transform Spectroscopy (FTS). – 2013. – paper: FTu3D.5..

4. Korsakov A. S. Investigating the properties of infrared PCFs based on AgCl-AgBr, AgBr-TlI, AgCl-AgBr-AgI(TlI) crystals theoretically and experimentally / A.S. Korsakov, L.V. Zhukova, D.S. Vrublevsky, E.A. Korsakova // Optics and Spectroscopy. – 2014. – Vol. 117. – P. 960-963.

5. Korsakov A. S. Research of phase equilibriums and modelling of structure of AgBr-TlBr0.46I0.54 system / A.S. Korsakov, L.V. Zhukova, V.S. Korsakov, D.S. Vrublevsky, D.D. Salimgareev// Tsvetnye Metally. – 2014. – № 8. – P. 50-54.

УДК: 621.3

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ПО ВЫБОРКАМ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПЕРВИЧНЫХ ВЕЛИЧИН

А.А. Яблоков[1], А.С. Тимофеев[2], Г.А. Филатова[3]
[1]Канд. техн. наук, доцент, andrewyablokov@yandex.ru
[2]Магистрант
[3]Канд. техн. наук, доцент, fgala90@mail.ru
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»

Аннотация. Разработан способ дистанционного определения места повреждения с использованием данных (мгновенных значений первичных величин), полученных от инновационных датчиков тока и напряжения, входящих в состав цифрового измерительного трансформатора. Приведены результаты исследований работы алгоритма в условиях влияния искажающих замер факторов.

Ключевые слова: цифровые измерительные трансформаторы, определение места повреждения, пояс Роговского.

Дистанционное определение места повреждения (ДОМП) на воздушных линиях (ВЛ) напряжением 110 кВ и выше с помощью фиксирующих приборов (индикаторов), регистраторов аварийных событий, микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики стало неотъемлемой частью технического обслуживания электрических сетей.

Разработан способ ДОМП по параметрам аварийного режима для одностороннего замера. Данный способ обладает следующими преимуществами: отсутствие специальной генерирующей аппаратуры (в отличие, например, от локационных методов, отсутствие необходимости в синхронизации измерений, а также простота реализации. Вместе с тем методы ДОМП, основанные на измерении ПАР, имеют большие (до 10–20%) погрешности, обусловленные, в первую очередь, погрешностями измерительных органов – датчиков тока и напряжения [1].

Использование данных с цифровых трансформаторов тока и напряжения потенциально может увеличить точность ДОМП, однако применение данных преобразователей для решения задачи ДОМП требует дополнительных исследований.

Использование цифровых преобразователей тока и напряжения в качестве первичных преобразователей для подключения устройств ДОМП позволяет существенно повысить точность расчета расстояния до места повреждения за счет их преимуществ [1]. Наличие нескольких датчиков тока (включая пояса Роговского) позволяет определить значения постоянного, переменного токов и физически определить производную входного тока.

Разработанный алгоритм ДОМП, использующий данные от ЦТТ и ТН, предполагает следующие основные операции: вычисление модулей и аргументов векторов фазных токов и напряжений, вычисление симметричных составляющих первичных величин, определение поврежденной фазы или фаз, а

также вида КЗ, определение начала и окончания переходного процесса в аварийном режиме (при коротком замыкании), расчет индуктивности до места повреждения, определение расстояния до места повреждения.

Исследование и доработка алгоритма, а также соответствующих компьютерных моделей, включая модели обработки данных, происходило в 2 этапа. На первом этапе расчетные выражения проверялись в Simulink, где были реализованы как модели электрических сетей, там и сам алгоритм. Были исследованы различные варианты выполнения алгоритма (с использованием различных датчиков, например, пояса Роговского или традиционных электромагнитных трансформаторов тока с последующей оцифровкой), а также работа алгоритма при наличие искажающих замер факторов, например, переходного сопротивления в месте КЗ [2].

На втором этапе доработка компьютерных моделей представляла из себя учет влияния АЦП и частотных фильтров, а также учет погрешностей разработанных первичных преобразователей за счет использования гибридной (полевой и цепной) модели пояса Роговского в том числе. При этом расчет на компьютерных моделях показал практическое отсутствие влияния разработанных датчиков тока на точность замера.

С учетом проведенных исследований и доработки программной реализации алгоритма был получен код на языке программирования Matlab. Данный код содержит перечисленные выше операции и обеспечивает работу алгоритма ОМП с погрешностью менее 5%.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-10455) в ФГБОУ ВО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина".

Литература

1.V.D. Lebedev and A.A. Yablokov, “Studies in electromagnetic compatibility of optical and digital current and voltage transformers,” IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 177, p. 012099, 2017.

2.Yablokov A., Filatova G., Timofeev A. Using of non-traditional current and voltage sensors for the fault location // Proc. of MATEC Web Conf. – Volume 141. – 2017. – Pp. 1–5.

УДК 537.32

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ СИСТЕМ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРНОГО МОДУЛЯ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ БАТАРЕЙ КОЛЬЦЕВОЙ ГЕОМЕТРИИ

И.Г. Дроздов[1], Д.П. Шматов[2], А.А. Афанасьев[3], Т.С. Тимошинова[4], А.Г. Чуйко[5]
[1]Д-р тех. наук, профессор, rd-vgtu@mail.ru
[2]Канд. тех. наук, доцент, rd-vgtu@mail.ru
[3]Канд. физ.-мат. наук, доцент, rd-vgtu@mail.ru
[4]Мл. науч. сотр., rd-vgtu@mail.ru
[5]Заместитель главного инженера, rd-vgtu@mail.ru
[1,2,3,4]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Россия, г. Воронеж
[5]АО «РИФ», Россия, г. Воронеж

Аннотация: В данной работе определены ключевые требования к проектированию теплопередающих систем термоэлектрических генераторных модулей с полупроводниковыми батареями кольцевой геометрии. Установлено, что максимальное значение предельного теплового потока теплопередающей системы определяется двумя факторами: кризисными явлениями и предельным объемным паросодержанием.

Ключевые слова: система нагрева, термосифон, термоэлектрический генераторный модуль, источник тока, полупроводниковые батареи, теплопередающие системы

Термоэлектрический генераторный модуль (ТЭГМ) является основным элементом конструкции автономного термоэлектрического источника тока (АИТТ). ТЭГМ предназначен для обеспечения прямого преобразования тепловой энергии в электрическую при сжигании природного газа[1].

К теплопередающим системам ТЭГМ предъявляется ряд ключевых требований, включающих:

–обеспечение равномерного температурного поля на границе контакта с полупроводниковымитермоэлектрическими батареями (ТБ) кольцевой геометрии;

–обеспечение легкого запускаТЭГМ;

– обеспечение стационарного режима работы в диапазоне регулирования ТЭГМ;

– обеспечение работоспособности и надежности в течение длительного времени.

Концептуально наиболее рациональной теплопередающей системой, удовлетворяющей указанным требованиям является гравитационная тепловая труба – термосифон.

Принцип работы такой системы в составеТЭГМ схематично представлен на рисункена примере системы нагрева (СН).На основе теоретических и экспериментальных исследований [2] устойчивости противоточного течения жидкости и пара можно выделить пять типов кризисных явлений теплопередающих систем данной схемы:потеря устойчивости противоточного движения пленки жидкости и потока газа;потеря устойчивости двухфазного потока при заданной толщине пленки жидкости;«повисание» крупных частиц

жидкости в газовом потоке;выброс жидкости из ядра потока;полное прекращение нисходящего течения пленки жидкости (инверсия течения).

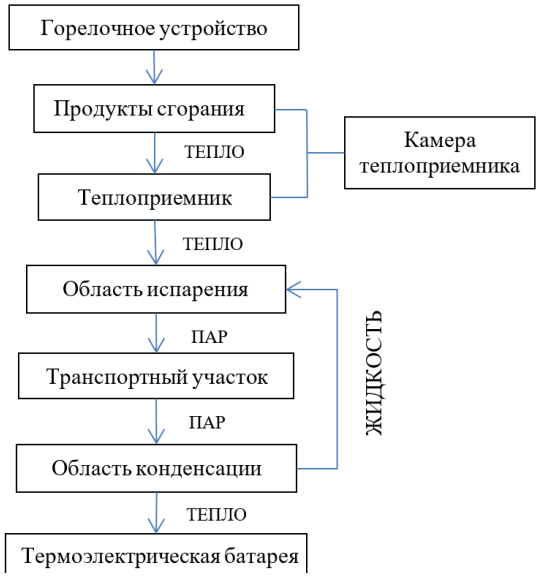


Рис. Блок–схема элементов теплопередающей системы нагрева ТЭГМ

Кроме кризисных явлений другим фактором,определяющим работоспособность, является предельный тепловой поток, передаваемый термосифоном [3].

В ходе проведения исследований при разработке АИТТ была разработана методика расчета и проектирования высокоэффективных ТЭГМ.Анализ оптимизационных расчетов показал, что максимальный КПД ТБкольцевой геометрии достигается при определенных конструктивных размерах, которые накладывают ограничение на максимальный диаметр термосифона СН. Тогда с учетом работы [3] может быть определено максимальное значение предельного теплового потока, которое в сочетании с результатами анализа кризисных явлений определяет верхний предел теплопередающей способности СН ТЭГМ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках постановления Правительства Российской Федерации от9 апреля 2010 г. № 218 (Договор№ 03.G25.31.0246).

Литература

1. Шматов Д.П. Определение оптимизационных подходов при проектировании горелочного устройства автономного источника тока на основе термоэлектрического генераторного модуля кольцевой геометрии / Д.П. Шматов, И.Э. Свиридов, Т.С. Тимошинова // Вестник ВГТУ. 2017. – Т. 13. – № 6. – С. 52–57.

2. Безродный М.К. Процессы переноса в двухфазных термосифонах. Теория и практика / М.К. Безродный, И.Л. Пиоро, Т.О. Костюк. – Киев: Факт, 2005. – 704 с.

3. Shiraishi M. Influence of evaporator geometry on performance limits in two-phase closed thermosyphons / M. Shiraishi // Prep. 6lh Int. Heat Pipe Conf. (Grenoble, 1987). – P. 609-613.

УДК: 628.385; 662.767.2

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ АНАЭРОБНОЙ КОФЕРМЕНТАЦИИ AMARANTHUSRETROFLEXUS И ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

Ю.В.Караева[1], С.С. Тимофеева[2]
[1]Канд. техн. наук, ст. науч. сотр., julieenergy@list.ru
[2]Канд. техн. наук, мл. науч. сотр., zvezdochka198512@mail.ru
Институт энергетики и перспективных технологий – структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук»

Аннотация. В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований по получению биогаза при совместном анаэробном сбраживании щирицы запрокинутой и отходов животноводства.

Ключевые слова: биогаз, коферментация, растительная добавка.

Одним из современных направлений увеличения выхода биогаза при анаэробном сбраживании является коферментация, т.е. совместная переработка органических отходов различного происхождения[1]. В настоящее время известно много растительных добавок, тем не менее, до сих пор мало изученным остается использование растений семейства амарантовых.

В данной работе была исследована кинетика анаэробной коферментации *AmaranthusRetroflexus* и отходов животноводства.

Состав субстратов:75 г коровьего навозаи14,3 г щирицы доводились дистиллированной водой до 400 мл. Содержание сухого вещества в навозе 17,03%, а в щирице 89,55%. В эксперименте использовалась сухая порошкообразнаяфитомасса листьев щирицы урожая 2018 года.Опыт №1 без предварительной обработки, опыт №2 с предварительной ультразвуковой обработкой.

Предварительной ультразвуковой обработке подвергали в соотношении 1:4 по массе с использованием аппарата УЗТА-0,2/22-ОМ мощностью 200Вт при частоте колебаний 22 кГц. Предварительная обработка ультразвуком проводилась при интенсивности воздействия 10 Вт/см^2 в течение 6 минут.

Обработка ультразвуком сделала смесь субстратов гомогенной, при этом частицы стали меньше, а поверхность для контакта с биологическими объектами больше, в частности значительное количество целлюлозы, содержащейся в отходах и, особенно, в растительных добавках, стала доступной для микроорганизмов, участвующих в метановом сбраживании.

Экспериментальные исследования кинетики осуществлялись в лабораторныхметантенках. Процесс метанового сбраживания осуществлялся в мезофильном режиме при температуре 37°С.

На рис. 1 представлено суммарное образование биогаза в эксперименте. Кумулятивный выход газа в опытах №1 и №2 совпадает. Таким образом, ультразвуковая обработка не повлияла на общий выход биогаза.

Следует отметить, что скорость выхода биогаза в опыте №1 составила 150 мл/сут., а в опыте №2 120 мл/сут.

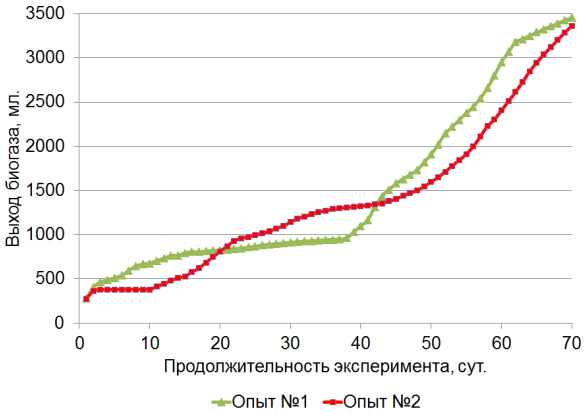


Рис.1. Кумулятивный выход биогаза

Состав биогаза анализировали методом газожидкостной хроматографии (рис. 2).

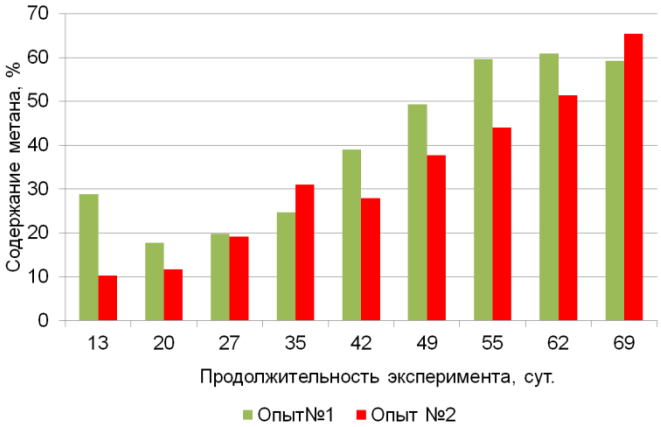


Рис.2. Содержание метана в биогазе

Максимальное содержание метана в биогазе наблюдается в опыте №2 65,41%.

В настоящей работе представлены результаты экспериментов с фитомассой ближайшего дикорастущего родственника амаранта – щирицы запрокинутой AmaranthusRetroflexus. Следует подчеркнуть, что щирица – сорняк - космополит, ее фитомасса не имеет стоимости, а ее утилизация является злободневной проблемой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта№18-48-160029.

Литература

1. Hagos K.Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives / K.Hagos, J.Zong, D.Li, C.Liu, X.Lu // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 2017. - V.76. - P. 1485-1496.

УДК: 53.06

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МГД-ТЕПЛООБМЕНА ЖИДКОГО МЕТАЛЛА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОЕКТАМ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Д.Ю.Черныш[1], И.А. Беляев[2], Н.А. Лучинкин[2]
[1]Магистр, ChernyshDY@gmail.com
[2]Канд. техн. наук, зав. лаб. 2.1.2.1., bia@ihed.ras.ru
[2]Лаборант, luchinkinna@yandex.ru
[1]ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт»
[2]ФГБУН «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук».

Аннотация: в данной работе представлены результаты экспериментального исследования особенностей теплообмена при турбулентном течении жидкого металла в круглой трубе с однородным обогревом в присутствии сильного магнитного поля при различных углах наклона канала. Подобные конфигурации теплообменного канала актуальны для перспективных проектов трактов охлаждения бланкета и дивертора термоядерных реакторов типа токамак. Результаты экспериментов показывают, что вследствие эффекта Гартмана температурные профили при воздействии магнитного поля теряют осевую симметрию, локальные числа температуры стенки становятся неоднородными по периметру сечения трубы.

Ключевые слова: жидкий металл, МГД, теплообмен, зондовые измерения.

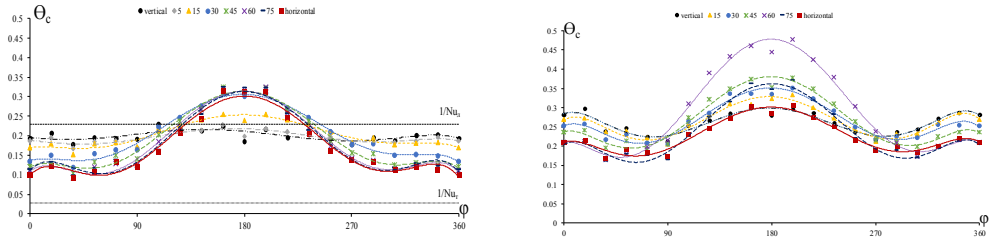
Использование жидкометаллических теплоносителей в системах ядерных и перспективных термоядерных установок является актуальным направлением в современной энергетической отрасли. В проекте международного экспериментального термоядерного реактора ITER предусмотрены тестовые бланкетные модули с жидкометаллическим охлаждением. Применение ЖМ в термоядерных установках, где теплообменные каналы находятся в области сильных магнитных полей, сопряжено со значительными трудностями, связанными с обеспечением прокачки теплоносителя при больших сопротивлениях течению. Актуальной инженерной задачей является грамотное расположение каналов теплообменных систем, которое позволит минимизировать негативное воздействие магнитного поля.

При стабилизированном течении без МП и отсутствии влияния термогравитационной конвекции (ТГК) в турбулентной области теплообмен описывается зависимостью Лайона [1]. ТГК проявляется в горизонтальной трубе в виде двух продольных вихрей, которые нарушают осевую симметрию поля температуры и приводят к образованию зон «ухудшенного» и «улучшенного» теплообмена. Распределение температуры по стенке в этом случае становится неоднородным. В вертикальных каналах нарушения осевой симметрии не происходит [2]. Течение в каналах наклонной конфигурации ранее не исследовались.

Анализируя полученные экспериментальные данные по распределению безразмерной температуры стенки по периметру сечения трубы (Рис. 1) можно

отметить существование максимумов безразмерной температуры вблизи верхней образующей канала, что свидетельствует о наименьших значениях коэффициентов теплоотдачи в этой области как для теплообмена без воздействия МП (Рис. 1а), так и при его наложении (Рис. 1б).

Воздействие магнитного поля привело к увеличению средних значений безразмерной температуры, а равно и к снижению коэффициента теплоотдачи по периметру сечения канала при всех углах наклона канала (Рис.1б). На Рис.2 приведён график среднего значения Nu_c для различных углов наклона при воздействии и без влияния МП, который также свидетельствует об ухудшении теплообмена при течении ЖМ в МП.



а) б)

Рис.1. Распределение безразмерной температуры по периметру сечения канала при различных углах наклона. а) $Re=10^4$, $Gr=0{,}8\cdot10^8$, Ha=0; б) $Re=10^4$, $Gr=0{,}8\cdot10^8$, Ha=300.

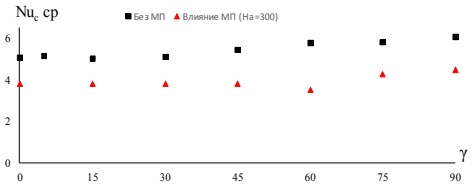


Рис.2. Среднее значение Nu_c для различных углов наклона при воздействии и без влияния МП.

Проведено параметрическое исследование по влиянию угла наклона теплообменного канала на теплообмен жидкого металла в диапазоне углов наклона канала от 0° до 90°. Выявлено существенное влияние угла наклона на разницу температур на стенке, что вызывает сильную неоднородность локальных коэффициентов теплоотдачи по периметру сечения канала, которая может привести к изгибам каналов в теплообменном тракте оборудования, в котором применяется жидкометаллическое охлаждение.

Литература

1. Рачков В. И., Сорокин А. П., Жуков А. В. Теплогидравлические исследования жидкометал-лических теплоносителей в ядерных энергетических установках. //Теплофизика высоких температур. – 2018. – Т. 56. – №. 1. – С. 121-136.

2. Петухов Б. С., Поляков А. Ф., Леонтьев А. И. Теплообмен при смешанной турбулентной конвекции. – " Наука", 1986.

УДК: 537.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ МНОГОСЛОЙНОЙ НАНОСТРУКТУРЫ Mg/NbO ПРИ ОТЖИГАХ

А.Н. Смирнов[1], О.В. Стогней[2]
[1]Аспирант, deadpunk@inbox.ru
[2]Д-р физ.-мат. наук, профессор, sto@sci.vrn.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация: приводятся результаты исследования структуры, электрических свойств и влияния термических отжигов, проводимых в условиях различного вакуума и газовой среды, на структуру и свойства многослойных наноструктур Mg\NbO.

Ключевые слова: многослойная наноструктура, малоугловая рентгеновская рефлектометрия, термическая стабильность, адсорбция водорода.

Объектом исследования является многослойная наноструктура $(Mg/NbO)_{82}$, рассматриваемая как перспективная среда для обратимого хранения водорода. С одной стороны она содержит наноразмерные включения магния (гидридообразующий элемент с малым удельным весом), с другой – оксид ниобия, являющийся катализатором процессов наводораживания [1].

Исследованные многослойные структуры $(Mg/NbO)_{82}$ получены методом ионно-лучевого распыления двух независимых мишеней и последующего (попеременного) осаждения материала на подложки. Получены образцы многослойных структур, в которых нанослои оксида ниобия имеют во всех случаях одинаковую толщину, а слои магния в разных образцах различны. Наличие многослойности образцов подтверждается результатами малоугловой рентгеновской рефлектометрии [2]. На основе этих данных рассчитаны значения толщин бислоёв (магний+оксид ниобия), которые меняются от 2,2 нм до 6,2 нм. Анализ зависимости электрического сопротивления многослойной структуры от толщины бислоя (рис. 1) позволяет предполагать, что тонкие слои магния (толщина бислоёв до 4,5 нм) не являются сплошными, а представляют собой совокупность металлических гранул нанометрового размера (дискретные слои).

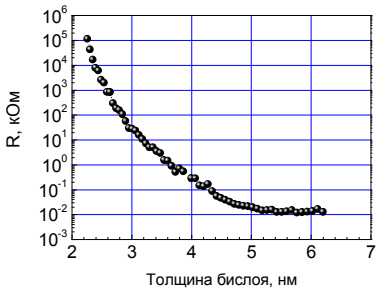


Рис. 1. Зависимость электрического сопротивления многослойной структуры $(Mg/NbO)_{82}$ от номинальной толщины одного бислоя.

Установлено, что, несмотря на раздельное нанесение слоёв, в силу высокой химической активности магния происходит его частичное окисление (на дифрактограммах многослойных структур присутствуют пики от оксида магния).

Установлено, что многослойная структура $(Mg/NbO)_{82}$ стабильна вплоть до температуры 300 – 350 ^{0}C, нагрев до этой температуры не приводит к изменению ни в структуре многослойной системы, ни в её морфологии. Как малоугловая рефлектометрия, так и обычная рентгеновская

дифракция подтверждают сделанный вывод. Более того, нагрев до более высокой температуры (450 ^{0}C) не приводит к разрушению многослойной наноструктуры – она сохраняется. Это подтверждается данными малоугловой рефлектометрии. Однако, температурная зависимость электросопротивления измеряемая в вакууме (рис. 2), а также рентгено-дифракционный анализ свидетельствуют о том, что фазовый состав многослойной структуры, в том случае, когда многослойка содержит сплошные слои магния, меняется.

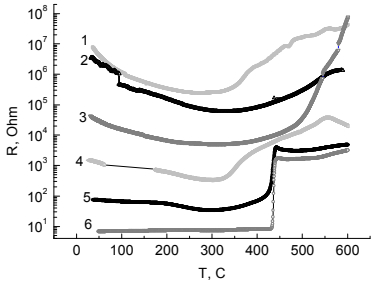


Рис. 2. Температурная зависимость сопротивления многослойной структуры $(Mg/NbO)_{82}$ с различной толщиной бислоя: 1 –2,3 нм; 2 –2,8 нм; 3 - 3,4 нм; 4- 4 нм; 5 - 4,7 нм; 6 - 5,5 нм.

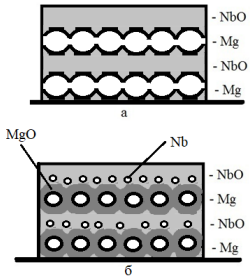


Рис. 3. Модельное представление многослойной структуры Mg/NbO со сплошными металлическими слоями в исходном состоянии (а), после отжига (б).

В дискретно-многослойных структурах (слои магния не сплошные) температурная зависимость сопротивления аналогична зависимости, характерной для нанокомпозитов металл-диэлектрик, фазовый состав сохраняется (магний, оксид магния, аморфный оксид ниобия). В многослойных структурах со сплошными слоями магния (кривые 5, 6 на рис. 2) наблюдается необычный, резкий рост сопротивления на два – три порядка при 430 ^{0}C. Данные рентгенодифракционного анализа позволяют предполагать, что при этих температурах начинается разложение нестехиометричного оксида ниобия с выделением металлических частиц ниобия (на дифрактограммах появляется соответствующий пик от кристаллического ниобия (110)), а высвобождающиеся атомы кислорода окисляют магний. При этом происходит окисление магниевых слоев, что приводит к разрыву проводящих каналов (рис. 3, б), изменению механизма проводимости и значительному росту электрического сопротивления всей многослойной структуры.

Проведены процессы наводораживания многослойной структуры $(Mg/NbO)_{82}$ в водороде с давлением 0,4 и 1 атм. при температуре 360 ^{0}C, а также в водородной плазме. Исследована возможность формирования гидридов в данных многослойных структурах.

Литература

1. Shigehito I. Microscopic Study on Hydrogenation Mechanism of MgH2 Catalyzed by Nb_2O_5 / Materials transactions. – 2014. – V.55. – P. 1175-1178.

2. Стогней О.В. Получение многослойных наноструктур Mg/NbO / Стогней О.В. А.В.Ситников, А.Н.Смирнов, К.И.Семененко, В.В.Черниченко // Вестник ВГТУ. - 2016. – V.12. - N.6. – С.18-24.

УДК: 666.7:537

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОКЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ZrO_2, СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ In_2O_3

О.В. Артамонова
Канд. хим. наук, доцент, ol_artam@rambler.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследований электрических свойств композиций состава 10 мол.% In_2O_3 – 90 мол.% ZrO_2 в широком интервале температур (20 – 900 ºС). Установлено, что первоначальное выделение In_2O_3 на границе зерен исходной фазы стабилизирует тетрагональную модификацию ZrO_2 и увеличивает количества кислородных вакансий, обеспечивающих высокую проводимость анионного типа.

Ключевые слова: электрофизические свойства, диоксид циркония, ионная проводимость.

В последнее время в технике и в лабораторных исследованиях широко применяются электрохимические ячейки с твердым оксидным электролитом, с помощью которых можно непрерывно анализировать состав различных газовых смесей, например, инертный газ – O_2, CO – CO_2, H_2 – H_2O [1]. Рабочая температура таких ячеек составляет обычно 1000 – 1200 К, однако для многих целей желательно понижение рабочих температур ячеек. Это приводит к устранению погрешности определения состава газовых смесей, связанной с электролитическим натеканием кислорода, а также к расширению диапазона анализируемых сред. Оксид циркония и особенно его тетрагональная (кубическая) модификация, стабилизированная за счет добавок катионов с низкой степенью окисления, являются одним из наиболее перспективных материалов в этом направлении.

В данной работе проведены исследования электрических свойств композиций состава 10 мол.% In_2O_3 – 90мол.% ZrO_2 в широком интервале температур (20 – 900 ºС) методом переменного тока на частоте 20 кГц с применением платиновых электродов, а также с использованием моста двойного постоянного тока Р-3009. Установлено, что в низкотемпературной области образцы обладают небольшой проводимостью, с ростом температуры проводимость образцов увеличивается. Для высокотемпературной области характерным является смешанный тип проводимости (ионная и электронная n – типа). При температуре $T' = 400$ °С (по данным, полученным на постоянном токе) и 460 °С (по данным, полученным на переменном токе, рис.) меняется механизм проводимости, т.к. на кривой зависимости удельной электропроводности от температуры имеется характерный излом. При $T < T'$ эффективная энергия активации проводимости равна 0.07 ± 0.02 эВ (по данным, полученным на постоянном токе) и 0.10 ± 0.02 эВ (по данным, полученным на переменном токе). При $T > T'$ эффективная энергия активации проводимости равна 2.63 ± 0.1 эВ (по данным, полученным на постоянном токе) и 2.43 ± 0.1 эВ (по данным, полученным на переменном токе).

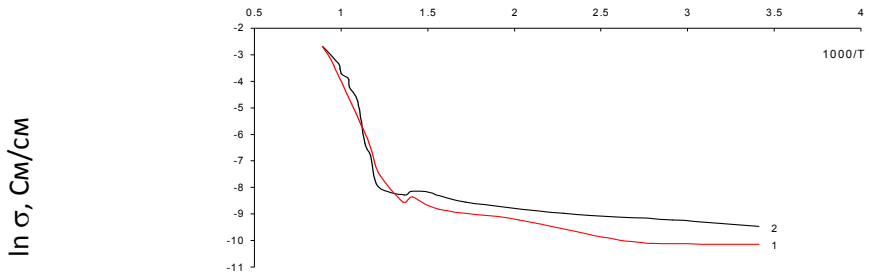


Рис. Зависимость удельной электрической проводимости нанокерамического образца состава 10 мол.% In_2O_3 – 90 мол.% ZrO_2, спеченного на воздухе при T = 1250ºC (время термообработки 3ч от температуры в процессе нагревания (1) и охлаждения (2)). Измерения проводили на переменном токе.

Полученные данные для исследованной системы согласуются с литературными данными. Так, величина эффективной энергии активации чистого диоксида циркония до температуры 100°C по данным [2] составляет 0.05 эВ, а в интервале температур 400 – 900°C составляет 1.72 эВ, что несколько ниже, чем в исследованной системе (2.63±0.1 эВ). Такое отличие в значениях эффективных энергий активации в высокотемпературной области, по-видимому, можно объяснить введением в систему оксида индия. При температуре 600 °C наблюдаемое увеличение электропроводности объясняется образованием кислородных вакансий и электронов проводимости согласно уравнению:

$$2In^{x}_{In} + 3O_o^{y} \Leftrightarrow 2In^{x}_{In} + 3V_o^{++} + 6e^{-} + 3/2O_2,$$(обозначения Крегера-Винка).

Таким образом, полученные величины эффективной энергии активации позволяют предположить, что в данной системе существенен вклад электронной проводимости из-за присутствия оксида индия, который, вероятно, выделяется на тройных стыках зерен диоксида циркония, что подтверждается данными сканирующей зондовой микроскопии (средний размер зерна составляет 800 ± 50 нм).

Проведенное исследование микроструктуры и электрофизических свойств нанокерамики на основе системы In_2O_3 – ZrO_2 позволяет сделать вывод о перспективности применения данного материала в качестве высокотемпературного электрохимического датчика кислорода в газовых средах.

Литература

1. Курумчин Э.Х. Исследование границы кислород – электролит на основе ZrO_2, Bi_2O_3 или CeO_2 методом изотопного обмена кислорода / Э.Х. Курумчин // Электродные реакции в твердых электролитах : сб. науч. тр. – Свердловск, 1990. – С. 63 – 79.

2. Honke P.K. Ionic conductivity of $Zr_{1-x}In_{2x}O_{2x}$ / P.K. Honke // Journal of Physical Chemical Solids. – 1980. – V. 41. – Pp. 777 – 784.

УДК 536.37

ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗБЫТКА ВОЗДУХА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЖЕКТИРУЕМОГО ВОЗДУХА ГАЗОГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРНОГО МОДУЛЯ

И.Э. Свиридов[1], Д.П. Шматов[2], И.Г. Перевезенцев[3], К.В. Кружаев[4], А.С. Игнатов[5]
[1]Зав. лаб., rd-vgtu@mail.ru
[2]Канд. тех. наук, доцент, rd-vgtu@mail.ru
[3]Директор, rd-vgtu@mail.ru
[4]Канд. тех. наук, доцент, rd-vgtu@mail.ru
[5]Ведущий инженер, rd-vgtu@mail.ru
[1,2,4,5] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Россия, г. Воронеж
[3]ООО НПП «ИнтерПолярис», Россия, г. Нововоронеж

Аннотация. В данной работе выполнена серия расчетов газогорелочного устройства полного предварительного смешения с различными величинами температуры эжектируемого воздуха в программном комплексе ANSYS Fluent. Газогорелочное устройство, работающее на природном газе, используется в качестве источника тепла в составе термоэлектрического генераторного модуля. Задачи решены в осесимметричной постановке, с учетом сжимаемости газов. На основании приведенных расчетов построена зависимость коэффициента избытка воздуха от величины температуры эжектируемого воздуха. Выполнены экспериментальные исследования газогорелочного устройства при величине температуры эжектируемого воздуха при котором коэффициента избытка воздуха является оптимальным и при оптимальном воздушном зазоре, которые подтвердили правильность выполненных расчётов.

Ключевые слова: газогорелочное устройство, эжектируемый воздух, термоэлектрический генераторный модуль.

Одним из важных элементов в конструкции термоэлектрического генераторного модуля является источник тепла, который также определяет его конструкцию [1]. Для сжигания природного газа нашли широкое применение газовые эжекторы, на основе которых проектируются газогорелочные устройства. В представленной работе, с использованием программного комплекса ANSYS Fluent [2] и инструмента Response Surface получены результаты численного исследования дозвукового осесимметричного метано-воздушного эжектора. Объектом исследования в настоящей работе был эжектор, геометрические размеры которого получены с использованием методики, описанной в работе [3]. В качестве модели турбулентности, согласно [4] была выбрана k-epsilon realizable модель с масштабируемыми пристеночными функциями, являющаяся наиболее подходящей для таких задач. Входящим параметром для инструмента Design of Experiments назначена величина температуры эжектируемого воздуха, также указана величина воздушного зазора известная нам из ранее проведённых исследований. Выходным параметром является коэффициент избытка воздуха (equivalenceratio), посчитанный как средний по выходной границе диффузора.

По результатам выполнения работы с помощью численного моделирования с использованием программного комплекса ANSYS Fluent и

инструмента Response Surface определена зависимость коэффициента избытка воздуха от величины температуры эжектируемого воздуха (рисунок 1), на основе которого выполнена разработка газогорелочные устройства полного предварительного смешения. Определена величина температуры эжектируемого воздуха при котором коэффициент избытка воздуха является оптимальным при оптимальном воздушном зазоре. Выполнены экспериментальные исследования разработанного газогорелочные устройства (рисунок 2) при полученных величинах температуры эжектируемого воздуха и воздушного зазора. Проведённые экспериментальные исследования подтвердили правильность определения численным моделированием зависимости коэффициента избытка воздуха от величины температуры эжектируемого воздуха.

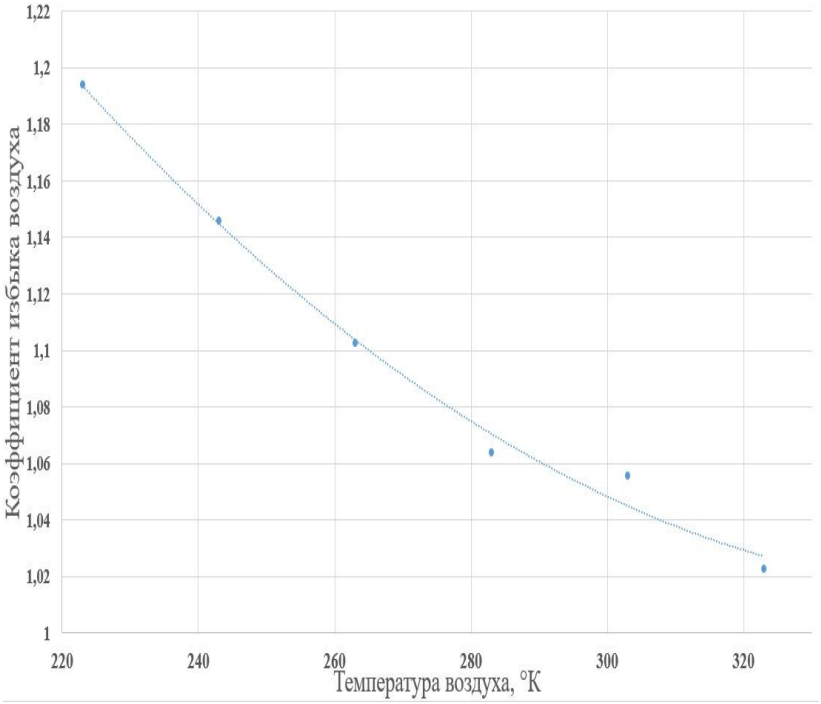


Рис. 1. Зависимость коэффициента избытка воздуха (equivalenceratio) от величины температуры эжектируемого воздуха.

Рис. 2. Экспериментальные исследования разработанного газогорелочные устройства.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 (Договор № 03.G25.31.0246).

Литература

1. Тимошинова Т. С. Свиридов И. Э. Шматов Д. П. 2017 Вестник ВГТУ 13 №6 52–57 с.

2. ANSYS FLUENT Theory Guide 2011 [Online] Available: https://ansyshelp.ansys.com.

3. Ионин А А 1989 М Газоснабжение (Москва: Стройиздат) 439 с.

4. Václav DvořákTomášVít 2005 PRAGUE 16TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TRANSPORT PHENOMENA p 1-7.

УДК: 544.6.018

КИНЕТИКА ДЕСОРБЦИИ ВОДОРОДА ИЗ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ Ni-B

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

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследований кинетики десорбции водорода из электрохимических композитов Ni-B. Содержание водорода в образцах Ni_x-B_y-H_z, измеренное по методу вакуумной экстракции, составило, 600 см^3/100 г, что значительно превышает соответствующее значение для электрохимического никеля ~100 см^3/100 г. Содержание дейтерия для никеля соответствует соотношению Ni:D = 1:1, а для композита $Ni_{95}B_5$ [Ni_{95}:B_5]:D = 1:1,25. Термодесорбционный пик водорода соответствует температуре 325 К. Бор примесная ловушка для атомов водорода в электрохимических композитах никель-бор

Ключевые слова: композит никель-бор, примесная ловушка, вакуумная экстракция, спектры термодесорбции, водород, кинетика, потенциал взаимодействия

В данной работе представлены результаты исследований по влиянию нанообразующей добавки – бора на аккумулирующие свойства композита никель-бор, формируемого электрохимическим методом. При введении бора в никель происходит переход от кристаллической структуры (бора до 5 ат. %) к неявно выраженной кристаллической структуре (бора 6-9 ат. %) с переходом к аморфной структуре, что сопровождается увеличением количества экстрагируемого водорода. Содержание водорода в образцах Ni_x-B_y-H_z, измеренное по методу вакуумной экстракции, составило, 600 см^3/100 г, что значительно превышает соответствующее значение для электрохимического никеля ~100 см^3/100 г. Увеличение концентрации бора в никеле приводит к образованию мелкокристаллической структуры, в получен размер кристаллитов никеля ~400 Aº. Для сохранения образцов в монолитном состоянии выбран диапазон концентраций 6-9 а. % бора. Далее проведено допирование водорода в композит Ni_x-B_y-H_z с определением включаемого водорода методом термодесорбции. Изучены спектры термодесорбции дейтерия, имплантированного различными дозами ионов при T~100 К в образцы электрохимического композита Ni–B. По мере увеличения дозы имплантированного дейтерия в никель формируется четко выраженный пик при температуре максимума порядка 325 К. Содержание дейтерия для никеля соответствует соотношению Ni:D = 1:1, а для композита $Ni_{95}B_5$ соответствует соотношению [Ni_{95}:B_5]:D = 1:1,25 [1, 2]. По сравнению с чистым никелем, введение бора с последующим возрастанием его содержания в композите Ni-B вызывает увеличение содержания водорода. Введение бора в никель [2, 3], увеличивает число дефектов, которые являются «ловушками» для атомов водорода. Бор, как примесная ловушка для атомов водорода, обуславливает структурные изменения в никеле и создает условия для формирования структурных ловушек для атомов водорода. Атом бора является примесью

замещения с малым атомным радиусом по сравнению с никелем. Потенциал взаимодействия точечного дефекта с примесной ловушкой определяется:

$$V = -\sigma_{rr}\delta\upsilon,$$

где σ_{rr} - радиальная компонента тензора внутренних напряжений в окрестности первой координационной сферы около атома бора, $\delta\upsilon$ – изменение объема кристалла при размещении атома водорода. Для атома бора σ_{rr} >0 (напряжение растяжения) и $\delta\upsilon$>0 (атом водорода увеличивает объем кристалла) потенциал V принимает отрицательное значение. Это означает притяжение атома водорода с высокой диффузионной подвижностью к атому бора с последующим образованием комплекса «бор-водород» [1].

Значение потенциала взаимодействия атома водорода с примесной ловушкой атомом бором σ_{rr} рассчитывали по формуле $\sigma_{rr} \approx E_{Ni}\frac{r_{Ni}-r_B}{r_{Ni}}$, где E_{Ni} – модуль Юнга никеля, r_{Ni} – атомный радиус никеля, r_B – атомный радиус бора. Потенциал взаимодействия точечного дефекта с примесной ловушкой составляет $V = -0.67 \times 10^{-19}$Дж (0.42 эВ). , что свидетельствует о невысоком значении энергии для образования комплекса «бор-водород» [1].

Одним из доказательств теории природы связи в системе водород–металл, определяющей основную форму химической связи как гидридную, служит анализ зависимостей количества поглощенного водорода в композитах никель–бор, подвергнутых «старению» (рис.).

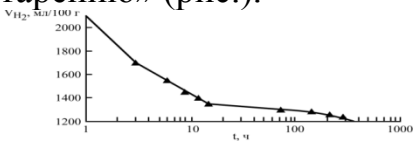


Рис. Зависимость содержания водорода в композитах Ni–B от времени «старения».

Анализ характера изменения экстрагируемых объемов из образцов показывает, что наиболее содержание водорода изменяется в свежеосажденных образцах, что свидетельствует о релаксации структурных дефектов композитов Ni–B и имеет затухающий во времени характер, свидетельствующий о нормализации структуры. Следовательно, полученный экспериментальный факт служит подтверждением наших выводов о том, что взаимодействие водорода с металлами наиболее вероятно по дефектам металлической структуры [1-3].

Литература

1. Власов Н.М., Звягинцева А.В. Математическое моделирование водородной проницаемости металлов /Монография. - Воронеж: ВГТУ, 2012. - 248 с.

2. 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.

3. Звягинцева А.В. Аккумулятор водорода. Пат. № 2521904 РФ МПК51, F17C 11/00.; 10.07. 2014; бюл. № 19; –5 с.

УДК: 544.6.018

КИНЕТИКА ДЕСОРБЦИИ ВОДОРОДА ИЗ Ni–In КОМПОЗИТОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

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

Аннотация. В данной работе исследована кинетика десорбции водорода методом термодесорбционной масс-спектрометрии из композитов Ni–In, синтезированных электрохимическим методом. Содержание дейтерия для композита с фазовым составом $Ni_{70}In_{30}$ равно 2 ат.D/ат. Мет, что соответствует 5,3 мас. %. При низких дозах имплантированного дейтерия в спектре присутствует один пик с температурой максимума ~530 К. Повышение дозы приводит к появлению нового низкотемпературного пика с температурой максимума ~420 К.

Ключевые слова: кинетика, десорбция водорода, водородный пик, порядок реакции, энергия активация, композит никель-индий

В работе исследована возможность синтеза материалов, обладающих способностью к образованию химических соединений с водородом с целью дальнейшего их применения в качестве накопителей водорода. В своей работе автор показывает принципиальную возможность изменения водородной проницаемости свойств материала за счет создания в структуре металла ловушек водорода различного рода (структурные, примесные) для его удержания в структуре металла. В качестве объекта исследования выбрана электрохимическая система – сплав Ni-In. Из исследованных свойств данного сплава можно отметить уменьшение наводороживание никеля при легировании его индием [1] при содержании индия до 10 мас. %.

Для экспериментального подтверждения, что в материалах, синтезированных электрохимическим методом, интерметаллиды металлов могут являться структурной ловушкой для атомов водорода, была выбрана именно данная система, которая, не склонна к накоплению водорода и образованию металл-гидридной фазы - электрохимический композит Ni-In. Индий в виде твердого раствора (максимально 9 мас. %) не является примесной ловушкой для атомов водорода. В связи с тем, что у атома In радиус больше, чем у атома Ni (r_{Ni} = 0, 138 нм; r_{Jn} = 0,184 нм), то при получении композита Ni-In в окрестности индия возникают сжимающие напряжения и индий вытесняет водород из окрестности своего расположения. При увеличении концентрации индия более 10 % вес. происходит образование новых фаз в виде интерметаллидов, если новая фаза некогерентно связана с Ni матрицей через сетку дислокаций, то ее можно рассматривать, как структурную ловушку для атомов водорода и аккумулирующие свойства композитов должны улучшаться.

Подобран состав электролита и режимы электролиза, позволяющие сформировать структуру композита Ni-In с интерметаллидами индия и никеля. Содержание компонентов в композите Ni-In определялось рентгено-

флюоресцентным методом. Дифрактометрически показано, что с ростом концентрации индия в композите Ni–In формируются фазы интерметаллидов состава $InNi_2$, $InNi_3$, In_3Ni_2, η-$In_{27}Ni_{10}$. Кинетика десорбции водорода исследована методом термодесорбционной масс-спектрометрии (ТДС) [2, 3].

Первоначально проведено определение количества водорода, включающегося в композиты в процессе их получения методом электролиза. Термодесорбция водорода наблюдается при температурах 550 и 850 К, а количество накопленного водорода в композитах состава 38 и 45,6 % масс. In отвечает соотношению M/H = 2 и 4 соответственно. Методом ионной имплантации определена возможность допирования водорода в композитах выбранного атом. состава $Ni_{70}In_{30}$ с содержанием индия 38 мас. % и никеля 62 мас. %. Образцы подвергались имплантации ионами дейтерия энергией 12 кэВ дозами в пределах $3\cdot10^{17}$–$3\cdot10^{18}$ D/см^2. В композит Ni-In в качестве тестирующего носителя вводили изотоп водорода – дейтерий. Структура спектра термодесорбции дейтерия является функцией имплантационной дозы. Содержание дейтерия для композита с фазовым составом $Ni_{70}In_{30}$ равно 2 ат.D/ат. Мет, что соответствует 5,3 мас. % [3]. При низких дозах имплантированного дейтерия в спектре присутствует один пик с температурой максимума ~530 К. Повышение дозы приводит к появлению нового низкотемпературного пика с температурой максимума ~420 К. На примере образца состава 24 мас.% In и 76 мас.% Ni, имплантированного ионами дейтерия дозой 3×10^{17} D/см^2 проведен расчет энергии активации термодесорбции для пика с температурой максимума 500 К. Получены политермы Аррениуса для двух значений показателя порядка реакции $\gamma=1$ и $\gamma=2$. Подученные данные свидетельствуют о втором порядке реакции и о квадратичной зависимости скорости десорбции от n (числа частиц). Значение энергии активации для пика с температурой максимума 500 К равно 2.9 эВ. Работа выполнена по Договору (Соглашению) № 9856ГУ/2015от 24.02.2016 ВГТУ.

Литература

1. Звягинцева А.В. Физико-механические и коррозионно-электромеханические свойства никелевых покрытий, легированных индием /А.В. Звягинцева, А.И. Фаличева // Гальванотехника и обработка поверхности. – М., 1994. – т. 3 - №5 - 6. С. 52 - 54.

2. Звягинцева А.В. Температурные интервалы десорбции дейтерия из Ni–In композитов / Взаимодействие изотопов водорода с конструкционными материалами. IHISM´14. Сборник докладов Пятой Международной конференции и Девятой Международной школы молодых ученых и специалистов им. А.А. Курдюмова /// Под ред. Д-ра техн. наук А.А. Юхимчука. Саров: ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», 2015. - С. 106-119.

3. Звягинцева А.В. Способность материалов на основе никеля наноразмерного диапазона к аккумулированию водорода /А.В. Звягинцева //Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». - Саров: НТЦ «ТАТА». - 2015. - №21 (185). - С. 150-155.

УДК 621.039, 697.328

КОМБИНИРОВАНИЕ АЭС С МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИМИ СИСТЕМАМИ[1]

[1]В.Е. Юрин, [2]М.А. Муртазов
[1]Канд. техн. наук, науч. сотр., urin1990777@bk.ru
[2]Инженер-исследователь
Отдел энергетических проблем Саратовского научного центра РАН

Аннотация. В данной работе представлена концепция комбинирования атомных электростанций с многофункциональными системами теплового аккумулирования, включающими в себя маломощную паротурбинную установку, с целью повышения системной эффективности и безопасности АЭС.

Ключевые слова: атомная электростанция, тепловой аккумулятор фазового перехода, обесточивание, расхолаживание, маневренность.

В настоящее время в Единой энергетической системе (ЕЭС) РФ прослеживается дефицит пиковых и полупиковых энергоустановок, способных экономично и надежно проходить провалы нагрузки и обеспечивать энергосистему электроэнергией в часы максимумов нагрузок. На полупиковый режим переведено большинство тепловых станций на органическом топливе, что негативно сказывается на их экономичности и надежности. При этом в ЕЭС прослеживается рост доли АЭС, в связи с чем необходимо найти эффективные пути участия АЭС в регулировании графиков нагрузки в ЕЭС. Одним из таких путей может стать комбинирование АЭС с установками, позволяющими аккумулировать дешевую ночную внепиковую энергию и использовать ее в пиковые часы нагрузки. Кроме того, использование аккумулирующих систем позволит атомным станциям согласно Техническим требованиям Системного оператора ЕЭС России участвовать в общем первичном регулировании частотыв энергосистеме (на загрузку величиной до 2 % или на разгрузку до 8 % номинальной электрической мощности энергоблока по требованию СО ЕЭС).

Большинство известных аккумулирующих систем предполагает использование аккумулированного тепла в основном цикле АЭС, что повлечет за собой дорогостоящую модернизацию основной паротурбинной установки и замену электрогенератора. Кроме того, при повышении нагрузки увеличится износ основного оборудования. Использование систем теплового аккумулирования с дополнительной маломощной паровой турбиной позволит повысить маневренность АЭС, избежав дорогостоящей модернизации основной турбины и увеличения ее износа [1]. Кроме того, ранеебыл разработан способ расхолаживания реактора типа ВВЭР посредством маломощной дополнительной ПТУ путем использования энергии остаточного тепловыделения [2].В этом случае обеспечивается требуемый МАГАТЭ уровень безопасности [1]. Таким образом, установка систем теплового аккумулирования, включающих в себя маломощную дополнительную ПТУ,

[1]Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00881

позволит не только повысить системную эффективность АЭС, но и ее безопасность.

Автором разработаны и запатентованы новые схемные решения комбинирования АЭС с системами теплового аккумулирования[1]. Одной из перспективных схем является комбинирование АЭС смаломощной ПТУиаккумулятором фазового перехода (АФП), способным работать в режиме генерации пара [3].

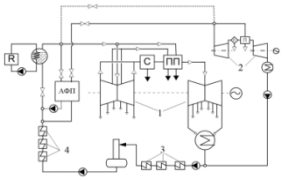


Рис. Система повышения маневренности двухконтурной АЭС. 1 – основная ПТУ; 2 – дополнительная ПТУ; 3 – подогреватели низкого давления; 4 – подогреватели высокого давления.

В штатном режиме работы в часы спада электрической нагрузки часть свежего пара направляется на зарядку АФП. Конденсат пара направляется в тракт питательной воды. В пиковые и полупиковые часы нагрузки часть питательной воды направляется в АФП, где генерируется пар, который направляется на маломощную ПТУ 2.Для расчетов принято, что дополнительная ПТУ в режиме зарядки в часы ночного провала нагрузки отключается или работает на холостом ходув течение 8 ч, а остальные 16 ч на пониженной нагрузке 80% с целью обеспечения требования ЕЭС к участию АЭС в ОПРЧ.При этомприрост вырабатываемой на АЭС мощности (с учетом потерь от снижения мощности основной ПТУ)составил95 МВт.

Экономический анализ проводился на примере энергоблока с реактором ВВЭР-1000. На основе анализа существующих аналогов и типовых конструкций стоимость основных технических узлов АФП составила 4200 млн. руб.Тарифы на электроэнергию и цены за топливо взяты из Прогноза Минэкономразвития России по долгосрочному социально-экономическому развитию Российской Федерации.Как показали расчеты чистый дисконтированный доход за расчетный период 25 лет составил 5150 млн. руб. При этом капиталовложения полностью окупились за 15 лет.

Литература

1. Аминов Р.З., Юрин В.Е., Егоров А.Н. Комбинирование АЭС с многофункциональными энергетическими установками. – М.: Наука, 2018, 240 с.

2. Аминов Р.З., Егоров А.Н., Юрин В.Е., Бессонов В.Н. Многофункциональное резервирование собственных нужд атомных электростанций. Атомнаяэнергия, 2016, т.121, вып. 5. − С. 256-261.

3. Патент РФ № 179855. Аккумулятор теплоты с фазопереходным материалом / Аминов Р.З., Юрин В.Е., Муртазов М.А. // Заявка от 02.10.2017, опубл. 28.05.2018. Бюл. № 16.

УДК: 621.789: 621.793.74

КОМБИНИРОВАННЫЕ АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Г.И. Трифонов[1], Н.А. Пеньков[2], А.А. Краснов[3], В.Г. Грицюк[4]
[1]Соискатель, grishakip@yandex.ru
[2]Канд. техн. наук, myth_np_nikit@mail.ru
[3]Магистр, krasnovam27@mail.ru
[4]Канд. техн. наук, grishakip@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»

Аннотация. В данной статье предложен метод комбинированной аддитивной технологии, включающий в себя плазменное напыление и лазерное упрочнение. Также разработана система уравнений по прогнозированию толщины нанесенного слоя после плазменного напыления на сложнопрофильные поверхности деталей.

Ключевые слова: аддитивные технологии, плазменное напыление, лазерное упрочнение, скорость перемещения, толщина напыления, прогнозирование, моделирование.

На основе научного анализа различных аддитивных технологий с применением высококонцентрированных потоков энергии был разработан метод последовательной комбинированной обработки детали, в частности [1]:

- плазменное напыление;
- финишная лазерная упрочнение.

Теоретической основой возможности предлагаемого метода является возможность прогнозирования глубины плавления нанесенного плазменного слоя при последующем облучении лазером.

Для трех и более рядов напыления, высота напыленного слоя может быть рассчитана по формуле [2]:

$$H = \frac{\delta \times \sqrt{\pi \rho_1}}{v} \times \left\{ \exp(-\frac{x^2}{\rho_1^2}) + \exp\left[-\frac{1}{\rho_1^2}(x-A)^2 \right] + \exp\left[-\frac{(x+A)^2}{\rho_1^2} \right] \right\} \quad (1)$$

где, δ – коэффициент, характеризующий скорость увеличения толщины покрытия в центре пятна распыла ($\sqrt{мм^3}/с$); A – шаг смещения (*мм*); v – скорость перемещения плазмотрона (*мм/с*), ρ_1 – радиус пятна распыла (*мм*).

Как видно из формулы (1) одним из важных факторов, влияющих на величину толщины наносимого слоя при плазменном напылении, является скорость перемещения плазмотрона v относительно обрабатываемой поверхности.

Опираясь на полученные результаты работы А.Ф. Ильющенко [3], где были разработаны уравнения по определению скорости перемещения плазмотрона для различных поверхностей деталей, была смоделирована система уравнений по определению толщины плазменного слоя для сложнопрофильных поверхностей детали:

$$H_д = \frac{\delta \times \sqrt{\pi\rho_1}}{\sqrt{\left(\frac{d\rho}{dt}\right)^2 + \beta\varphi^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2}} \times \left\{ \exp(-\frac{x^2}{\rho_1^2}) + \exp\left[-\frac{1}{\rho_1^2}(x-A)^2\right] + \exp\left[-\frac{(x+A)^2}{\rho_1^2}\right] \right\}$$

$$H_к = \frac{\delta \times \sqrt{\pi\rho_1}}{\sqrt{\left(\frac{d\rho}{dt}\right)^2 + \left(tg\psi\beta_z\varphi\right)^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}} \times \left\{ \exp(-\frac{x^2}{\rho_1^2}) + \exp\left[-\frac{1}{\rho_1^2}(x-A)^2\right] + \exp\left[-\frac{(x+A)^2}{\rho_1^2}\right] \right\}$$

$$H_ц = \frac{\delta \times \sqrt{\pi\rho_1}}{\sqrt{R^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}} \times \left\{ \exp(-\frac{x^2}{\rho_1^2}) + \exp\left[-\frac{1}{\rho_1^2}(x-A)^2\right] + \exp\left[-\frac{(x+A)^2}{\rho_1^2}\right] \right\}$$

$$H_в = \frac{\delta \times \sqrt{\pi\rho_1}}{\sqrt{\left(\frac{\pi\left(\sqrt{D^2\left(1+tg\varphi_1\right) - D_1^2\left(1+tg\varphi_1\right)}\right)}{\alpha}\right)^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}} \times \left\{ \exp(-\frac{x^2}{\rho_1^2}) + \exp\left[-\frac{1}{\rho_1^2}(x-A)^2\right] + \exp\left[-\frac{(x+A)^2}{\rho_1^2}\right] \right\}$$

(2)

где, $H_д$ – толщина для деталей типа диск (*мм*); $H_к$ – толщина для деталей типа конус (*мм*); $H_ц$ – толщина для деталей типа цилиндр (*мм*); $H_в$ – толщина для деталей с винтовой поверхностью (*мм*); ρ, φ, z – цилиндрические координаты; β – шаг спирали траектории перемещения центра пятна напыления по поверхности; β_z – шаг проекции траектории перемещения центра пятна напыления на ось z; $tg\psi$ – угол раскрытия конуса; R – радиус цилиндра (*мм*); D – внешний диаметр винтовой линии (*мм*); φ_1 – угол крутизны подъема; α – угол выреза; $\frac{d\varphi}{dt}$ – скорость вращения обрабатываемой детали (*м/с*); $\frac{dz}{dt}$ – продольная скорость перемещения инструмента (*м/с*); $\frac{d\rho}{dt}$ – радиальная скорость перемещения инструмента (*м/с*).

Литература

1. Воронкова М.Н. Упрочнение и восстановление деталей оборудования промышленности строительных материалов плазменным напылением: дис. канд. техн. наук // Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. – 137 с.

2. Трифонов Г.И. Прогнозирование толщины плазменного покрытия при восстановлении сложнопрофильных поверхностей / Г.И. Трифонов, С.Ю. Жачкин, Н.А. Пеньков // Энергоэффективность и энергоснабжение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции. – Ч II. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 2018. – С. 70-78.

3. Ильющенко А.Ф. Процессы формирования газотермических покрытий и их моделирование / А.Ф. Ильющенко, А.И. Шевцов, В.А. Оковитый, Г.Ф. Громыко // Минск: Беларус. навука, 2011. – 357 с.

УДК 004.94:519.63

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ТОКОНЕСУЩИХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МНОГОСВЯЗНЫХ ТЕЛ МЕТОДОМ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

И.Л. Батаронов[1], Л.И. Батаронов[2], Г.Е. Шунин[3], С.А. Кострюков[4], В.В. Пешков[5]
[1]Д-р физ.-мат. наук, профессор, vmfmm@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, vmfmm@mail.ru
[3]Канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., vmfmm@mail.ru
[4]Канд. техн. наук, доцент, vmfmm@mail.ru
[5]Канд. техн. наук, доцент, vmfmm@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. Для осесимметричных токонесущих многосвязных сверхпроводников получена система интегральных уравнений для плотности поверхностных токов. С использованием метода выделения особенности разработан специальный алгоритм решения полученных уравнений. Исследованы численные модели одиночного токонесущего кольца и экранированной системы из двух колец.

Ключевые слова: токонесущие сверхпроводящие системы, интегральные уравнения, компьютерное моделирование.

Моделирование сверхпроводящих токонесущих конструктивных элементов устройств сверхпроводниковой энергетики [1] может быть осуществлено с помощью интегральных уравнений для поверхностных плотностей токов [2–4].

Однако ядро получаемых интегральных уравнений представляет собой потенциал двойного слоя, дающий разрывное на поверхности интегрирования решение. Поэтому численное решение таких уравнений наталкивается на значительные трудности. Ситуация существенно упрощается в случае, когда можно поставить граничные условия непосредственно на вектор-потенциал $\vec{A}$, так как ядро получаемых интегральных уравнений будет потенциалом простого слоя, а его решение – непрерывной на поверхности интегрирования функцией. Это, в частности, имеет место для осесимметричной системы тел.

Полученная в работе система интегральных уравнений Фредгольма первого рода с симметричными ядрами для плотности поверхностных токов сверхпроводников $\vec{J}$ имеет вид:

$$\sum_{n=1}^{K} \oint_{C_n} Q(l,l') J_n(l') dl' = \frac{\Phi_k}{\mu_0} - \frac{\pi \rho_k B_0}{\mu_0}, \quad k = 1,\ldots,K.$$

Здесь C_n – контур поперечного сечения k-тела, K – число связных тел, Φ_k – магнитный поток через контур k-тела, μ_0 – магнитная постоянная, ρ_k – радиальная цилиндрическая координата на поверхности k-го тела, B_0 – индукция внешнего однородного магнитного поля, а ядро Q выражается через эллиптические интегралы.

Так как ядро Q обладает логарифмической сингулярностью при $l = l'$, то обычные методы дискретизации к данной системе неприменимы. С использованием метода выделения особенности [5] был разработан специальный алгоритм дискретизации и исследованы численные модели одиночного токонесущего кольца и экранированной системы из двух колец. Рассчитаны плотности поверхностных токов и распределения индукции магнитного поля в этих системах. По результатам расчета поверхностного тока могут быть найдены электромеханические характеристики системы – коэффициенты индуктивности и силы, действующие на сверхпроводящие тела.

Комбинация построенных элементарных моделей позволяет, в принципе, строить модели для сложной осесимметричной системы многосвязных сверхпроводящих тел. Могут быть также учтены сверхпроводящие экраны в форме поверхностей вращения или плоскостей, перпендикулярных оси симметрии системы. Однако модели неприменимы при нарушении осевой симметрии системы. Асимметричные системы должны анализироваться в более общих моделях, например, построенных на базе метода конечных элементов.

Вместе с тем, модели характеризуются плохой обусловленностью, резко возрастающей с увеличением количества тел, медленной сходимостью, пропорциональной числу точек дискретизации, и чувствительностью к неравномерности шага дискретизации на контуре кольца. Это приводит к необходимости использования большого числа точек дискретизации, особенно на некруглых сечениях, что приводит к возрастанию времени расчета и требованиям к вычислительным ресурсам. Тем не менее, за счет уменьшения размерности задачи при использовании метода интегральных уравнений число степеней свободы, при одной и той же точности расчета, на порядок меньше, чем в методе конечных элементов.

Численные расчёты проводились с помощью универсальной системы компьютерной математики Maple 14.

Литература

1. Moon F.C. Superconducting levitation. Application to bearing and magnetic transportation / F.C. Moon // Wiley-VCH Verlag Gmbh & Co. KGaA, 1994. – 295 p.

2. Numerical calculation of the inductances of a multi-superconductor transmission line system / W.H. Chang // IEEE Trans. Magn. 1981. V. Mag-17, № 1. P. 764–766.

3. Урман Ю.М. Теория расчета силовых характеристик электромагнитного подвеса сверхпроводящего тела / Ю.М. Урман // ЖТФ. 1997. Т. 67, № 1. С. 3–9.

4. Черноморский А.И. Расчет магнитного поля около двухсвязного осесимметричного сверхпроводящего тела / А.И. Черноморский, В.Е. Плеханов // Изв. вузов. Электромеханика. 1981. № 4. С. 360–362.

5. Калиткин Н.Н. Численные методы / Н.Н.Калиткин. – М.: Наука, 1978. 512 с.

УДК. 536.757

КОНЦЕПЦИЯ ГРАВИТАЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В.А. Юрьев
Канд. физ.-мат. наук, доцент, yuryevva@gmail.com
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
Россия, г. Воронеж

Аннотация. В работе установлена зависимость веса кристаллических и аморфных конденсированных сред постоянного количества от степени их термодинамического равновесия. Делается вывод о корреляции энтропии конденсированной среды с локальной напряженностью гравитационного поля, которая определяет силу тяжести материального объекта. Предлагается идея генератора гравитационных волн, работающего на периодически изменяющейся энтропии конденсированной системы. Контролируемая генерация гравитационных волн возможно приведёт к развитию нового источника энергии и коммуникации.

Ключевые слова: энтропия, напряженность гравитационного поля, разупорядочение; термодинамическое равновесие.

В 1865 году английский физик Дж. Максвелл завершил построение теории электромагнитного поля в рамках классической физики. В настоящее время уровень технического развития нашей цивилизации практически полностью связан с этими событиями. Совсем недавно экспериментально подтверждено наличие гравитационных волн. Не исключено, что контролируемая генерация гравитационных волн приведёт к развитию нового источника энергии и коммуникации.

Гравитационные волны представляют собой по-сути возмущения пространства-времен, которые можно зарегистрировать через изменение напряженности гравитационного поля. В свою очередь изменение напряженности гравитационного поля, можно оценить через изменения веса материальных тел. Советский астрофизик, академик Н.А. Козырев установил, что сразу после пластической деформации твёрдые тела уменьшают свой вес [1]. В случае упругой деформации изменение веса не отмечалось и объяснялось тем, что «лишь в необратимых процессах обнаруживается отличие причин от следствий». В более поздних работах Савченко [2] говорится об изменении веса под действием как пластической, так и упругой деформации. При этом изменение веса связывалось не с изменением массы, а с изменением термодинамических потенциалов - внутренней энергии и энтропии системы.

Вес материального тела, как силовая характеристика, является реакцией опоры на силу тяжести, определяемой произведением массы на напряженность гравитационного поля. Изменение веса деформированного, т.е. переведенного в термодинамически неравновесное состояние, тела при его неизменной массе возможно только случае изменения напряженность гравитационного поля.

Необходимо уточнить, чем отличаются между собой упруго и пластически деформированные тела. Упругая и пластическая деформации не изменяют тип кристаллической решётки, потенциальная и кинетическая составляющие

внутренней энергия системы не изменяются. Пластическая деформация в основном является результатом образования и размножения дислокаций, которые создают дально- и близкодействующие упругие искажения решетки. Таким образом, и при упругой, и при пластической деформации в системе возникают упругие напряжения, которые по Козыреву не изменяют вес системы. Но пластическая деформация сопровождается еще локальными разупорядочениями около дефектов, что приводит к увеличению энтропии системы. В этом и заключается термодинамическое различие между упруго и пластически деформированными телами.

Следовательно, упруго и пластически деформированные кристаллы при одинаковых температуре, количествах и внешних условиях, с точки зрения термодинамики, отличаются только степенью разупорядоченности, т.е. энтропией. Тогда изменение веса, пластически деформированного кристалла, как результат локального возмущения напряженности гравитационного поля, следует связывать с изменением энтропии системы,

Чтобы убедиться в этом были выполнены взвешивания сплава Cu-Al-Ni, испытывающего фазовый переход при деформации. Особенностью фазового перехода в этой системе является полная когерентность межфазных границ и без разупорядочения. При фазовом переходе свободная энергия данного сплава изменяется только за счет изменения внутренней энергии. Вес данного сплава не изменялся при деформации, т.е. при смене типа кристаллического строения. Измерения проводились при постоянных температуре, давлении и количестве вещества.

В системах с изменяющейся энтропией установлено изменение веса при постоянной массе. Экспериментально установлено увеличение веса при переходе аморфных сплавов в кристаллическое состояние. Например, при кристаллизации аморфного сплава FeSi (2,14%) вес увеличивался до 7,26% . Увеличение веса (0,17%) происходит при отжиге стали У-8, закаленной на мартенсит. При полимеризации эпоксидной смолы вес увеличился на 0,08%. Вес образцов всегда увеличивается при переходе к более равновесной структуре. По данным исследования предлагается поиск систем, в которых происходит периодическое изменение энтропии, приводящее к генерации локальных изменений напряженности гравитационного поля. Примером таких систем - генераторов гравитационных волн могут быть периодические окислительно-восстановительные реакции Белоусова – Жаботинского.

Литература

1. Козырев Н. А. О возможности уменьшения массы и веса тел под воздействием активных свойств времени /Н.А. Козырев //Еганова И. А. Аналитический обзор идей и экспериментов современной хронометрии. Новосибирск, -1984,- С. 92- 88. -Деп. в ВИНИТИ 27.09.84, -№ 6423-84 Деп.

2. Савченко А.М. Физико-энергетическая природа энтропии смешения/А.М. Савченко и др. //Материалы конференции LAM-12 (Liquid and Amorphous Metals), Метц, - Франция, - 2004

УДК 621.316.1

ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ С НЕПОЛНЫМ ЧИСЛОМ ФАЗ

Е.И. Малеева[1], Н.С. Бурянина[2], Ю.Ф. Королюк[3], А-М.В. Тимофеева[4]
[1]Ст. преп., maleeva.e.i@gmail.com
[2]Д-р техн. наук, профессор, bns2005_56@mail.ru
[3]Канд. техн. наук, профессор, kuf2005_41@mail.ru
[4]Ст. преп., mariya_timo@mail.ru
ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет имени М.К.Аммосова

Аннотация. В данной работе рассматривается возможность использования четырехфазных пятипроводных линий электропередач для электроснабжения отдаленных потребителей в изолированных системах.

Ключевые слова: линии электропередачи «Два провода – земля» (ДПЗ), четырехфазные линии электропередачи, снижение потерь электроэнергии.

Для электрических сетей 6-35 кВ предлагается использование четырехфазных пятипроводных линий электропередачи, работа которых базируется на сдвоенной системе «Два провода – земля» (ДПЗ) [1]. Исследования показали, что данные линии имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными трехфазными при использовании в сетях до 35 кВ. Достоверность расчетов доказана с помощью оригинальной методики математического моделирования с помощью системы Mathcad, создана математическая модель в программе MatLAB.

Проблема повышения надежности электроснабжения в Арктическом регионе актуальна на протяжении многих лет. При малой мощности большого количества разрозненных потребителей линии перегружены, потери напряжения в конце линий могут достигать более 20 % при стандартном отклонении в 10 % (ГОСТ 32144-2013).

Решением этих проблем может служить предлагаемая система, представленная на рисунке:

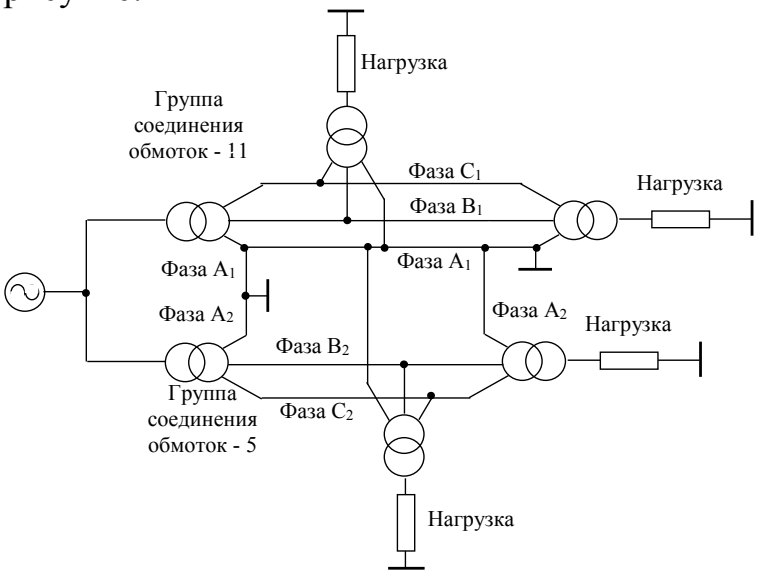


Рис. Схема четырехфазной пятипроводной линии электропередачи

За основу взята система ДПЗ. Напряжения одноименных фаз разных ДПЗ имеют противоположные знаки. При одинаковых нагрузках обеих цепей токи в земле отсутствуют. Соответственно, нет потерь мощности в заземляемых фазах. Такая схема может быть применена на территориях, не охваченных вечной мерзлотой. Данное обстоятельство актуально, в связи с тем, что идет освоение и развитие северных территорий, находящихся в зоне вечной мерзлоты. На территориях с вечной мерзлотой в зимний период сопротивление заземленной фазы может иметь активную составляющую в десятки Ом. И токи в проводах каждой линии ДПЗ будут практически противоположны по направлению. Т.е., коэффициент несимметрии токов будет равен единице [2,3].

Чтобы исключить это добавляется в четырехфазную линию заземленный пятый провод, и к нему подключаются заземляемые обмотки всех трансформаторов нагрузок [4].

Исследования на математической модели показали, что использование линий напряжением 6 – 35 кВ по схеме с неполным числом фаз в современных условиях экономически целесообразно из-за существенно меньших потерь мощности в них по сравнению с трехпроводными линиями, кроме этого надежность предлагаемой системы не уступает двухцепным ЛЭП [5].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Субъекта РФ - Республики Саха(Якутия) № 18-48-140 010

Литература

1. Бенар П.П. Электропередача «два провода – земля» // Электричество, 1933 № 20, С. 13 – 20.

2. Фильштинский А.А. Четырехпроводная электропередача как средство повышения экономичности и надежности высоковольтных сетей. // Электричество. 1952. № 1. С. 17 – 22.

3. Пат. 2256273, Российская Федерация, МПК7 H 02 J 3/00, 3/04. Электрическая система / Н.С. Бурянина, Е.В. Бурянина, Ю.Ф. Королюк, В.Л. Олесова, Л.А. Олесов.

4. Патент № 2558697, Российская федерация, МПК H2J 3/00 (2006.01). Четырехфазная пятипроводная линия электропередачи / Н.С. Бурянина, Ю.Ф. Королюк, Е.В. Лесных.

5. Бурянина Н.С., Королюк Ю.Ф., Лесных Е.В., Шеметов А.И. Четырехфазные линии электропередачи // Новости электротехники. 2005. № 1(31). С. 3 – 6.

УДК: 536.71

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ ВОЗДУХА С УЧЕТОМ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В.И. Ряжских[1], А.А. Хвостов[2], А.А. Журавлев[3], А.А. Никитченко[4], А.А. Богер[5]
[1]Д-р техн. наук, профессор, ryazhskih_vi@mail.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, khvtol1974@yandex.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, zhuraa1@rambler.ru
[4]Канд. техн. наук, доцент, nik.to77@mail.ru
[5]Канд. техн. наук, доцент, a-boger@yandex.ru
[1,2]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
[3-5]ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Аннотация. В работе рассмотрена математическая модель процесса низкотемпературной ректификации воздуха. Модель позволяет в динамике оценить концентрацию целевого продукта с учетом нестационарности основных теплофизических характеристик рабочих сред.

Ключевые слова: разделение воздуха, математическое моделирование, ректификация

В процессе эксплуатации воздухоразделительных установок (ВРУ) типа АКДС возникают динамические режимы, связанные с наличием неконтролируемых возмущений. Это приводит к отклонению от номинального режима работы установки. В связи с этим актуальна задача разработки динамической модели процесса разделения воздуха с учётом нестационарности основных теплофизических характеристик воздуха и его компонентов, которая позволила бы рассчитывать оптимальные управляющие воздействия.

Предлагаемая модель процесса ректификации воздуха в динамике включает уравнения общего материального баланса, покомпонентного баланса (баланс по концентрации низкокипящего компонента (НКК) на каждой тарелке), фазового равновесия, уравнения для расчета состава паровой фазы, покидающей каждую тарелку. Модель блока испарителя рассмотрена в [1].

Концентрация НКК в жидкой фазе на каждой тарелке описывается системой из N дифференциальных уравнений [2]:

для тарелок исчерпывающей секции $(1 \le i \le f-1)$

$$M_{Li}\frac{dx_i}{dt} = (L+F)(x_{i+1}-x_i) + G(y_{i-1}-y_i); \quad (1)$$

для питающей тарелки $(i = f)$

$$M_{Li}\frac{dx_f}{dt} = Lx_{f+1} - (L+F)x_f + G(y_{f-1}-y_f) + Fx_F; \quad (2)$$

для тарелок укрепляющей секции $(f+1 \le i \le N)$

$$M_{Li}\frac{dx_i}{dt} = L(x_{i+1}-x_i) + G(y_{i-1}-y_i), \quad (3)$$

где M_{Li} – масса жидкой фазы на тарелке, кг; F – массовый расход питающей жидкости, кг/с; L – массовый расход жидкой фазы, стекающей с вышерасположенной тарелки, кг/с; G – массовый расход пара, поступающей с нижерасположенной тарелки, кг/с; x_i – концентрация НКК в жидкой фазе, масс. доли; x_F – концентрация НКК в питающей жидкости, масс. доли; y_i – концентрация НКК в паровой фазе, масс. доли. Начальные условия: $x_i\big|_{t=0} = x_{i0}, \quad 1 \le i \le N$.

Концентрация НКК в паровой фазе, уходящей с i-й тарелки

$$y_i = y_{i-1} + \eta_i \left(y_i^* - y_{i-1} \right), \tag{4}$$

где η_i – КПД тарелки; y_i^* – концентрация НКК в паровой фазе, находящейся в равновесии с жидкой фазой (равновесная концентрация) масс. доли.

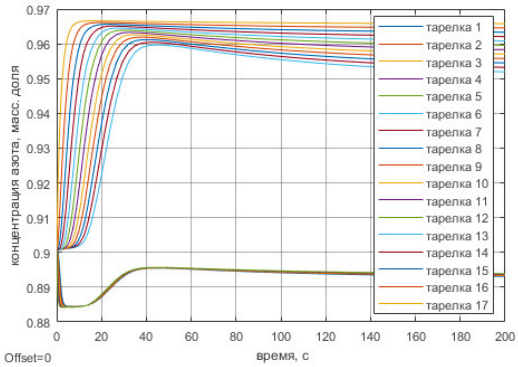


Рис. Динамика концентрации азота на массообменных устройствах

Полученная математическая модель реализована в среде Matlab Simulink и позволяет в динамике оценивать концентрацию целевого продукта (рис.), что делает возможным интегрировать модель в качестве подсистемы в системы более высокого уровня, моделировать пусковые режимы, реакцию системы на возмущения, анализировать влияние геометрии конструктивных элементов испарителя, контактных устройств и т.д. Учет нестационарности теплофизических свойств на основе экспериментальных данных позволил повысить точность расчетов в переходных режимах.

Литература

1. В.И. Ряжских, А.А. Хвостов, А.А. Журавлев и др. Модель испарителя кубовой жидкости ректификационной колонны воздухоразделительной установки в переменными теплофизическими характеристиками. В кн.: Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. междунар. науч. конф.: в 12 т. Т. 1. – СПб.: Политехн. Ун-т, 2018. – С. 92-95.

2. А.А. Хвостов, В.И. Ряжских, А.А. Журавлев и др. Математическая модель массообмена на контактных устройствах воздухоразделительной установки. В кн.: Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. междунар. науч. конф.: в 12 т. Т. 1. – СПб.: Политехн. Ун-т, 2018. – С. 102-105.

УДК: 621.31

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

А.В.Тимофеева[1], Ю.Ф.Королюк[2], Н.С.Бурянина[3]
[1]Аспирант, mariya_timo@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, профессор, kuf2005_41@mail.ru
[3]Д-р техн. наук, профессор, bns2005_56@mail.ru
Чукотский филиал ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова»

Аннотация. В данной работе представлен метод повышения пропускной способности. Предложенный метод позволяет увеличить натуральную передаваемую мощность до двух и более раз, позволяет уменьшить отчуждаемые земельные угодья под трассы линий за счет сближения фаз, а за счет сокращения качаний исключается переломление проводов.

Ключевые слова: пропускная способность, натуральная мощность, высоковольтные линии.

Территория Российской Федерации огромна, что объясняет наличие большого количества протяженных воздушных линий (ВЛ) электропередачи. Технологический расход электроэнергии на ее транспорт в целом по сетям составляют порядка 13% от отпущенной в сеть электроэнергии [1]. Поэтому повышение пропускной способности существующих и вновь строящихся линий электропередачи входит в число основных задач Энергетической стратегии России, так же как и снижение потерь.

Повышение пропускной способности по пределу передаваемой мощности достигается двумя основными путями: снижением продольного индуктивного сопротивления фаз линии и увеличением поперечной емкостной проводимости [2].

Кардинальное увеличение натуральной мощности, а, следовательно, и пропускной способности линии электропередачи, можно осуществить, применив разновысотную подвеску проводов [3]. Применительно к линиям электропередачи 110 – 220 кВ с современной арматурой такие линии могут иметь конструкцию, показанную на рис. 1.

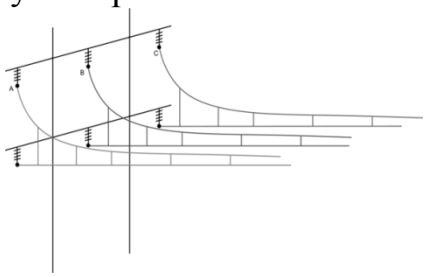


Рис.1. Схема подвески проводов линии электропередачи с вертикальным расщеплением фаз

Особенность данной схемы является то, что нижний провод натягивается без провеса. Это значит, что исключены его горизонтальные и вертикальные

отклонения. При соединении верхнего и нижнего проводов стяжками из проводящего материала вся фаза лишается возможности горизонтального перемещения. Следовательно, фазы можно сблизить на расстояние, незначительно превышающее возможное пробивное напряжение.

Расчет приведенных погонных продольного сопротивления и поперечной емкости в зависимости от места в пролете длиной 200 м для ВЛ 220 кВ показывает, что если бы провода в фазе касались вдоль всего пролета, то индуктивное сопротивление было бы равно 0,37 – 0,38 Ом/км, а поперечная емкостная проводимость – примерно 2,6 *10-6 См/км. Эти цифры достаточно близки к параметрам реальных ВЛ, что подтверждает правильность расчетов.

Изменение натуральных мощностей в зависимости от расстояния между проводами фазы в середине пролета приведены на рис 2., где у рассматриваемых линий натуральная мощность примерно в 2 – 3 раза больше, чем у ВЛ традиционного исполнения.

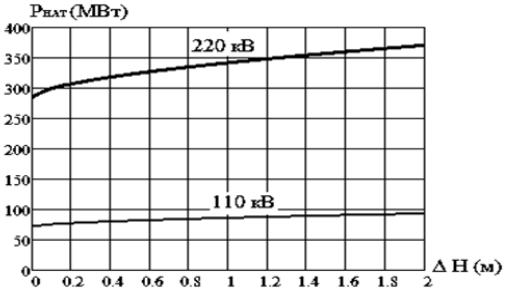


Рис. 2. Натуральные мощности линий 110 и 220 кВ в зависимости от расстояния между проводами фазы в середине пролета.

Предлагаемая конструкция линии электропередачи позволяет существенно увеличить пропускную способность высоковольтной линии. Хотя экспериментальная проверка пропускной способности линии еще не проведена, можно ожидать, что благодаря предположениям, принятым при расчете пропускной способности линии, полученные величины близки к оптимальным.

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года (далее – Стратегия) разработана в соответствии с Федеральным законом от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации»

2. Разработка конструкции высоковольтной линии с повышенной пропускной способностью/ Ю.Ф. Королюк, А.В. Тимофеева/ Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в г.Нерюнгри с международным посвященной 25-летию со дня образования Технического института (филиала СВФУ). Секции 1-3.- Нерюнгри: Изд-во Технического института (ф) СВФУ, 2017- 387 с.

3. Воздушная линия электропередачи с разновысотной подвеской проводов: патент на изобретение № 2656365 от 19.10.2016/ Королюк Ю.Ф., Бурянина Н.С., Лесных Е.В., Тимофеева А.В.

УДК 621.382

МЕТОДИКА И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

М.В. Болесов[1] , С.А. Акулинин[2], Т.С. Наролина[3]
[1]Инженер, vstu-ppe@mail.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, aculinin@bk.ru
[3]Канд. экон. наук, доцент, narolina@inbox.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В данной работе представлена методика и проект измерительного стенда для контроля параметров суперконденсаторов. Методика основана на обработке зарядно-разрядной характеристики суперконденсатора. Измерительный стенд обеспечивает измерение емкости, последовательного сопротивления и токов утечки суперконденсаторов.

Ключевые слова: суперконденсатор, зарядно-разрядная характеристика, микроконтроллер.

Суперконденсаторы являются электрическими устройствами для накопления электрической энергии, которые обеспечивают высокую плотность мощности, экстремально высокую циклическую способность и механическую устойчивость. Последние улучшения в технологии суперконденсаторов дали возможность для их применения в фотовольтаичной электронике, устройствах высокой мощности, в системах регенерации энергии медицинского и телекоммуникационного оборудования [1]. В суперконденсаторах функции диэлектрика выполняет двойной заряженный слой на границе электрод–электролит (слой Гельмгольца), толщина которого составляет десятки нанометров. Благодаря присутствию микропор и нанопор в электродном материале на основе углерода, площадь поверхности может достигать величин вплоть до 3000 $м^2$/г. Эти свойства, в сочетании с минимальной толщиной слоя Гельмгольца, дают очень высокую емкость, вплоть до 5000 Ф на элемент. Высокая емкость позволяет суперконденсаторам заполнить промежуток между стандартными конденсаторами и аккумуляторами, в том, что имеет отношение к мощности и плотности энергии [1, 2]. Основными параметрами суперконденсатора являются емкость (C) , эквивалентное последовательное сопротивление (ESR) и токи саморазряда, Большие значения емкости суперконденсаторов определяю метод заряда-разряда в качестве основного метода измерения параметров. В данной установке выбрана методика заряда в режиме генератора тока и разряда через фиксированное сопротивление (рис.1).

Испытуемый суперконденсатор C_X – подключается к клеммам $Кл_1$, $Кл_2$ измерительной цепи. Источник тока – это в одном лице: стабилизированный источник тока $I_{зар}$=10 А, и стабилизированное напряжение U=2,7 В, предназначенное осуществлять заряд конденсатора постоянным током до уровня допустимого пробивного напряжения.

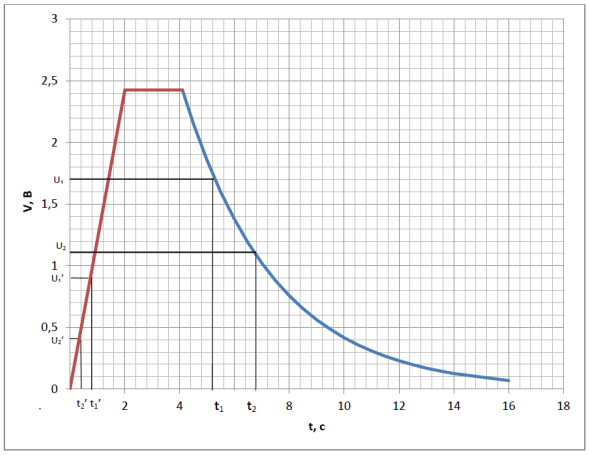


Рис. 1. Зависимость напряжения от времени при заряде от генератора постоянного
тока и разряде на резистивную нагрузку

На блок-схеме, изображённой на рис. 2, обозначены главные элементы электронной схемы.

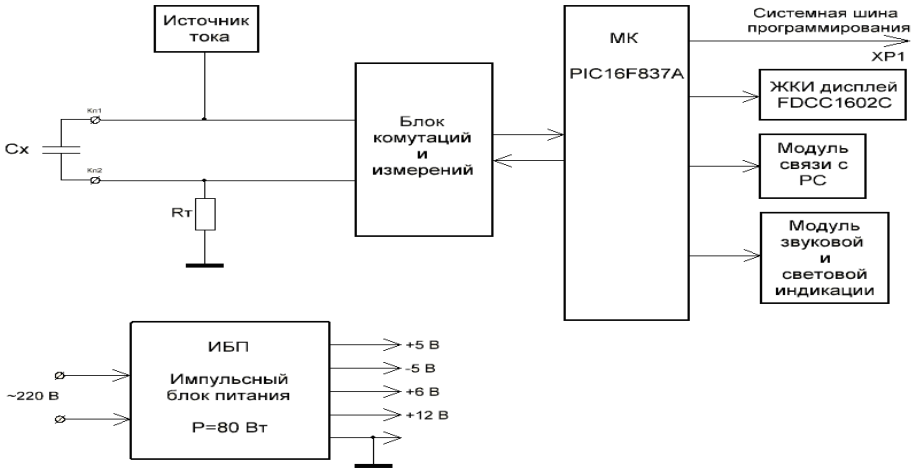


Рис. 2. Блок-схема стенда для измерения параметров суперконденсаторов

Блок коммутаций и измерений – производит коммутацию измерительных цепей в определенной последовательности, согласно алгоритму, заложенному в память микроконтроллера. $R_т$ – токовый датчик, на котором, в соответствии с изменениями тока, проходящему через резистор, которое отслеживается измерительным блоком и микроконтроллером.

МК – микроконтроллер PIC16F873A, обеспечивает в автоматическом режиме генерацию последовательности команд на коммутирующие ключи, вычисление параметров испытуемого суперконденсатора и отображение информации в цифровом виде на жидко кристаллическом дисплее FDCC1602C.

Литература

1. Conway B. E. Electrochemical supercapacitors. Scientificfundamentals and technological applications. N. Y., Kluwer Academic Plenum Publ.,1999 —698 p.

2. Vol’fkovich Yu. M., Serdyuk T. M. Electrochemical condensers. Rus. J. Electrochem., 2002, vol. 38, № 9, pp. 935–959 (in Russian).

УДК: 620.92

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СИСТЕМ ВОДОРОДНОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

А.Н. Казаков[1], В.И. Борзенко[2]
[1]Мл. науч. сотр., kazakoffalex09@gmail.com
[2]Канд. техн. наук., зав. лаб, borzenko1971@gmail.com
ФГБУН Объединенный институт высоких температур РАН

Аннотация. В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований новых водородопоглощающих материалов на основе сплавов AB_5 типа, применяемых для твердофазного хранения водорода. Исследованы кристаллические структуры, морфология и водородсорбционные свойства новых образцов. Изучено влияние легирующих добавок на свойства интерметаллидов.

Ключевые слова: гидриды металлов, интерметаллические соединения, твердофазное обратимое хранение водорода.

В настоящее время наблюдается значительный прогресс во внедрении возобновляемой энергетики в мире. В то же время для увеличения использования возобновляемых источников в энергетике требуются новые технологии производства и хранения энергии [1].

Одним из перспективных направлений является водородное аккумулирование энергии. Данный подход рассматривается в виде цепочки, связывающей первичный источник энергии, производство водорода, систему хранения водорода и водородную энергоустановку [2]. Относительно применения с ВИЭ эта цепочка сводится как правило к получению водорода путем электролиза, хранению водорода в сжатом или твердофазном связанном виде и получению электрической энергии с использованием топливных элементов или водородосжигающих установок (включая двигатели внутреннего сгорания) [3,4]. Другим перспективным методом является производство водорода биологическим путем, его очистка и дальнейшее использование в топливных элементах [5-7].

Отличительной чертой ИМС семейства AB_5 от других групп ИМС (например, AB_2, AB и т.д.) является возможность использования их в умеренных условиях при температурах 0-100 ºС и давлениях 1-10 бар. Для различных сплавов PCT-свойства могут изменяться в широких пределах. Сплавы AB_5 легко активируются, не образуют защитных оксидных пленок, что является преимуществом, которое дает AB_5 стойкость к малым количествам O_2 и H_2O в H_2. Избирательность поглощения водорода, возможность гибко контролировать термодинамические свойства интерметаллических сплавов с помощью вариации их состава позволяет использовать их не только для хранения, но и для высокоэффективной очистки водорода, создания термохимических тепловых насосов и водородных компрессоров [8-11].

В данной работе приготовлены и исследованы сплавы AB_5-типа ($La_{1-x}A_xNi_{5-y}B_y$) с легирующими добавками Ce, Mm, Fe, Sn, Al, Mn. Термодинамические параметры определены из диаграмм Вант-Гоффа. PCT-диаграммы сплавов измерены методом Сивертса в температурном интервале 293 – 333 К.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-19-01738).

Литература

1. Ferreira, H.L., et al., Characterisation of electrical energy storage technologies. Energy, 2013. 53(0): p. 288-298.

2. Шпильрайн, Э.Э., С.П. Малышенко, and Г.Г. Кулешов, Введение в водородную энергетику, ed. п.р.В.А. Легасова. 1984, М.: Энергоатомиздат. 264.

3. Zoulias, E.I. and N. Lymberopoulos, Hydrogen-based autonomous power systems: techno-economic analysis of the integration of hydrogen in autonomous power systems. 2008: Springer.

4. Tzamalis, G., et al., Techno-economic analysis of an autonomous power system integrating hydrogen technology as energy storage medium. Renewable Energy, 2011. 36(1): p. 118-124.

5. Kim, D.-H., et al., Experience of a pilot-scale hydrogen-producing anaerobic sequencing batch reactor (ASBR) treating food waste. International Journal of Hydrogen Energy, 2010. 35(4): p. 1590-1594.

6. La Licata, B., et al., Bio-hydrogen production from organic wastes in a pilot plant reactor and its use in a SOFC. International Journal of Hydrogen Energy, 2011. 36(13): p. 7861-7865.

7. Morra, S., et al., Expression of different types of [FeFe]-hydrogenase genes in bacteria isolated from a population of a bio-hydrogen pilot-scale plant. International Journal of Hydrogen Energy, 2014. 39(17): p. 9018-9027.

8. Sandrock, G., A panoramic overview of hydrogen storage alloys from a gas reaction point of view. Journal of Alloys and Compounds, 1999. 293-295: p. 877-888.

9. Дуников, Д.О., et al., Перспективные технологии использования биоводорода в энергоустановках на базе топливных элементов (обзор). Теплоэнергетика, 2013(3): p. 48-57.

10. Блинов, Д.В., et al., Очистка водорода методом продувки через металлогидрид. Вестник МЭИ, 2012(2): p. 44-49.

11. Lototskyy, M.V., et al., Metal hydride hydrogen compressors: A review. International Journal of Hydrogen Energy, 2014. 39(11): p. 5818-5851.

УДК 620.9

МОБИЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ С ПРЯМЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ

Шалимов Ю.Н.[1], Кудряш В.И.[2], Звягинцева А.В.[3], Помигуев А.В.[4], Руссу А.В.[5]
[1]Д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «ВГТУ», shalimov_yn@mail.ru
[2]Канд. физ.-мат. наук, доцент, ФГБОУ «ВИ МВД», kudrjash_vi@mail.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «ВГТУ», zvygincevaav@mail.ru
[4]Майор, ВУНЦ ВВС ВВА им. Проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, pomiguev.ias@yandex.ru
[5]Магистрант, ФГБОУ ВО «ВГТУ», arussu@mail.ru

Аннотация. В работе показано преимущество газогенераторов на твердом топливе с позиций стоимости, экологической безопасности и условий эксплуатации. Установлено, что интенсификация работ в направлении прямого преобразования теплоты в электричество обусловлена необходимостью обеспечения энергетикой районов удаленных от промышленных сетей энергоснабжения. Предложена разработанная авторами система обратной связи газогенератора, позволяющая оптимизировать работу газогенератора и варьировать мощность потребления в широком интервале значений. Системы, предлагаемые к использованию, содержат минимальное количество механически взаимодействующих элементов, для снижения числа отказов при эксплуатации оборудования.

Ключевые слова: дизель-генератор, газогенератор, термоэлектричество, термоэмиссия, система обратной связи, термохимические и электрохимические процессы.

Повышенный интерес к мобильным высокоэффективным источникам питания с прямым преобразованием тепловой энергии в электрическую превалирует в последние годы в связи с необходимостью освоения территорий крайнего севера нашей страны. Основные проблемы, которые возникают в этих районах, связаны как с ограничениями топливной ресурсной базы, так и с использованием традиционного вида топлива (дизтопливо и керосин) при низких значениях температуры окружающей среды.

Хранение больших запасов углеводородного топлива связано с определенными трудностями при выполнении требований безопасности к системам хранения. А применение традиционных мобильных бензо-дизель-генераторных установок сопряжено с трудностями при их запуске и эксплуатации, как в обычных условиях, так и в условиях низких температур. Некоторые решения, предложенные на базе дизель-генераторов несомненно полезны с точки зрения дальнейшего их развития: применение прямого преобразования теплоты в электричество на основе термоэлектрических элементов [1], применение биотоплива [2].

Наиболее полно предъявляемым требованиям удовлетворяет ранее известная система газогенерации, дополненная новыми системами регулирования теплового режима с использованием системы обратной связи, включающей в качестве основного элемента электрохимический преобразователь. Для загрузки в газогенератор используются брикеты с усовершенствованным составом твердого топлива [3]. Существует острая необходимость в применении нетрадиционных видов топлива, как безопасного

при изменении условий его хранения, так и не изменяющего своих характеристик при низких температурах. Такие системы позволяют применять энергетические установки в широком интервале низких температур, в том числе на пределе значений, которые могут достигать в северных широтах.

С другой стороны, в настоящее время повышенное внимание сосредоточено на работах по прямому получению электрической энергии из тепла без использования сложных многоступенчатых преобразований типа вода-пар-механический привод-электрогенератор [4-5].

Применение газогенератора в комплексе с системой обратной связи создает существенный экономический эффект. В табл. 1 приведены соответствующие данные для сравнения (в ценах на начало 2018г.).

Таблица – Сравнение видов топлива

	Теплотворная способность, МДж/кг	Стоимость тыс. руб./т
Дизельное топливо	43,0	39,00-43,00
Твёрдотопливные брикеты	20,5	1,20-1,50

Очевидно, что затраты при использовании брикетов на порядок меньше, чем при использовании дизельного топлива. Тем более что в качестве сырья для производства топливных брикетов можно применить отходы производств, то есть данное решение обладает ресурсом дополнительного «сверхэффекта», когда генерация энергии сопровождается утилизацией отходов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проектной части государственного задания № 9.11295.2018/10.11.

Литература

1. Atalay T., Köysal Y., Özdemir A.E., Özbaş E.Evaluation of energy efficiency of thermoelectric generator with two-phase thermo-syphon heat pipes and nano-particle fluids. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology. 2018. Т. 5. № 1. С. 5-12.

2. Algayyim S.J.M., Yusaf T., Wandel A.P., Hamawand I. Production and application of abe as a biofuel. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Т. 82. С. 1195-1214.

3. Koido K., Watanabe Y., Ishiyama T., Dowaki K., Nunoura T. Fate of sulphur during simultaneous gasification of lignin-slurry and removal of hydrogen sulphide over calcium aluminate supported nickel oxide catalyst. Journal of Cleaner Production. 2017. Т. 141. С. 568-579.

4. Ghashami M., Park K., Cho S.K. Near-field enhanced thermionic energy conversion for renewable energy recycling. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. 2017. Т. 198. С. 59-67.

5. Пат. 2652241 Российская Федерация, МПК C10J 3/00 Комплекс энергогенерирующий/ А.В.Помигуев, И.К.Шуклин, Шалимов Ю.Н., Руссу А.В. – №2017127441; Бюл. № 12 25.04.2018. – 7 с.: ил.

УДК: 621.311, 621.382

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРОГОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ТРАНЗИСТОРОВ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ КМОП ИНВЕРТОРА

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, ст. преп., katy-tokra@yandex.ru
[3]Инженер ВЗПП-С, xs3dmax@gmail.com
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В работе проводится моделирование токов, протекающих в динамическом режиме работы КМОП инвертора. По результатам моделирования можно оценить эффективность энергосбережения простейшей логической схемы в зависимости от пороговых напряжений n- и p-канальных транзисторов в составе КМОП инвертора.

Ключевые слова: пороговое напряжение, токи утечки, оптимизация энергопотребления.

Основные электрические потери в КМОП инверторе происходят при переключении инвертора из состояния по выходу логической “1” в логический “0” и обратно. Механизм энергетических потерь связан с тем, что в определенный интервал времени между выводами питания и земли образуется канал с малым сопротивлением, через который протекает большой ток и на котором рассеивается тепло. Происходит это в момент, когда n-канальный транзистор не до конца закрыт, а p-канальный транзистор уже открывается, и наоборот. Очевидно, что чем быстрее открывается один транзистор и закрывается другой, тем меньше интервал времени, в котором протекает большой пиковый ток между питанием и землей, и тем меньшее количество электроэнергии рассеивается на тепло. Уменьшение времени переключения и, следовательно, минимизация всплесков потребления тока являются важным направлением оптимизации конструкции инвертора[1].

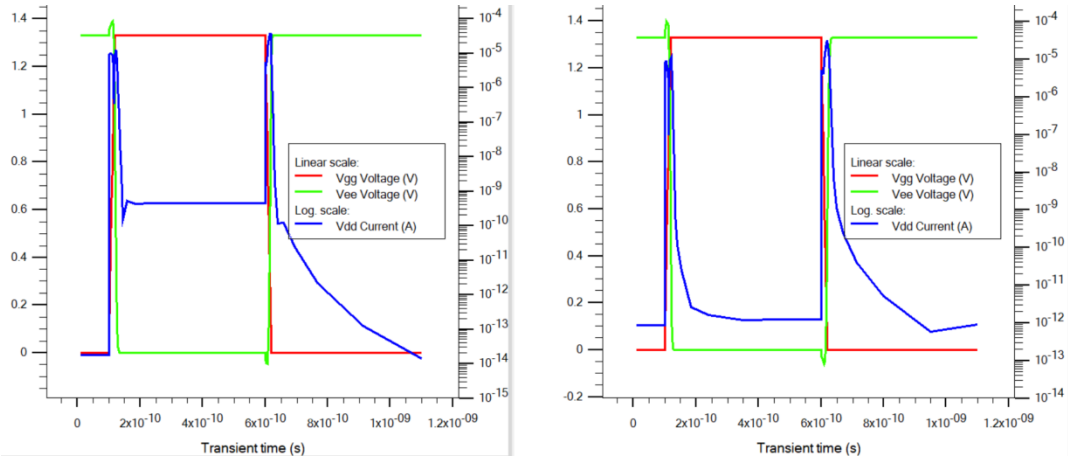
В технологическом САПР моделировались и сравнивались инверторы с тремя видами настройки параметров канала транзисторов. Пороговые напряжения полевых транзисторов в составе инвертора оптимизировались с помощью подлегирования канала. Моделировалась ионная имплантация фосфора с концентрацией $0.65/1.6\times10^{-13}$ см$^{-2}$ и энергией 2 кэВ. Доза легирования была подобрана экспериментально.

Изначально оба транзистора имеют разное пороговое напряжение, но при легировании пороговое напряжение одного транзистора растет (nmos) другого - уменьшается (pmos). В определенный момент времени пороговые напряжения становятся равны, транзисторы в КМОП паре сбалансированы.

При переключении сбалансированной пары транзисторов их открытие и закрытие происходит синхронно. При этом токи, протекающие через инвертор (рис. 1), имеют одинаковые значения как в момент переключения из 1 в 0, так и в момент переключения из 0 в 1[2].

Если не проводить подстройку пороговых напряжений, в одну из операций будет протекать ток выше, чем в сбалансированном состоянии.

Поскольку выделяемая мощность пропорциональна I^2, задача минимизации потребляемой мощности сводится к уменьшению токов, протекающих в инверторе при прочих равных условиях[3].



(а) (б)

Рис. 1. Токи Vdd Current, протекающие в КМОП инверторе при переключении из логического «0» в «1» и наоборот; напряжения, подаваемые на вход инвертора Vgg, и снимаемые с выхода Vee для неоптимизированного (а) и оптимизированного (б) инверторов.

Красная и зеленая линии на рисунке соответствуют подаваемому на вход инвертора напряжению Vgg и снимаемому с выхода напряжению Vee.

В случае несбалансированной схемы (рис.1,а) токи после переключения из «0» в «1» и из «1» в «0» имеют различные стабильные уровни. Из-за квадратичной зависимости мощности от тока ($P \sim I^2$) эти режимы являются худшими с точки зрения энергоэффективности инвертора.

В оптимизированном приборе (рис.1.б) уровни токов синхронизированы. Этот режим характерен для оптимальной работы инвертора с точки зрения энергоэффективной.

Литература

1. Жан М. Рабаи Цифровые интегральные схемы 2-е издание / Рабаи Жан М., Чандракасан Ананта, Николич Боривож — Пер. с англ. А.В. Назаренко // М.: Вильямс 2007. — 912 с.

2. R.J Baker “CMOS design, layout and simulation”/ Baker R.J., Li H.W., Boyce D. E. // IEEE Press, 1998, Chapters 3 and 4

3. B. Razavi “Design of analog CMOS integrated circuits” // McGraw-Hill. - 2001.

УДК 532.542.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ LES ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ ПРИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОМ ДАВЛЕНИИ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОБОГРЕВАЕМОЙ ТРУБЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДЕКАРТОВЫХ СЕТОК С ЛОКАЛЬНЫМ ДРОБЛЕНИЕМ

В.И. Артемов[1], М.В. Макаров[2], К.Б. Минко[3], Г.Г. Яньков[4]
[1]Канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр., viartemov@yandex.ru
[2]Ст. науч. сотр, makarovmv2000@yandex.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, minkokb@gmail.com
[4]Д-р техн. наук, профессор, YankovGG@mail.ru
Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия

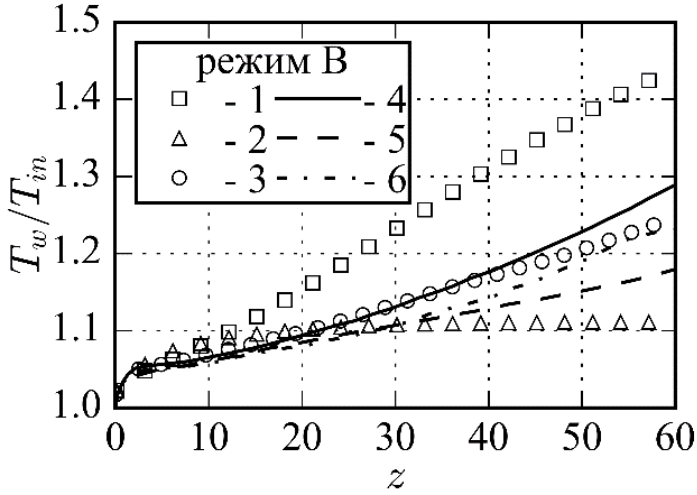
Аннотация. В данной работе представлены результаты численного моделирования течения CO_2 сверхкритического давления (СКД) в вертикальной обогреваемой трубе с использованием метода крупных вихрей (LES) с подсеточной (SGS) моделью Смагоринского. С целью верификации предложенной модели привлекались данные прямого численного моделирования (DNS). Для моделирования использовался авторский CFD код ANES.

Ключевые слова: моделирование турбулентности, метод крупных вихрей, диоксид углерода, сверхкритическое давление, неструктурированные сетки.

В последние годы активно обсуждается вопрос о переходе на сверхкритические давления в атомной энергетике. Для обоснования безопасности АЭС нового поколения весьма актуально надежное моделирование процессов гидродинамики и теплообмена при течении теплоносителей СКД в различных режимных условиях. Для течений сред СКД модели турбулентности, основанные на осредненных уравнениях Рейнольдса (RANS модели), не позволяют получить достоверные данные для режимов с сильным ухудшением теплоотдачи, поэтому наиболее перспективными представляются DNS и LES подходы, а также гибридные методы [1].

В работах [2-4] приводятся результаты DNS моделирования течения CO_2 СКД в вертикальной обогреваемой трубе для нескольких режимов. При этом наблюдается заметное различие результатов этих работ, причины которых не выяснены исчерпывающим образом. В настоящей работе анализируются два режима из работы [2]. Использовалась стандартная для LES метода система безразмерных уравнений сохранения массы, импульса и энергии [5]. Подсеточная вязкость рассчитывалась по модели Смагоринского с демпфирующей функцией Пиомелли. Применялась декартовая неструктурированная сетка с локальным дроблением. Численное моделирование выполнено с использованием авторского CFD кода ANES [6]. Более подробно особенности метода описаны в [7]. Для примера эти же режимы были смоделированы с использованием двух RANS моделей турбулентности, реализованных в коде ANES: k-ε модели Лаундера-Шарма (LS) и модели Ментера (SST). На рисунке 1 показано сравнение полученных в

настоящей работе зависимостей безразмерной осредненной температуры стенки трубы от продольной координаты для режимов B и C с данными DNS.



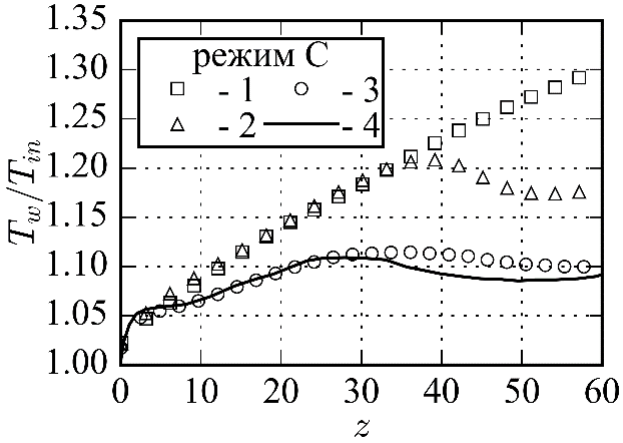


Рис. Изменение безразмерной осредненной температуры стенки трубы по длине Результаты настоящей работы: 1–LS, 2–SST, 3–LES; данные DNS: 4-[4],5-[5], 6-[6]

Представленные данные свидетельствуют о вполне удовлетворительном описании методом LES процессов теплообмена в условиях сильного влияния свободной конвекции и существенного влияния переменности свойств теплоносителя. Напротив, результаты RANS моделирования следует признать неудовлетворительными. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № № 16-08-00981-а, №17-08-01007-а

Литература

1. Kim S. H. Numerical Simulation of the Vertical Upward Flow of Water in a Heated Tube at Supercritical Pressure // Kim S. H., Y.I. Kim, Y.Y. Bae, and B.H. Cho // presented at ICAPP’04 (Pittsburg) - Juny 13-17. 2004.

2. Bae J. H. Direct numerical simulation of turbulent supercritical flows with heat transfer / J. H. Bae, J. Y. Yoo, H. Cho // Physics of Fluid. - 2005. - V. 17: P. 105104-1-105104-24.

3. Nemati H. Mean statistics of a heated turbulent pipe flow at supercritical pressure / Nemati H., Patel A., Boersma B. J. and Pecnic R. // Int. J. Heat Mass Transfer, - 2015. - V. 83. - P. 741 - 52.

4. Yan J. “Direct numerical simulation of convective heat transfer in a vertical pipe for supercritical pressure CO2 / J. Yan, W. Wang, P. Jiang, S. He // presented at the 16th International Heat Transfer Conference, Beijing, China, August 10-15, 2018.

5. Sagaut P. Large Eddy Simulation for Incompressible Flows// Berlin: Springer Heidelberg - 2002. - 575 p.

6. Код ANES [Электронный ресурс]. URL: http://anes.ch12655.tmweb.ru/ (дата обращения: 10.10.2018).

7. Artemov, V. I. "Large eddy simulations of air flow in a vertical heated pipe using unstructured Cartesian grids with local refinement / Artemov, V. I., M. V. Makarov, K. B. Minko, and G. G. Yankov. // Journal of Physics: Conference Series. - 2017. V. 891(1): 012087.

УДК 621.313.333

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ГЕНЕРАТОРА С НЕСИММЕТРИЕЙ ФАЗНЫХ КОНТУРОВ СТАТОРА

И.В. Алферов[1], Г.В. Глазырин[2], Н.А. Митрофанов[3]
[1]Магистр, alferov.igor@inbox.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, glazyring@gmail.com
[3]Аспирант, n.a.mitrofanov27@gmail.com
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

Аннотация. Рассматриваются переходные процессы синхронной машины, работающей на нагрузку со схемой соединения «треугольник». Предложен метод численного моделирования переходных процессов синхронной машины с возможностью учёта несимметрии обмотки статора.

Ключевые слова: синхронная машина, переходной процесс, электроэнергетическая система, дифференциальные уравнения, численный метод

В результате исследования выведена система дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы трехфазной синхронной машины с учетом индивидуальных активных сопротивлений и индуктивностей обмоток. Так же произведено сравнение результатов моделирования переходных процессов синхронной машины, выполненного посредством библиотеки блоков SimPowerSystems, входящей в состав средыMATLABSimulink,с результатами, полученными с помощью предложенного метода.В работерассмотрен случайработы генератора на автономную нагрузку, подключенную по схеме «треугольник». В основу расчетов заложен алгоритм, предложенный [3]

В качестве примера для сравнения моделей выполнены расчеты переходных процессов генератора ТВВ-200-2АУ3 с полной симметрией фазных обмоток. Работа генератора рассматривается нескольких режимах: в нормальном установившемся режиме под нагрузкой, в режиме холостого хода и трехфазного короткого замыкание на выводах генератора.В статье рассмотрен случай работы генератора на автономную нагрузку, подключенную по схеме «треугольник» рисунок 1.

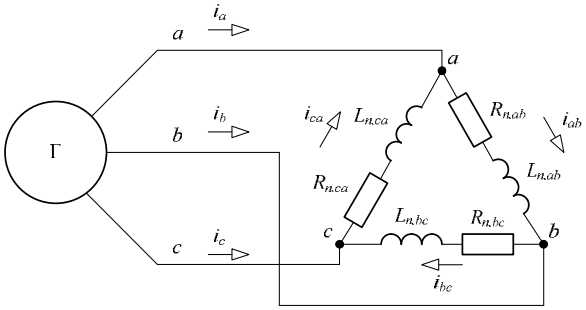


Рис.1. Схема подключения нагрузки

Результаты расчетов трехфазного короткого замыкания на выводах генератора при моделировании численным методом и в среде Simulink приведены на рисунках 2, 3.

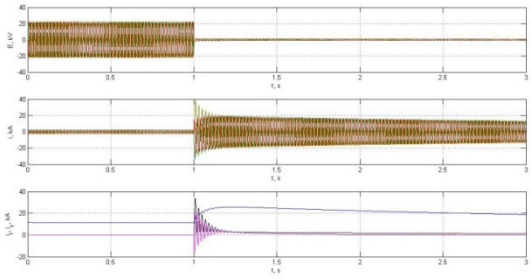


Рис.2. Короткое замыкание на выводах генератора причисленном методом моделирования

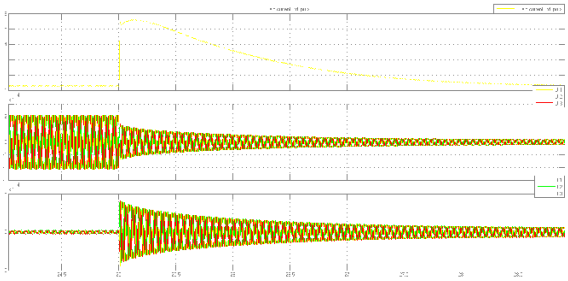


Рис.3. Короткое замыкание на выводах генератора в среде Simulink

Из сравнения полученных результатов при трехфазном коротком замыкании на выводах генератора можно увидеть, что при численном методе моделирования амплитудное значение ударного тока короткого замыкания составляет $i_y = 38.4$ кА . При моделировании генератора в среде MATLABSimulink$i_y = 40.9$ кА.

Полученные в ходе исследования результаты сравнения расчетного метода и модели в среде MATLABSimulink при работе с симметричными фазными контурами статора и без учета насыщения магнитной системы показали достоверность предлагаемого численного метода моделирования.Реализованная математическая модель дает возможность рассматривать влияние несимметрии фазных контуров статора и насыщения магнитной системы при моделировании синхронной машины.В перспективе метод позволит использовать результаты расчетов переходных процессов синхронной машины для анализа работы и создания новых алгоритмов релейной защиты генераторов электростанций.

Литература

1. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1970, – 518 с.

2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink. –М.: ДМК Пресс, 2008. –288 с.

3. Глазырин Г. В. Моделирование переходных процессов синхронной машины с несимметрией фазных обмоток статора: Вестник МЭИ.–2017. –№5. – С. 34–39.

УДК 620.93, 532

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ЛОПАТОК РАБОЧЕГО КОЛЕСА ДЕТАНДЕРА ДЛЯ ОРЦ-УСТАНОВКИ

А.З. Даминов[1], И.Н. Соломин[2], Э.Ф. Закиров[3]
[1]Канд. техн. наук, вед. науч. сотр, daminov@list.ru
[1]Институт энергетики и перспективных технологий ФГБУН ФИЦ КазНЦ РАН, Казань,
[2]ЗАО «НПП «Компрессор», Казань,solil1@yandex.ru
[3]Казань, магистрант, emil2507@yandex.ru
[3]ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»,

Аннотация. В данной статье описаны основные процедуры для моделирования лопаток рабочего колеса детандера для ОРЦ-установки, работающей в качестве рабочего тела изобутан и использующейся для выработки электроэнергии с использованием теплоты прямого теплоносителя с температурой 115 ‘С районных и квартальных отопительных котельных.

Ключевые слова: математическая модель, газодинамический процесс, детандер, ОРЦ-установка.

Для проектирования рабочего колеса в части профиля лопаток оптимальным вариантом, с точки зрения простоты и точности, является двумерное моделирование потока рабочего тела (газа) с радиальной и осевой координатами.Для описания состояния газа в точках вдоль линий используют различные зависимости, в том числе Редлиха–Квонга и Пенга–Робинсона [1-4]. Зависимость Пенга–Робинсона для процессов в точках, близких к линии насыщения пара (рис.1), выглядит следующим образом:

$$p = \frac{RT}{V - \mathrm{b}} - \frac{\mathrm{a}(T)}{V^2 - 2V\mathrm{b} + \mathrm{b}^2}, \tag{1}$$

где p – абсолютное давление газа; V – удельный объем; T – абсолютная температура; R – газовая постоянная; a, b – коэффициенты, зависящие от параметров критической точки:

$$\mathrm{b} = \frac{0{,}08664RT_c}{p_c},\ \mathrm{a}(T) = \mathrm{a}_0\left(T/T_c\right)^{-n},\ \mathrm{a}_0 = \frac{0{,}42747R^2T_c^2}{p_c},$$

$n = 0{,}4986 + 1{,}1735\omega + 0{,}4754\omega^2$, ω – периферийный коэффициент.

Для моделирования состояния газа зависимость Пенга-Робинсона дополняем функцией изобарной теплоемкости от температуры в виде полинома третьей степени:

$$C_p = \sum_{i=0}^{3} C_{pi}T^i, \tag{2}$$

где C_{pi}– коэффициенты полинома, которые определяются аппроксимацией фактических параметров при атмосферном давлении.

Функция изобарной теплоемкости изобутана с определенными коэффициентами:

$$C_p = 1,6 + 0.0011T + 0,0001T^2 + 4 \cdot 10^{-9} T^3 . \quad (3)$$

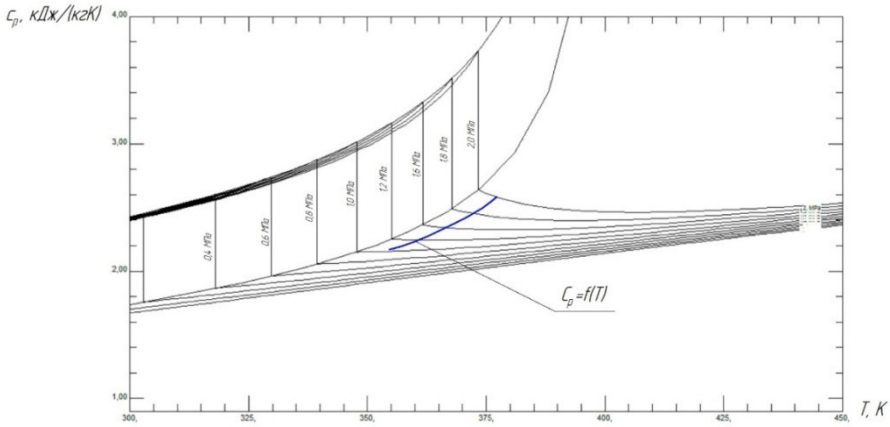


Рис. 1. График зависимости изобарной теплоемкости изобутана от температуры

Параметры газа до и после детандера, в т.ч. в граничных точках рабочего колеса определяются из термодинамического расчета цикла ОРЦ. Процесс течения газа в детандере представлен на рис. 2.

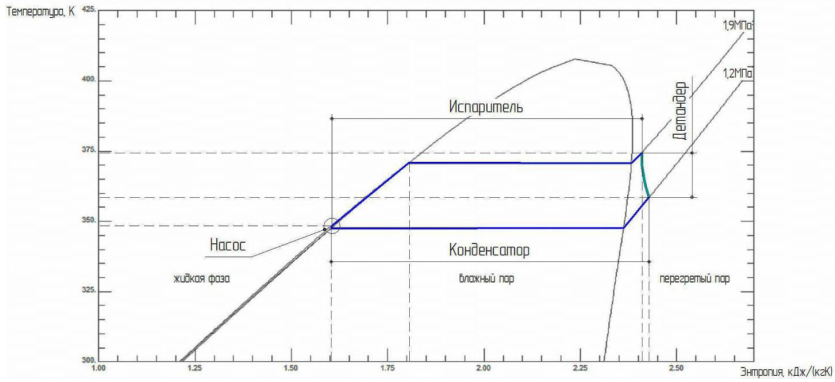


Рис.2. Диаграмма процессов ОРЦ-установки

Отклонение линии детандера от изоэнтропии на диаграмме соответствует эффективности машины (КПД детандера).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-48-160033».

Литература

1. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Р. Свойства газов и жидкостей М.: Химия, 1982. 592 с.

2. Уэйлес С. Фазовые равновесия в химической технологии. М.: Мир,1989. Ч. 1. 304 с., Ч. 2. 360 с.

3. Redlich O., Kwong J.N.S. On the Thermodynamics of Solutions. An Equation of State // Fugacities of Gaseous Solutions: Chemical Reviews. 1949. № 1 (44). P. 233-244.

4. Peng D.Y., Robinson D.B.A New Two-Constant Equation of State // Industrial and Engineering Chemistry. Fundamentals, 1976. V. 15. P. 59–64.59-64.

УДК 537.322

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ANSYS MECHANICAL И ANSYS DESIGNXPLORER

Д.Н. Галдин[1], И.Г. Дроздов[2], А.В. Кретинин[3], Г.И. Скоморохов[4], Д.П. Шматов[5]
[1]Канд. техн. наук, ст. преп., dmgaldin@yandex.ru
[2]Д-р техн. наук, проректор по научной работе, chunikhina1987@mail.ru
[3]Д-р техн. наук, профессор, avk-vrn@mail.ru
[4]Д-р техн. наук, профессор, rd-vgtu@mail.ru
[5]Канд. техн. наук, доцент, shmdm@ya.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В данной работе представлено описание численной модели, а также результаты моделирования элемента термоэлектрической генераторной батареи. Выполнен анализ эффективности исследуемого образца в зависимости от сопротивления внешней нагрузки, а также от градиента температуры между «холодным» и «горячим» спаем полупроводниковых элементов.

Ключевые слова: термоэлектрический генератор, численное моделирование, ТЭГ

Современные достижения материаловедения позволяют производить термоэлектрические генераторы (ТЭГ). Подобные устройства обладают уникальными преимуществами по сравнению с другими типами систем для генерации электроэнергии. Они являются объектом исследований для многих научных коллективов[1-3] в том числе и с использованием численного метода [4, 5], который и был использован в данной работе с использованием коммерческого программного комплекса ANSYS.

Исследования проводились для термоэлектрика состава $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_3$ – p-типа проводимости, полученного при окислении холоднопресованной заготовки с исходной пористостью 8,56% при температуре 350±5ºС и степенью окисления 0,20 %. Из исходной геометрии анализируемой термоэлектрической батареи был вычленен один сегмент, представляющий собой спай двух разнородных полупроводниковых элементов, для которого задавались физические свойства материалов и граничные условия. На основе геометрической модели сегмента формировалась сеточная модель, содержащая 149600 элементов.

На первом этапе проводилось исследование влияния величины сопротивления внешней нагрузки на эффективность модуля. Исходным значением была величина 1 Ом, с последующим нахождениям точки оптимума при 0,0032 Ом. При этом КПД изменилось с 0,07 до 5,44 % при заданных граничных условиях. Полученные результаты свидетельствуют о том, что эффективность ТЭГ существенно зависит от величины внешней нагрузки, поэтому при проектировании на данный параметр следует обращать особое внимание.

Важным условием оптимального функционирования ТЭГ является поддержание постоянного значения температур на холодном и горячем спае полупроводниковых элементов. Однако ввиду изменяющихся условий окружающей среды подобная задача значительно усложняется и требует разработки более производительных систем термостабилизации. Тем не менее, существуют такие диапазоны температур, при которых будет достигнут требуемый в техническом задании на генератор КПД, но с технической точки зрения для данных условий эксплуатации теплообменные системы более робастные. Был выполнен анализ ТЭГ при различных температурах холодных и горячих спаев. В качестве инструмента для анализа использовался модуль ANSYS DesignXplorer. Формировался план эксперимента, в котором задавались следующие температурные диапазоны: температура горячего контакта от 240 до 320°С, температура холодного контакта от 40 до 100°С. В качестве аппроксимационной модели использовался полный квадратичный полином. С использованием полученной для термоэлектрического элемента поверхности отклика выполнялся поиск 20 различных вариантов комбинаций граничных условий, при которых достигаются искомые значения КПД сегмента термоэлектрического генератора.

Помимо исследования температурных диапазонов так же выполнялся анализ изменения характеристик термоэлектрического элемента при различных свойствах теплопроводности клеевых слоёв, количество которых в данном образце равняется четырём. При планировании эксперимента для каждого клеевого слоя его теплопроводность задавалась в диапазоне от 0,1 до 2 Вт/(м·°С). В качестве основных контролируемых параметров выступали тепловые потоки на охлаждаемой и нагреваемой поверхности элемента. Были получены зависимости, позволяющие прогнозировать пределы отклонения КПД под влиянием неоднородности физических свойств клеевых слоёв

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 (Договор № 03.G25.31.0246)

Литература

1. Tritt T.M. Thermoelectric materials, phenomena, and applications: a bird’s eye view / MRS Bulletin. -2006. – V. 31(3). -P. 188-198.

2. Snyder, G. J. Small thermoelectric generators // Electrochemical Society Interface. -2008. - V.17(3). -P. 54-56.

3. Zhao H. High thermoelectric performance of MgAgSb-based materials / H. Zhao et al. // Nano Energy. -2014. - V.7. -P. 97–103.

4. Chen W.H. Modeling and simulation for the design of thermal-concentrated solar thermoelectric generator / W.H. Chen, C.C. Wang, C.I. Hung, C.C. Yang, R.C. Juang// Energy. -2014. –V.64. –P.287–297.

5. Kossyvakis D.N. Computational and experimental analysis of a commercially available Seebeck module / D.N. Kossyvakis, C.G. Vossou, C.G. Provatidis, E.V. Hristoforou // Renew Energy. -2015. –V.74. –P. 1–10.

УДК: 536.24

МОДЕЛЬ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ПРОТОЧНОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ С ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ОХЛАЖДАЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ

И.Л. Батаронов[1], А.В. Кретинин[2], В.Ф. Селиванов[3], Е.Е. Спицына[4], Т.А. Надеина[5]
[1]Д-р физ.-мат. наук, профессор, i-bataronov@mail.ru
[2]Д-р физ.-мат. наук, профессор, avk-vrn@mail.ru
[3]Д-р техн. наук, профессор, VF_Selivanov@mail.ru
[4]Ассистент, ngotvgtu@mail.ru
[5]Канд. физ.-мат. наук, доцент, vmfmm@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В пренебрежении кондуктивным переносом в теплоносителях и с использованием закона Ньютона-Рихмана сформулирована модель теплопередачи в проточном теплообменнике с термоэлектрическим охлаждающим элементом в режиме противотока. Исследованием модели установлено, что холодопроизводительность теплообменника меняется по ходу потока теплоносителя и с увеличением плотности электрического тока становится отрицательной на начальном участке теплообмена.

Ключевые слова: теплопередача, термоэлектрический элемент, проточный теплообменник.

Термоэлектрические охладители (ТЕС) широко используются в различных термопреобразователях [1-3]. Эффективное функционирование ТЕС в составе охлаждающего устройства нуждается в специальных методах повышения его производительности: усиление теплоотдачи с поверхностей ТЕС, оптимизации конструкции, оптимизации тепловых режимов работы ТЕС [4].

Эти методы широко рассматривалась в литературе [2,4]. Исследовано также влияние теплофизических характеристик ТЕС и теплопередающих сред на динамические характеристики устройства. Вместе с тем, обычно рассматривается задача теплопереноса с участием ТЕС между неподвижными средами в приближении закона Ньютона-Рихмана. Однако в движущихся теплонесущих средах могут появляться специфические закономерности, поэтому требуется развитие отдельной модели для теплопередачи в проточном теплообменнике с ТЭС.

При описании теплопереноса в теплоносителях мы будем пренебрегать кондуктивным слагаемым. Тогда при использовании закона Ньютона-Рихмана с учетом выбранного направления потоков, после ряда преобразований в итоге получаем систему уравнений модели в нормальной форме:

$$\begin{cases} \dfrac{d\theta_1}{dy} = -\nu_1\left[\left(\zeta+1-\xi_2\right)\theta_1 - \left(1-\xi_2+\zeta\xi_2\right)\theta_2 - \dfrac{\zeta^2}{2z}\left(1+\xi_2\right)\right] \\ \dfrac{d\theta_2}{dy} = -\nu_2\left[\left(1-\xi_1-\zeta\xi_2\right)\theta_1 - \left(\zeta-1+\xi_1\right)\theta_2 + \dfrac{\zeta^2}{2z}\left(1+\xi_1\right)\right] \end{cases}, \qquad (1)$$

где θ_1, θ_2 –температуры теплоносителей;
v_1 и v_2 – безразмерные нормированные коэффициенты;
ζ, ζ_1 и ζ_2 – безразмерные коэффициенты теплопередачи.
Решение системы (1) ищется при граничных условиях

$$\theta_1(0) = 1 + \delta, \quad \theta_2(l) = 1 - \delta \tag{2}$$

Здесь δ – величина относительного отклонения начальных температур теплоносителей от среднего значения, выбранного за масштаб температуры, z – параметр ZT_0 термоэлементов [2].

Система уравнений (1) отличается от классической модели теплообмена наличием источников тепла в теплопередающем слое. Эти источники имеют постоянную величину по длине ТЕС.

Предложенная модель показала, что процесс теплопередачи в проточном теплообменнике существенно отличается от стационарных условий, в частности, появлением участков отрицательной холодопроизводительности. Полученное аналитическое решение модели позволяет проводить оптимизацию режима работы ТЕС, а также проектировать значения параметров, обеспечивающих выполнение требуемых технических условий для теплообменника. Отметим, что обобщение модели на прямоточную схему осуществляется просто заменой знака в правой части второго уравнения в (1).

В то же время, модель использует интегральное значение термического сопротивления и не учитывает наличие начального участка с повышенным уровнем коэффициента теплоотдачи. Введение такого коэффициента, зависящего от координаты x, возможно в данной модели. При этом преобразование пространственной координаты становится нелинейным, и исключается возможность аналитического решения системы (1). Исследование в такой модели возможно только численными методами.

Литература

1. Martinivsky, V. S. 1979. Cycles, Schemes and Characteristics of Thermotransformers. Moscow: Energiya.

2. Anatichuk, L. I. 1979. Thermoelements and Thermoelectric Devices. Kiev: Naukova Dumka.

3. Zebarjadi, M., K. Esfarjani, M. S. Dresselhaus, Z. F. Ren, and G. Chen. 2012. “Perspectives on thermoelectrics: from fundamentals to device applications,” Energy & Environmental Science 5(1): 5147–5162.

4. Melnikov, A. A., A. M. Phiri, I. V. Tarasova, and N. V. Batrameev. 2017. “Modeling of Qmax mode of a thermoelectric cooler taking into account thermal resistances on cool and hot side,” Semiconductors 51(7): 896–899.

УДК: 681.122

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ТЕРМОКОРРЕКЦИИ ДИАФРАГМЕННЫХ СЧЕТЧИКОВ ГАЗА

В.А. Бакаев[1], В.А. Ильичев[2], Р.Ю. Ильясов[3], А.М. Сушков[4]
[1]Ведущий инженер-конструктор, vbakaev@priborvrn.ru
[2]Главный конструктор, канд. техн. наук, vilichev@priborvrn.ru
[3]Генеральный директор, epribor@priborvrn.ru
[4]Ведущий инженер-конструктор, канд. физ.-мат. наук, asushkov@priborvrn.ru
АО НПО «Электроприбор-Воронеж»

Аннотация. В работе представлены особенности разработки мембранных газовых счетчиков с механическим термокорректором

Ключевые слова: диафрагменные счетчики газа, биметаллические термокорректоры.

В настоящее время потребителям природного бытового газа предлагается довольно широкий выбор приборов учета его расхода. Счетчики газа без устройства термокомпенсации, несмотря на привлекательную стоимость, имеют существенную погрешность в показателях объемного расхода вследствие отсутствия учета температурного изменения объема проходящего по трубопроводу газа. Согласно проведенным исследованиям актуальные на сегодняшний день методы измерения расхода газа бытовыми счетчиками, не имеющими устройства термокоррекции (МИ 2721-2009 [1]), основанные на расчете температурных коэффициентов, применяемых к показаниям установленных вне помещений мембранных счетчиков, с учетом климатических условий того или иного региона, также нуждаются в корректировке. Систематическая погрешность измерений может доходить до 10 %, особенно при низких температурах [2]. Поэтому очевидным решением вопроса наиболее точного учета объемного расхода является установка счетчика газа с термокорректором, что отражено в ГОСТ Р 8.915-2016. К конструктивно простым и надежным видам счетчика газа относится диафрагменный (мембранный) счетчик с термобиметаллической пластиной для термокоррекции (рис. 1).

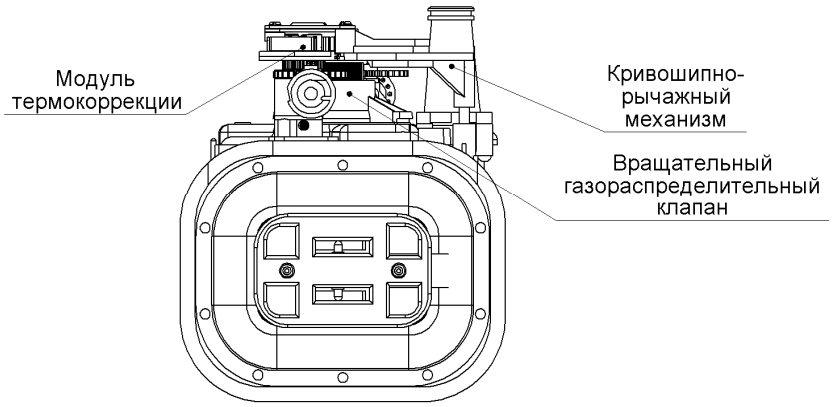


Рис.1. Схема диафрагменного счетчика газа с вращательным газорасперределительным клапаном и модулем термокоррекции

В основном конструкции диафрагменных счетчиков отличаются устройствами клапанов-газораспределителей: шиберного типа, либо вращательного типа, среди которых наиболее надежной и простой является конструкция с вращательным газораспределительным клапаном.

Проблемой точной настройки и корректной работы счетчика (особенно при малом расходе и температурах ниже 0 градусов по Цельсию) является выбор марки материала, геометрической формы термобиметаллического элемента – термокорректора и конструктивной его организации в составе счетчика. Работа термокорректора основана на свойстве изменять циклический объем счетчика при изменении температуры посредством изменения параметров шарнирно-рычажного механизма.

Как правило, в современных счетчиках газа в качестве элемента, корректирующего циклический объем, используют термобиметаллическую пластину в форме спирали (рис. 2).

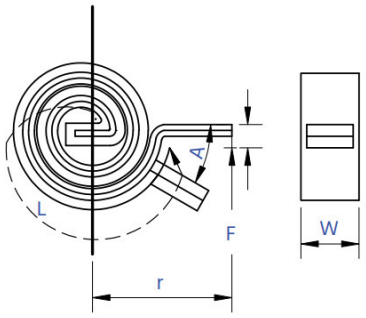


Рис. 2. Спиральная биметаллическая пластина

Однако, применение в счетчиках с вращательным клапаном спиральных термокорректоров, имеющих относительно большую массу, связано с рядом негативных эффектов, таких как повышение погрешности измерений и возможная остановка при низких температурах, обусловленных увеличением сил трения вращающихся элементов конструкции. Поэтому разработка счетчика газа с вращательным газораспределительным клапаном и инновационным модулем термокоррекции является актуальной научно-технической задачей.

Литература

1. МИ 2721-2005 Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Количество (объем) газа. Типовая методика выполнения измерений мембранными счетчиками газа без температурной компенсации.

2. Дубров Ю.В., Хабибулин А.М. "Систематическая погрешность при измерении расхода газа бытовыми счетчиками без устройства термокоррекции" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://metrob.ru. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 26.09.2018).

УДК: 544.643.076

НЕПЛАТИНОВЫЕ КАТОДНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ЩЕЛОЧНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ

Е.А. Киселева[1], А.З. Жук, Б.В. Клейменов, В.П. Захаров
[1]Канд. техн. наук, kanna787@mail.ru
ФГБУН «Объединенный институт высоких температур РАН » (ОИВТ РАН)

Аннотация. В данной работе представлены синтезированные катализаторы на основе полиакрилонитрильных пирополимеров для реакции восстановления кислорода. Разработаны газодиффузионные катоды с использованием этих катализаторов, которые обеспечивают удельную плотность тока около 0,4 А / см^2 при катодной поляризации ниже 0,25 В. Удельная мощность лабораторного стека топливных элементов с щелочным электролитом составляет более 350 мВт / см^2.

Ключевые слова: катализаторы восстановления кислорода, катоды, топливные элементы.

Перспективным направлением катализа реакции восстановления кислорода является использование катализаторов и пирокатализаторов на основе N4-комплексов: фталоцианинов, тетраазааннуленов, порфиринов [1,2], показавшие высокую каталитическую активность и химическую стабильность в щелочной среде.

Целью данной работы является создание и исследование неплатиновых катодных катализаторов для топливных элементов с щелочным электролитом на основе N-допированных углеродных материалов. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: 1) синтез катализаторов; 2) исследование каталитических свойств в реакции электровосстановления O2 методом вращающегося дискового электрода; 3) изучение пористой структуры катализаторов, активных слоев, газодиффузионных слоев; 4) испытание газодиффузионных катодов в полуэлементе и исследование различных факторов на характеристики катодов; 5) испытание Al-воздушных элементов.

Трехслойный газодиффузионный катод состоит из никелевой сетки, запорного слоя на основе сажи Vulcan XC72 и активного слоя на базе катализатора 15% ТМФПСо/Vulcan XC72. Катализатор синтезирован пиролизом ТМФПСо (тетра-(п-метоксифенил)-порфирин кобальта), адсорбированного на Vulcan XC72, при 850° С в атмосфере аргона в течение 1 часа. Активный слой получен каландрированием смеси катализатор/фторопласт (9:1 по массе), прессованием с никелевой сеткой и запорным слоем, имеющим в своем составе 35% фторопласта.

Исследование активности катализаторов в реакции восстановления O2 проводили в трехэлектродной электрохимической ячейке методом вращающегося дискового электрода в 1 М КОН при 60º С. Скорость развертки потенциала 5 мВ/с, скорость вращения электрода 1580 об/мин, количество катализатора на электроде 200 мкг/см^2.

Испытание катода проводилось в трехэлектродной ячейке. В качестве электрода сравнения использовался ртутноокисный электрод (Hg|HgO), а в качестве электролита 8 М NaOH. На катод подавался воздух, очищенный от CO_2. Поляризационные измерения проводили потенциодинамическим методом, скорость развертки потенциала 1 мВ/с. Транзиент потенциала измеряли гальваностатическим методом при плотности тока 200 мА/см^2. Значения потенциалов приведены в шкале нормального водородного электрода с учетом pH и температуры. Испытание лабораторного макета Al-воздушного элемента проводили в специальной ячейке. Материалом анода служил сплав Al-In (А99 + 0,45% In), более устойчивый в щелочном электролите по сравнению с Al. В состав 8 М NaOH вводили станнат натрия Na_2SnO_3 (0,1 М) с целью снижения химической коррозии сплава. Подогретый до 60º С, электролит непрерывно циркулировал через рабочее пространство ячейки, ширина которого составляла 3 мм. Геометрическая поверхность электродов составляла 8 см^2.

Предварительные испытания лабораторных образцов щелочных алюминий-воздушных элементов (рис. 1) с разработанными нами газодиффузионными катодами на основе полиакрилонитрила показали, что плотность мощности (260 мВт/см^2) сопоставима с полученными ранее характеристиками для катодов на основе продуктов пиролиза порфирина Co (300-350 мВт/см^2), и превышает значения, опубликованные в литературе 90 мВт/см2 [3,4].

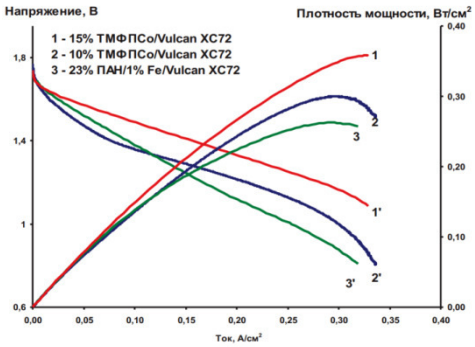


Рис. Вольтамперные (1’-3’) и ватт-амперные (1-3) характеристики щелочных элементов Al-воздух с неплатиновыми катодными катализаторами на основе ПАН и ТМФПСо

Литература

1. Zhu A.L., Wang H., Qu W. et al. // J. Power Sources. -2010. -V. 195.- P. 5587-5595.

2. Davydova E.S., Atamanyuk I.N., Ilyukhin A.S. et al. // J. Power Sources. -2016. -V. 306. -P. 329-336.

3. Egan D.R., Ponce de Leon C., Wood R.J.K. et al. // J. Power Sources. -2013. -V. 236. -P. 293-310.

4. Zein El Abedin S., Saleh A.O. // J. Appl. Electrochem. -2004. -V. 34. -P. 331-335.

УДК: 621.311

НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАХОЖДЕНИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В.И. Бирюлин[1], А.Н. Горлов[2], Д.В. Куделина[3], О.М. Ларин[4], А.С. Чернышев[5], А.О. Гладышкин[6]
[1]Канд. техн. наук, доцент, bir1956@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, alexjulia17@yandex.ru
[3]Канд. техн. наук, ст. преп., mary_joy@mail.ru
[4]Канд. техн. наук, доцент, larin77@mail.ru
[5]Канд. техн. наук, доцент, zagagulyna@mail.ru
[6]Канд. техн. наук, доцент, kafedra.es@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы применения математического аппарата нечеткой логики для оценки эффективности использования топливно-энергетических ресурсов. Показано, что использование систем нечеткого вывода в этих случаях позволяет получить более достоверную и полную картину в области потребления энергоресурсов различными промышленными потребителями.

Ключевые слова: региональная энергетическая система, энергоэффективность, топливно-энергетические ресурсы, неопределенность информации, нечеткая логика, математическая модель.

Региональный топливно-энергетический комплекс это сложная территориально ограниченная многофакторная система, состоящая из нескольких уровней исложных связей между уровнями и объектами[1,2].

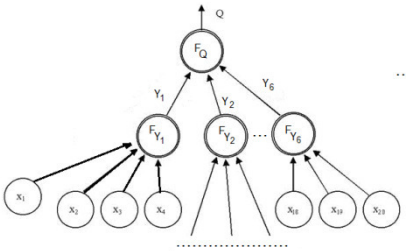
Приведенная нечёткая модель оценки эффективности региональной энергетики позволяет получать оценку эффективности функционирования региональной энергетической системы с учетом разнородной входной информации, как количественной и качественной, при этом учитывается неполнота и неопределенность, неизбежно существующие для части исходной информации[3, 4]. Такие проблемы успешно преодолеваются с использованием аппарата нечёткого моделирования или нечёткой логики [5]. Входные переменные модели представляют показатели функционирования региональной энергетики. (качественные оценкихарактеристикисследуемых систем). Для каждого фактора определяется своя лингвистическая переменная [6].

Характерной особенностью созданной модели является одновременное использование разнородных данных, относящихся к электроэнергетике, тепловой энергетике и другим составляющим энергетики региона. Выходным параметром модели является количественная оценка эффективности работы регионального топливно-энергетического комплекса. Созданная модель относится к классу MISO-систем со многими (n) входными и одной выходной переменной. При создании системы нечеткого логического вывода принимаем условные границы для этой оценки от 0 до 100. С учетом этого, модель

эффективности работы региональной энергетики представляет функциональное отображение вида:

$$X = (X_1,.., X_n) \rightarrow Z[0;100], \quad (1)$$

где$X_1,..,X_n$– входные данные, Z– выходной параметр или оценка эффективности. При большом числе исходных данных их влияние на конечный результат, получаемый на выходе системы, удобно представить в виде иерархического дерева логического вывода, которое представлено на рисунке[6,7]. Терминальные вершины представляют годовые расходы Y_1, удельные расходы и КПД Y_2, затраты на потребляемые ресурсы Y_3, затраты на персонал Y_4, расходы на оборудование Y_5, стоимостные показатели произведенных энергоресурсов Y_6.



Иерархическая классификация факторов, влияющих на эффективность работы ТЭЦ

Такой подход позволяет получить более достоверные результаты оценки эффективности регионального топливно-энергетического комплекса по сравнению с применением аналогичных по назначению моделей, ориентированных на обработку только количественных исходных данных.

Литература

1. Михайлов С.Н., Балябина А.А. Региональные энергетические кластеры: проблемы и перспективы // Российское предпринимательство. – 2008. – № 10– С. 20–25.

2. Каримов А.Р. Важнейшая задача реформирования энергетики России – формирование регионального электроэнергетического комплекса // Российское предпринимательство– 2008. – № 6–С. 64-68.

3. Гальперов В.И. Применение многоагентного подхода для разработки программных систем оценивания состояний ЭЭС / Системные исследования в энергетике – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2014. – 175 с.

4. Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации– М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.

5. Беляев Л.С. Решение сложных оптимизационных задач в условиях неопределенности. – Новосибирск: Наука, 1978.–128 с.

6. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 228 с.

7. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление.– М.: Лаборатория знаний, 2013.– 804 с.

УДК: 620.91

НОВЫЕ СТАБИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Ю.Н. Лупоносов[1], А.Н. Солодухин[2], С.А. Пономаренко[3]
[1]Вед. науч. сотр., канд. хим. наук, luponosov@ispm.ru
[2]Научый сотр., solodukhin@ispm.ru
[3]Глав. научный сотр., д-р. хим. наук, чл.-корр. РАН, ponomarenko@ispm.ru
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Синтетических Полимерных Материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

Аннотация. В данной работе представлена разработка новых органических сопряженных материалов, отличающихся высокой стабильностью и относительно простым способом получения. Проведено исследование оптических, электрохимических и термических свойств подобных материалов и выявлено влияние различных параметров химической структуры на комплекс физико-химических и фотовольтаических свойств таких соединений.

Ключевые слова: трифениламин, оптические свойства, дициановинил, органическая фотовольтаика.

В настоящее время донорно-акцепторные органические полупроводники различной молекулярной архитектуры активно исследуются с целью их использования в качестве функциональных материалов в устройствах органической электроники, например, органических и гибридных солнечных батареях, светоизлучающих диодах и др. Основными недостатками подобных соединений являются недостаточно высокая стабильность и сложный синтез. В данной работе разработаны основные принципы дизайна и синтетические подходы к получению нового класса донорно-акцепторных олигомеров линейной, звездообразной, симметричной и несимметричной архитектуры с повышенной стабильностью, содержащих алкил- или фенилдициановинильные группы в качестве электроноакцепторных [1-5]. Для выявления взаимосвязи структура-свойства в подобном типе олигомеров термические, оптические, электрохимические и фотовольтаические свойства были исследованы в зависимости от разных параметров химической структуры. Сравнение свойств полученной библиотеки соединений с аналогами, имеющими обычные дициановинильные группы, позволило вывить ряд важных преимуществ первых, включая повышенную стабильность, более высокую растворимость и эффективность в фотовольтаических устройствах. Интересным фактом является обнаружение люминесцентных свойств для некоторых соединений, имеющих трифениламиновый электронодонорный блок.

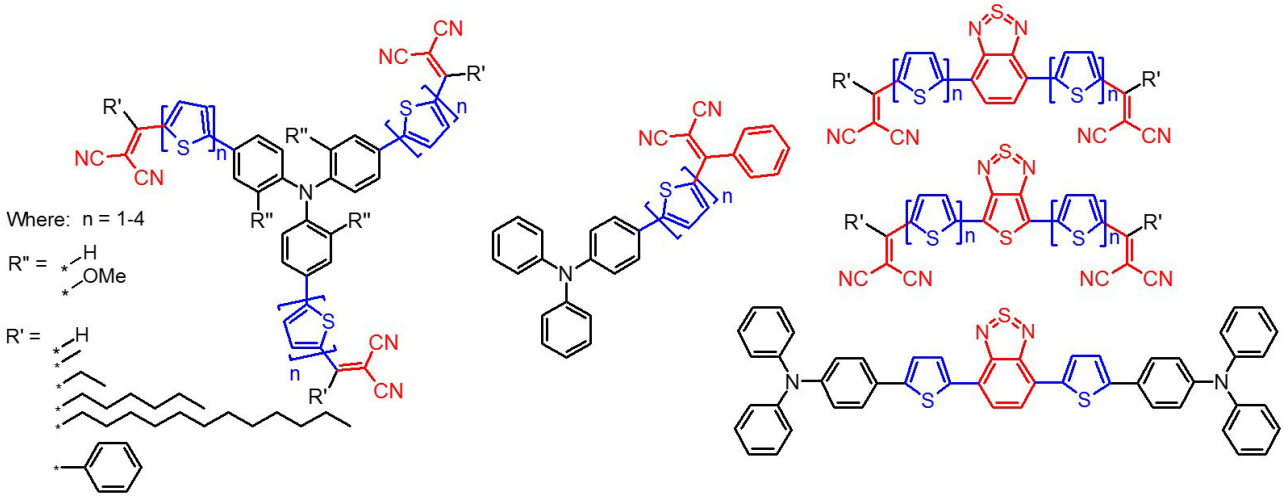


Рис. Химические структуры сопряженных олигомеров

Дизайн синтез и характеризация несимметричных молекул выполнены при финансовой поддержке РНФ (17-73-10485). Синтез симметричных молекул с бензотиадиазолом поддержан грантом Президента РФ (МК-933.2017.3). Работа выполнена в рамках ведущей научной школы НШ-5698-2018.3.

Литература

1. Luponosov Y. N. A new dithienosilole-based oligothiophene with methyldicyanovinyl groups for high performance solution-processed organic solar cells / J. Min, T. Ameri, C. Brabec, S. Ponomarenko // Organic Electronics – 2014. V. 15. – P. 3800.

2. Luponosov Y. N. Synthesis and photovoltaic effect in red/near-IR absorbing A-D-A-D-A-type oligothiophenes containing benzothiadiazole and thienothiadiazole central units / J. Min, D. A. Khanin, D. Baran, S. M. Peregudova, P.V. Dmitryakov, S. N. Chvalun, T. Ameri, C.J. Brabec, S. A. Ponomarenko // J. Photon. for Energy – 2015. V. 5. - P. 057213

3. Luponosov Yu. N. Effects of bridging atom and π-bridge length on physical and photovoltaic properties of A–π-D–π-A oligomers for solution-processed organic solar cells / J. Min, A.V. Bakirov, P.V. Dmitryakov, S. N. Chvalun, S. M. Peregudova, T. Ameri, C. J. Brabec, S. A. Ponomarenko // Dyes and Pigments – 2015. V. 122.- P. 213.

4. Luponosov Y.N. Star-shaped D–π–A oligothiophenes with a tris(2-methoxyphenyl)amine core and alkyldicyanovinyl groups: synthesis and physical and photovoltaic properties / J. Min, A.N. Solodukhin, A.V. Bakirov, M.A. Shcherbina, S.M. Peregudova, G.V. Cherkaev, S.N. Chvalun, C.J. Brabec, S.A. Ponomarenko // J. Mater. Chem. C – 2016. V. 4.- P. 7061.

5. Solodukhin A. N. Unsymmetrical donor-acceptor oligothiophenes end-capped with triphenylamine and phenyldicyanovinyl units / Y. N. Luponosov, M. I. Buzin, S. M. Peregudova, E. A. Svidchenko, S. A. Ponomarenko, Mendeleev Communications – 2018. V. 28 – P. 415.

УДК 621.967.(088.8)

НОЖНИЦЫ ДЛЯ ОТРЕЗКИ ЗАГОТОВОК ОТ ПРОКАТА С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМ ЗАЖИМОМ

А.Ю. Бойко
Канд. техн. наук, доцент, Boyko36RUS@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В данной работе представлен анализ и классификация различных структурных схем ножниц для отрезки заготовок от проката. Найдены кинематические цепи с наименьшим необходимым количеством подвижных звеньев.

Ключевые слова: отрезка, заготовка, прокат, пруток, механизм, ножницы, дифференцированный зажим.

Для реализации одного из наиболее распространённых из пятнадцати способов [1] безотходной разделки проката на заготовки – отрезки сдвигом необходимо обеспечить плоскопараллельное движение заготовки. Плоскопараллельное движение инструмента является необходимым, но недостаточным условием сдвига без сопутствующих движений изгиба и растяжения в очаге деформации. Исключение из процесса сопутствующих движений с целью повышения геометрической точности заготовки привело к необходимости применения устройств пассивного и активного поперечного зажима [2].

По мере развития способов отрезки с поперечным зажимом стало очевидным преимущество активного зажима с наибольшим допустимым усилием, которое не только устраняет отгибание заготовки, но и удерживает её от осевого перемещения силами трения о нож и прижим [3]. Уменьшение растяжения приводит к уменьшению области возможной траектории трещины в очаге пластической деформации и приближению поверхности раздела к плоскости. Но неплоский характер поверхности раздела выносит ещё одно требование к течению процесса отрезки с поперечным зажимом – освобождение от зажима в момент отделения заготовки.

Создание соизмеримых с усилием отрезки усилий зажима без передачи на привод оборудования и их снятие в момент отрезки [4] лежит в основе принципа дифференцированного (отделённого от привода) зажима, отслеживающего график усилия отрезки. В гидравлических и механических технических системах принцип дифференцированного зажима воспроизводится в самозажимных устройствах в результате передачи на прижим реакции объекта обработки на нож, при этом не требуется дополнительных энергозатрат на преодоление трения от усилий зажима.

Среди механизмов поперечного зажима всё многообразие множества механизмов дифференцированного зажима по контурам, передающим усилие отрезки на прижим, объединяется в 6 групп:

- существующие отдельно от главного исполнительного механизма (ГИМ) контуры механизма зажима прутка (МЗП) и механизма отрезаемой заготовки

(МЗЗ), расположенные в станине и внутри выходного звена ГИМ соответственно, где связь МЗП и МЗЗ осуществляется через пруток [6];

- существующий отдельно от ГИМ контур МЗП в станине, и контур МЗЗ, входящий в состав контура ГИМ, где связь МЗП и МЗЗ осуществляется через пруток [6];

- существующий отдельно от ГИМ контур МЗП в станине, и контур МЗЗ внутри выходного звена ГИМ, где МЗЗ и МЗП связаны в единый контур механизма зажима заготовки и прутка (МЗЗП);

- связанные в единый контур ГИМ, МЗЗ и МЗП [7,8];

- многоручьевые ножницы, где реакция прутка на нож передаётся на прижим соседней заготовки и/или прутка [9];

- многопозиционные штампы, где реакция заготовки на воздействие ножа передаётся на прижим прутка соседней позиции телом заготовки [10].

Анализ функционирования механизмов дифференцированного зажима представленных групп позволяет осуществить выбор наиболее подходящей поставленной исходной задаче функциональной структуры в результате синтеза структурных схем механизмов на основе вывода о потребности одной степени подвижности механизма для выполнения каждой функции.

Литература

1. Антонов С.Н., Бойко А.Ю., Гольцев А.М., Крук А.Т., Новокщёнов С.Н. Оптимальная классификация способов отрезки заготовки // Системные проблемы надёжности, качества, математического моделирования, информационных и электронных технологий в инновационных проектах (Инноватика - 2007): материалы Международной конференции и Российской научной школы.-М.: Энергоатомиздат, 2007.-Ч. 2, Т. 2.-С. 100-104.

2. Макшанов Л.Я., Кудинов И.Е., Удалов П.П. Оборудование для раскроя сортового проката // Кузнечно-штамповочное производство.- 1981.- №5.- С. 26-28.

3. Кульнев И.А., Кислый П.Е. // А.с. СССР № 749579. 1980. Бюл. № 27.

4. Бойко А.Ю., Жилкин В.З., Трифонов Г.Н. // А.с. СССР № 1181793. 1985. Бюл. № 36.

5. Бойко А.Ю., Дегтярёв Г.Л., Меньшиков Ю.А., Милушев Э.Х., Трифонов Г.Н. // А.с. СССР № 1570859. 1990. Бюл. № 22.

6. Леонов И.С., Фуга Г.П., Крылов Г.Л., Песоцкой В.Г. Ножницы для резки листового и сортового проката.-М.: Машиностроение, 1972.-376 с.

7. Бойко А.Ю., Жилкин В.З., Трифонов Г.Н., Макшанов Л.Я. // А.с. СССР № 1291306. 1987. Бюл. № 7.

8. Бойко А.Ю., Жилкин В.З., Трифонов Г.Н. // А.с. СССР № 1400804. 1988. Бюл. № 21.

9. Бойко А.Ю., Жилкин В.З., Макшанов Л.Я., Трифонов Г.Н. // А.с. СССР № 1382601. 1988. Бюл. № 11.

10. Бойко А.Ю., Дегтярёв Г.Л., Пачевский В.М., Сапов Р.А. // Патент России № 2278767. 2006. Бюл. № 18.

УДК 621.316

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.Л. Руцков[1], А.В. Бурковский[2], О.Г. Яскевич[3]
[1]Канд. техн. наук, начальник отдела, филиал ПАО «МРСК Центра» – «Воронежэнерго», Воронеж, Россия, alex_8_90@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, декан факультета энергетики и систем управления, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Россия, bav@vorstu.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры САПРИС, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Россия, jaskevich@mail.ru

Аннотация. В данной работе представлена имитационная модель локального участка электроэнергетического комплекса, включающая нечеткий регулятор на основе аппарата нечетких нейронных сетей. На основе модели осуществлена оценка надежности рассматриваемой системы по критерию минимума времени нахождения в аварийном состоянии. Показано существенное преимущество нечеткого регулятора при решении задачи демпфирования колебаний энергонагрузки на объектах генерации.

Ключевые слова: электроэнергетические комплексы, надежность генерирующего оборудования, нечеткий нейронный регулятор.

Обеспечение надежности функционирования генерирующего оборудования является одной из актуальных проблем управления современными электроэнергетическими комплексами (ЭЭК) [1, 2]. Как объект управления генерирующее оборудование характеризуется высокой функциональной сложностью, связанной, в том числе, с неопределенностью, вносимой неравномерностью потребительской нагрузки. Вследствие этого, оказывается обоснованным использование аппарата нечетких нейронных сетей (ННС) как основы для построения нечеткого регулятора, включаемого в контур управления генератора.

В работе рассмотрена имитационная модель локального участка ЭЭК, содержащего два источника выработки энергоресурсов, запитывающих через распределительные сети группу потребительской нагрузки. При этом один из объектов выработки электроэнергии содержит нечеткий нейронный регулятор на основе ННС. Его входным параметром является производная по отклонению скорости вращения ротора синхронного генератора от заданной. Подобная организация позволяет осуществлять демпфирование изменений энергонагрузки [1] при заранее неизвестной и изменяющейся математической модели генератора и энергосистемы, что актуально для повышения показателя надёжности относительно существующих реализаций. Синтез нечеткого регулятора с применением лингвистических операндов осуществлен в прикладном программном обеспечении Matlab.

На основе построенной модели осуществлена оценка надежности рассматриваемой системы по показателю минимума времени нахождения в

аварийном состоянии (или, иначе, скорости выхода из аварийного состояния). В качестве нештатного события рассматривалось трёхфазное короткое замыкание в распределительных сетях на 7-й секунде работы системы.

В предложенной имитационной модели локального ЭЭК существует возможность выбора режима как с применением нечёткого нейронного регулятора, так и без него.

На основе моделирования работы локального ЭЭК без регуляторов получены оценки соответствующих параметров: выходного напряжения, значения отклонения угла ротора. После короткого замыкания наблюдались колебания напряжения, что негативно сказывается на оборудовании, потребляющем такую энергию. После прекращения режима короткого замыкания генераторное оборудование вышло из синхронизма и нарушилось функционирование локального ЭЭК, что отрицательно влияет на надёжность подобной структурной реализации.

Симуляция функционирования локального ЭЭК совместно с нечетким регулятором [3, 4] дало следующие результаты. После снятия короткого замыкания заметен незначительный бросок напряжения, быстро затухающий впоследствии. Максимальное значение напряжения на выходе присоединений объектов генерации в данном случае составляет 235 кВ, что соответствует ГОСТ 32144-2013. Несмотря на наличие взаимного отклонения углов ротора, оба генератора не выпали из синхронного режима, локальная электроэнергетическая система вернулась в устойчивое состояние не позднее времени t = 25 с.

Таким образом, нечёткое нейронное регулирование (на базе ННС) позволяет достичь эффективного демпфирования колебаний энергонагрузки на объектах генерации, существенно повышая степень надёжности функционирования локальных ЭЭК.

Литература

1. Гордеев В.И. Управление электропотреблением и его прогнозирование. – Р.-на-Д.: Издательство Ростовского университета, 1991. – 104 с.

2. Горнштейн, В.М. Методы оптимизации режимов энергосистем / В.М. Горнштейн, Б.П. Мирошниченко, А.В. Пономарев и др.; под ред. В.М. Горнштейна. – М.: Энергия, 1981. – 336 с.

3. Руцков А.Л. Анализ эффективности управления режимами сетей 220 кВ/ А.Л. Руцков, Н.В. Гагаринов, А.В. Романов // Всероссийская научно-техническая конференция «Научные технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве», Воронеж, 25-28 октября 2015 г.

4. Руцков А.Л. Анализ энергетической эффективности управления режимами сетей 220–500 кВ ООО «Системный оператор единой энергетической системы» на территории Воронежской области / В.Н. Крысанов, А.Л. Руцков // Электротехнические комплексы и системы управления, 2015. – №1. – С. 75-80.

УДК 541.182.213

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ВНОСЯЩИХ НАИБОЛЬШИЙ ВКЛАД В ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ВЫСОКОПОРИСТЫХ ЯЧЕИСТЫХ ФИЛЬТРОВ, НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дмитриев А.В.[1], Соловьев С.А.[2], Соловьева О.В.[3], Хусаинов Р.Р.[4]
[1]Д-р техн. наук, профессор, ieremiada@gmail.com
[2]Канд. физ.-мат. наук, доцент, serguei_s349@mail.ru
[3]Канд. физ.-мат. наук, доцент, rara_avis86@mail.ru@mail.ru
[4]Магистрант, rishat1497@mail.ru
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Аннотация. Проведено численное моделирование и экспериментальные исследования течения воздуха в высокопористом ячеистом материале, представляющем собой модель аэрозольного фильтра. Результаты экспериментов хорошо согласуются с расчетными данными для расходов воздуха. Эффективность осаждения частиц имеет максимальное значение для материала с минимальной пористостью, однако параметр качества фильтра при данном значении наименьший и определяется перепадом давления. Проведененные исследования показывают, что использование высокопористых ячеистых материалов с большей пористостью среды является более предпочтительным для повышения параметра качества фильтра, однако существует некоторое предельное значение пористости среды, при котором параметр качества фильтра максимален.

Ключевые слова: высокопористый ячеистый материал, перепад давления, эффективность осаждения частиц, параметр качества фильтра.

Рост производственных мощностей, промышленных выбросов ставит проблему перед топливно-энергетическим комплексом по усовершенствованию способов улавливания мелких частиц. Одним из эффективных фильтров с минимальным аэродинамическим сопротивлением является высокопористый ячеистый материал [1],[2]. При использовании высокопористых ячеистых материалов в фильтрации основной характеристикой является эффективность осаждения частиц. Целью данной работы является определение параметров высокопористого ячеистого материала, влияющих на эффективность осаждения частиц, посредством детального численного моделирования для повышения параметра качества фильтра.

Проведены исследования течения воздуха в высокопористом ячеистом материале, представляющем собой модель фильтров, применяемых на производстве. Вычислительные и натурные эксперименты проведены для фиксированного значения диаметра ячеек для трех различных пористостях среды и хорошо согласуются. Установлено, что для пористости материала $\varepsilon = 0,7$ и $\varepsilon = 0,8$ кривые изменения перепада давления в случае ламинарного режима носят линейный характер, на турбулентном режиме течения проявляется нелинейность. Для среды пористостью $\varepsilon = 0,6$ на всех режимах течения происходит нелинейное изменение перепада давления.

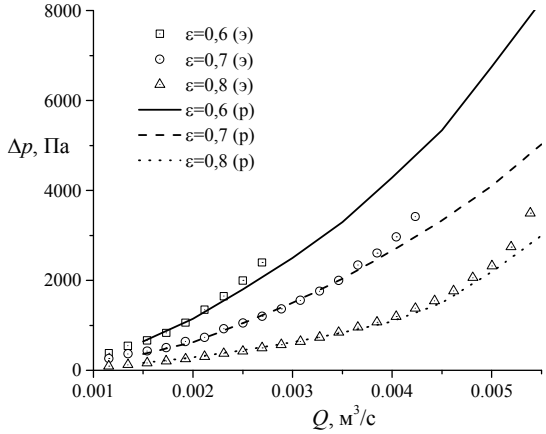


Рис.1. Зависимость перепада давления от расхода воздуха в трубке; символы – результаты экспериментов, кривые – результаты численного моделирования.

Пористость среды $\varepsilon = 0,6$ обеспечивает максимальную эффективность осаждения частиц при тех же параметрах в сравнении со средами с пористостью $\varepsilon = 0,7$ и $\varepsilon = 0,8$. Однако значение перепада давления в данном случае также является максимальным, что снижает значение параметра качества фильтра. Для производств, где повышение эффективности является приоритетным, а повышение перепада давления не приводит к серьезным экономическим затратам, использование фильтра с наименьшей пористостью обеспечит наибольшее улавливание частиц.

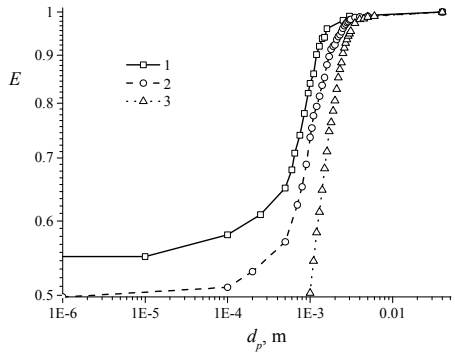


Рис.2. Изменение эффективности осаждения в зависимости от диаметра частиц.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и правительства республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-41-160005.

Литература

1. Liu X. et al. Fabrication and electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon nanotube reinforced carbon fiber/pyrolytic carbon composites //Carbon. – 2014. – Т. 68. – С. 501-510.

2. Walther G. et al. A New Class of High Temperature and Corrosion Resistant Nickel-Based Open-Cell Foams //Advanced Engineering Materials. – 2008. – Т. 10. – №. 9. – С. 803-811.

УДК 621.03

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЯ НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

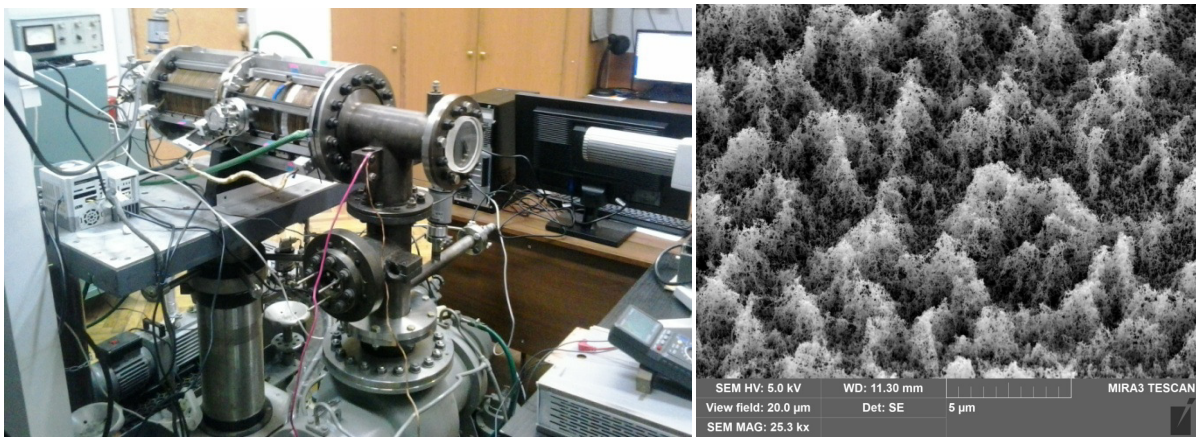
А.В. Дедов[1], В.П. Будаев[2], А.В. Елецкий[3], С.Д. Федорович[4]
[1]Д-р техн. наук, член-корр. РАН, dedovav@mpei.ru
[2]Д-р физ.-мат. наук, профессор, budaev@mail.ru
[3]Д-р физ.-мат. наук, профессор, eletskii@mail.ru
[4]К-т техн. наук, доцент, FedorovichSD@mail.ru
Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва

Аннотация: представлены технологии получения новых функциональных материалов для различных устройств и аппаратов, востребованных в химической промышленности, энергетике, биомедицине и пр.

Ключевые слова: плазменно-тепловые нагрузки, наноуглеродное покрытие.

Ключевым элементом совершенствования всех современных технологий являются новые материалы для изготовления электродов, катодов, теплообменных и функциональных поверхностей. На кафедре общей физики и ядерного синтеза национального исследовательского университета «МЭИ» за последние несколько лет разработаны и апробированы новые технологии создания подобных поверхностей. Первое направление – использование плазменно-теплового воздействия, второе – улучшение свойств функциональных поверхностей внедрением углеродных наноматериалов при использовании лазерного и электронного облучения.

Плазменно-тепловое воздействие. В последние годы при испытаниях материалов в термоядерных установках мощными плазменно-тепловыми нагрузками, когда в процесс одновременно вовлечены множественные механизмы эрозии и переосаждения эродированного материала, плавления и отвердения поверхностных слоев на масштабах от десятков нанометров до сотен микрометров, обнаружены универсальные эффекты стохастической кластеризации поверхности с иерархической гранулярностью и статистическим самоподобием – фрактальностью [1].Свойства уникальной масштабной инвариантности структуры таких высокопористих материалов обеспечивают уникальные физико-химические свойства. Для получения таких материалов, а также плазменных испытаний тугоплавких материалов международного термоядерного реактора ИТЭР, сооружена плазменная установка ПЛМ [2]. На установке проводятся работы по созданию технологии получения высокопористой структуры поверхности тугоплавких металлов, таких как вольфрам, молибден, в том числе с поверхностной структурой типа «пух» с размером элементов структуры до 50 нм. На рис. показана фотография установки и снимок модифицированной поверхности. Тугоплавкие металлы с высокопористой наноструктурной поверхностью востребованы для эксплуатации при экстремальных тепловых и плазменно-пучковых нагрузках, в химической промышленности, водородной энергетике, в биомедицинских применениях.



(а) (б)

Рис. Плазменная установка ПЛМ (а) и полученная вольфрамовая стохастическая микроструктура с иерархической гранулярностью после обработки высокотемпературной плазмой в установке ПЛМ (б).

Модифицирование поверхности в результате нанесения наноуглеродного покрытия. Наноуглеродные структуры хорошо себя зарекомендовали в качестве упрочняющего покрытия стальной поверхности. В качестве наноуглеродного материала использовалась сажа, образованная в результате электродугового распыления графитовых электродов с последующей экстракцией фуллеренов, фуллерен C_{60}, а также термически восстановленный оксид графена с различной степенью восстановления. Эксперименты [3] продемонстрировали эффект многократного увеличения микротвердости поверхности малоуглеродистой стали и меди в результате нанесения наноуглеродного покрытия с последующей обработкой интенсивным лазерным или электронным облучением. С использованием данной технологии созданы и новые теплообменные поверхности с развитой микроструктурой [4].

Работы по созданию плазменной установки поддержаны грантом РНФ № 17-19-01469, грантом РФ № 14.Z50.31.0042. Работы по модифицированию поверхности наноуглеродным покрытием выполнены в рамках гранта РНФ №16-19-10027.

Литература

1. Budaev V.P. Physics Letters A., 381, 43, 3706-3713 (2017)

2. Будаев В.П., Федорович С.Д., Лукашевский М.В. и др. ВАНТ, Сер. Термоядерный синтез, 40 (3) 23-25 (2017)

3. Бочаров Г.С. , Елецкий А.В. , Зилова О.С. и др. Исследование механизма поверхностного упрочнения сталей наноуглеродными материалами с использованием лазерного нагрева / Физика металлов и металловедение 119 (2) с. 197–201 (2018)

4. I.A. Khaziev, A.V. Dedov and S.D. Fedorovich Research wetting and Leidenfrost effects on struc-tured surfaces in contact with water Journal of Physics: Conf. Series 891 (2017) 012021 doi :10.1088/1742-6596/891/1/012021

УДК: 66.092-977

ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ОТХОДОВ

Н.А. Зройчиков[1], С.А. Фадеев[2], А.А. Каверин[3], Я.А. Бирюков[4], А.В. Пай[5], Г.А. Тарасов[6]
[1]Д-р техн. наук, зам. ген. директора по науке АО «ЭНИН», zna@eninnet.ru
[2]Канд. техн. наук, зав. отделением «технологии теплоэнергетики» АО «ЭНИН», fas@eninnet.ru
[3]Канд. техн. наук, ассистент кафедры «НИУ «МЭИ», alexander_7@bk.ru
[4]Младший научный сотрудник АО «ЭНИН», yaroslav_biryukov@list.ru
[5]Аспирант «НИУ «МЭИ», artpay93@yandex.ru
[6]Научный сотрудник АО «ЭНИН», tarasovjora@yandex.ru
Акционерное Общество «Энергетический институт им. Г.М.Кржижановского»
Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Аннотация. В данной работе разработана компьютерная модель реактора термического разложения медицинских отходов в программном комплексе ANSYS Fluent и выполнен нестационарный расчет движения двухфазной среды в реакторе при номинальной производительности с учетом теплообмена, сушки и пиролиза материала. Получены профили скоростей и температур фаз, концентрации реагирующих веществ в реакторе.

Ключевые слова: пиролиз, медицинские отходы, численное моделирование, вычислительная гидродинамика.

Наибольшая часть отходов медицинских учреждений не более опасна, чем твердые коммунальные отходы. Однако остальные представляют значительный риск для здоровья, являясь инфицированными (15-25% всех отходов), радиоактивными или токсичными (менее 1%). Хорошо апробированным методом термической утилизации органических материалов является пиролиз, что может быть успешно применено и для переработки медицинских отходов.

Одной из основных проблем, возникающих при проектировании установок пиролиза медицинских отходов (МО), является неоднородность их морфологического состава. Это обстоятельство усложняет процесс регулирования и обеспечение непрерывной и безотказной работы установки. Исходя из этого, необходимо использовать современные средства численного моделирования для анализа протекания процессов внутри реактора.

В данной работе исследовались аспекты численного моделирования пиролиза МО в программном комплексе ANSYS Fluent. Объектом исследования является камера термического разложения пиролизной установки непрерывного действия (рис. 1). Реактор представляет собой цилиндр диаметром 0.5 м и длиной 1.7 м. Загрузка исходного материала производится через патрубок 1, подходящий к реактору сверху. МО предварительно измельчаются и поступают в реактор размером 10-20 мм. Измельчённые частицы перемещаются шнеком 2, обеспечивая среднее время пребывания частиц в реакторе 20 минут. Теплота, необходимая для протекания процесса генерируется в камере сгорания 3 и через стенку 4 передается в реактор 5.

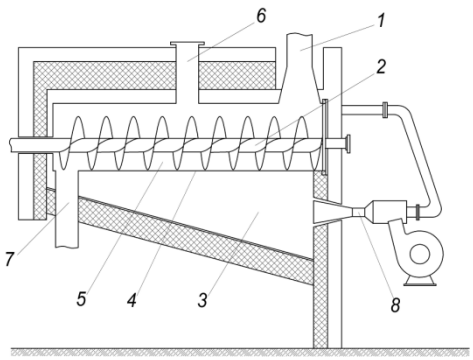
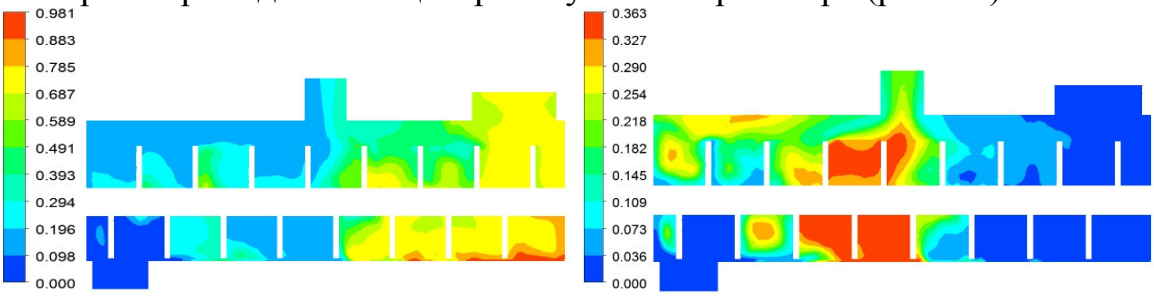


Рис. 1 Схема установки термического разложения медицинских отходов. 1 – патрубок загрузки материала, 2 – шнек, 3 – камера сгорания, 4 – стенка реактора, 5 – реактор пиролиза, 6 - отвод парогазовой смеси, 7 – патрубок выгрузки полукокса, 8 – эжекционная горелка

В компьютерной модели учтена стадийность процесса разложения МО: инертный нагрев частиц, испарение влаги, инертный нагрев сухих частиц, пиролиз. Расчётная среда моделировалась двухфазной, температура стенки реактора принята постоянной и равной 823°С. Кинетические константы приняты из [2] для полипропилена. Рис. 2 характеризует массовые доли газовых компонентов в реакторе: интенсивное испарение занимает половину длины реактора, далее начинается пиролиз сухих МО, наиболее интенсивный этап, которого приходится на центральную часть реактора (рис. 2б).



а) б)

Рис. 2. Массовая доля газообразных продуктов разложения в реакторе: а) водяной пар; б) конденсирующиеся газы

Работа выполнена в АО «ЭНИН» в рамках прикладного проекта «Разработка и исследование процесса экологически безопасного обезвреживания опасных медицинских и биологических отходов на основе пиролиза» (RFMEFI57617X0101) с финансовой поддержкой Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. Официальный сайт Всемирной организации здравоохранения [Электронный ресурс]. URL: http://www.who.int/ru (дата обращения: 25.10.2018)

2. R.W.J. Westerhout, J. Waanders, J. A. M. Kuipers, and W. P. M. van Swaaij Experimental Determination of the Yield of Pyrolysis Products of Polyethene and Polypropene. Influence of Reaction Conditions // *Ind. Eng. Chem. Res.*, 36, pp. 1955-1964.

УДК: 378.001.12:699.86.001.71

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС ВГТУ МЕЖДУНАРОДНОЙ МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЫ ПО ИННОВАЦИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ В СФЕРЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ДЛЯ УНИВЕРСИТЕТОВ И ПРЕДПРИЯТИЙ РФ И АРМЕНИИ В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНОГО ПРОЕКТА ERASMUS+ MARUEEB 2015-2018

В.Я. Мищенко[1], Е.П. Горбанева[2], Е.В. Родина[3]
[1]Д-р техн. наук, профессор, oseun@yandex.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, elenagorbaneva@rambler.ru
[3]Канд. архитектуры, доцент, earthbourne@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В работе описываются фазы ознакомления, разработки и внедрения международной магистерской программы по инновационным технологиям в сфере энергоэффективного строительства для университетов и предприятий РФ и Армении в рамках международного проекта Erasmus+ MARUEEB 2015-2018 в образовательный процесс Воронежского государственного технического университета. Раскрываются специфические особенности и уникальность данной программы для вуза и города Воронежа, также представлена концепция методики обучения, разработанная по рекомендациям Европейский университетов-партнеров по гранту Erasmus+ MARUEEB.

Ключевые слова: магистерская программа, инновационные технологии, экологическая образовательная программа, энергоэффективность.

В 2015 году Федеральному государственному бюджетному образовательному учреждению высшего образования «Воронежский государственный технический университет» представилась возможность участия в международном гранте программы Erasmus+, проект -MARUEEB (Master Degree in Innovative Technologies in Energy Efficient Buildings for Russian & Armenian Universities and Stakeholders/магистерская программа по инновационным технологиям в сфере энергоэффективного строительства для университетов и предприятий РФ и Армении). Цель программы – внедрение экологической образовательной программы в Российские и Армянские вузы, обмен опытом и обучение молодого преподавательского состава Российских вузов по материалам уже существующих программам энергоэффективного строительства в Евросоюзе.

С целью развития международного обмена между студентами и преподавателями, распространения результатов программы в течение жизненного цикла образовательной программы (2015-2018), а также с целью апробации образовательной программы под специфические особенности рынка труда в Воронежской области были обозначены строительные и архитектурные предприятия, потенциально заинтересованные в новых свежих кадрах, обученных по Европейским стандартам.

На основе статистического опроса потенциальных работодателей Воронежской области, рекомендаций учебно-методического управления ВГТУ, а также направления кафедры технологии, организации строительства, экспертизы и управления недвижимостью (ТОСЭУН), магистерской программе Erasmus+ было присвоено название «Здания энергоэффективного жизненного цикла (ERASMUS+)» / «Buildings of Energy-Efficient Life Cycle» по направлению 08.04.01 Строительство.

В работе представлен Методологический подход при реализации магистерской программы, который заключается во вовлечении студентов в открытый педагогический процесс, наиболее употребительной формой - свободный обмен мнениями. Целью такого подхода является не только установление педагогического контроля за тем, что студенты усвоили, к чему стремятся, что ищут в новых для них дисциплинах. Важно было создать условия самовоспитания, расширения сознания студентов в сфере энергосбережении и решения проблем экологии. Основой такой методики обучения студентов является работа в командах на протяжении всего периода обучения. Таким образом, в процессе работы применяется синергетический междисциплинарный подход к решению проблем энергосбережения, в это же время студенты обогащают друг друга навыками и знаниями в разных областях.

Для учебно-методического обеспечения магистерской программы «Здания энергоэффективного жизненного цикла (ERASMUS+)» с непосредственным участием ВГТУ было написано три учебных пособия, которые также могут быть предназначены для магистрантов, обучающихся по направлению 08.04.01 Строительство, а также для бакалавров, аспирантов, преподавателей и научно–технических работников, специализирующихся в области энергосбережения.

В работе раскрыты этапы реализации магистерской программы «Здания энергоэффективного жизненного цикла (ERASMUS+)» с начала 2017-2018 учебного года ВГТУ до настоящее время.

Литература

1. Официальный сайт Erasmus+: [Электронный ресурс]: Режим доступа: URL: https://eacea.ec.europa.eu/erasmus-plus_en (дата обращения 27.10.2018).

2. Официальный сайт ВГТУ (Erasmus+): [Электронный ресурс]: Режим доступа: URL: http://cchgeu.ru/education/programms/zezc/ (дата обращения 27.10.2018).

3. Мищенко В.Я, Горбанева Е.П., Мануковский А.Ю., Сафонов А.О. Генетические алгоритмы в решении многокритериальных задач оптимизации распределения ресурсов при планировании энергосберегающих мероприятий/ Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – 2014 - №3(35). – С.77-82.

УДК 621.396

ОЦЕНКА БЛИЖНЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Глотов В.В.[1], Глотова Т.С.[2]
[1,2]Аспиранты, vadik-livny@mail.ru
Воронежский государственный технический университет

Аннотация: измерение ближнего поля - это относительно новая методика, характеризующая работу прибора под испытанием тестирующего устройства во время его излучения.

Ключевые слова: энергосбережение, электромагнитная совместимость.

Термин «ближнее поле» включает в себя не только измерительные части, но и соответствующие численные методы обработки, особенно в антенных исследованиях. Электромагнитное излучение может быть измерено либо в ближней, либо в дальней области спектра. По сравнению с дальним полем, ближнее поле имеет свои преимущества. Во-первых, испытуемый прибор и зонд соединены в непосредственной близости, таким образом там меньше неопределенных факторов между ними (погода, электромагнитные помехи и др.). Во-вторых, измерение ближнего поля меньше зависит от условий испытаний, что делает его весьма подходящим методом. Оно может быть проведено в нормальных лабораторных условиях, а не в безэховой камере, как требуется для измерения дальнего поля. Наконец, самое главное, измерения дальнего поля могут рассматриваться, как прямое измерение лучевой структуры, которое не в состоянии предоставить информацию на излучающий источник. Но, с другой стороны, измерения ближнего поля могут быть использованы не только для получения электромагнитного поля от тестируемого устройства, но также обеспечивать источник выбросов излучений и исследование диагностики электромагнитной совместимости печатных плат и интегральных схем.

Существует несколько успешных методов, которые значительно увеличивают эффективность исследований в ближней зоне. Примером данных методов являются - преобразование Фурье и эквивалентный метод. В зависимости от применения, измерения ближнего поля можно разделить на излучение антенны ближнего поля и электромагнитные помехи ближнего поля. Измерения, выполняемые в ближней зоне (обычно $3\lambda \sim 5\lambda$), характеризуют излучающие помехи из антенны и поля, после чего происходит расчет дальнего поле по преобразованию Фурье. С другой стороны, в центре внимания остаются электромагнитные помехи и электромагнитные излучения ближнего поля, для определения реальных или эквивалентных излучающих источников в тестируемом устройстве. Соответственно, измерения выполняются в высокореактивной области (обычно $<\lambda/6$).

Выбор щупа является важным фактором в ближнем поле сканирующей системы, так как он является прямым датчиком сканирования. Щупом

ближнего поля следует измерить отдельный компонент электрического или магнитного поля в точке, с выхода датчика. Но есть потенциально несколько ограничивающих факторов для измерения ближнего поля. Первым важным моментом является то, что датчик может реагировать на более чем одно поле компонента. Значение этой реакции зависит от щупа и от поляризационных характеристик. Таким образом, применяемый диапазон частот датчика, должен быть определен в коррекции измеряемого поля и может быть применен в случае необходимости. Вторая проблема заключается в том, что в ближнем поле излучатель и щуп они тесно связаны и могут взаимодействовать друг с другом.

Картину ближнего электромагнитного поля можно получить с помощью анализатора спектра, при этом в качестве измерительного элемента используются пробники ближнего поля (E – пробник, измеряет электрическую составляющую; H – пробник, измеряет магнитную составляющую). В совокупности со специализированным ПО и сканирующей подсистемой, данный сканер ближнего электромагнитного поля позволяет автоматизировать процесс измерения и добиться необходимых результатов. Так же, в отличие от широко известных безэховых камер, позволяющих измерить суммарную напряженность создаваемого электромагнитного излучения от изделия в дальнем поле (3 – 10 м), системы ближнего поля анализируют электромагнитную обстановку на расстоянии 0,01 – 0,1 м от тестируемого изделия, что позволяет отдельно оценить напряженности электрического и магнитного поля, а самое главное, их непосредственную локализацию. Кроме того, предлагаемый метод позволяет производить измерения в нормальных лабораторных условиях.

Литература

1. Лаборатория ЭМС // [Персональная страница М.А. Ромащенко] / Вор.гос. техн. ун-т URL: http://www.emc-problem.net.

2. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. М.:ООО «Группа ИДТ», 2007. 616 с.

УДК: 621.311.1

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

О.Е. Кондратьева[1], О.А. Локтионов[2], Д.А. Бурдюков[3], Е.М. Мясникова[4]
[1]Д-р техн. наук, доцент, olyavih@yandex.ru
[2]Аспирант, loktionovoa@yandex.ru
[3]Ст. преп., burdyukovda@gmail.com
[4]Магистр
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Аннотация. В данной работе рассмотрена проблема функциональной надежности воздушных линий электропередач в условиях климатических изменений. Результаты работы позволят разработать адаптационную стратегию по повышению работоспособности электросетевого комплекса и снижению аварийности на воздушных линиях электропередач.

Ключевые слова: электроэнергетика, климатические изменения, линии электропередач, аварийные отключения, энергоснабжение.

Информация о погодных характеристиках, неблагоприятных метеорологических явлениях и климатических факторах имеет важнейшее значение для энергетического сектора, так как одним из ключевых факторов развития устойчивых электроэнергетических систем в настоящее время является снижение количества аварийных отключений линий электропередач в результате наблюдаемых климатических изменений.

Согласно Энергетической стратегии развития России на период до 2030 года [1], целью развития энергетического комплекса России является обеспечение надежного, качественного и безопасного энергоснабжения с учетом бесперебойности и энергобезопасности.

Основным негативным влиянием является прямое воздействие на линии электропередач таких метеорологических факторов, как: скорость ветра, температура воздуха и влажность. Превышение нормативных значений отдельных факторов или их совокупности способствует возникновению гололедно-изморозевых отложений, повышенных ветровых нагрузок, в т.ч. схлестывание проводов и падение деревьев на провода.

Частота и мощность метеорологических воздействий непосредственно сказывается на бесперебойном функционировании системы энергоснабжения и передачи энергии по воздушным линиям электропередач (далее ВЛЭП). Согласно ежегодным отчетам ПАО «Россети», с факторами экстремализации климата связаны следующие причины технологических отключений (аварий):

1. Воздействие повторяющихся стихийных явлений – 16,7%.
2. Падение деревьев на провода ЛЭП – 14,1%.
3. Атмосферные перенапряжения – 12,3%.
4. Сверхнормативные воздействия стихийных явлений – 1,2%.

Экстремальные климатические явления способствуют возникновению 44% всех возможных нарушений и сбоев в электроснабжении.

Положительный тренд количества аварий, происходящих в последние годы от проявлений климатических явлений, требует разработки методов оценки уязвимости систем энергоснабжения в меняющихся природно-климатических условиях. [2]

Согласно ПУЭ-7, СП 131.13330.2012 «Строительная климатология», СП 20.13330.2010 «Нагрузки и воздействие» строительные конструкции, в т.ч. воздушные линии электропередач, требуется проектировать с учетом требуемой надежности и климатическими нагрузками. Значения, представленные в нормативных документах устарели, так как определялись с учетом влияния климатических факторов характерных для конца 20 века и не могут использоваться как основные в настоящее время. Карты климатического районирования как по скорости и давлению ветра, так и по толщине стенки гололеда обладают лишь общей информацией, необходимой для грубой оценки состояния проектируемого объекта.

Для более точных результатов расчета, которые в свою очередь позволят минимизировать риск возможных аварийных отключений от факторов климатической среды, необходимо использовать модели общей циркуляции атмосферы и адаптивные методы прогнозирования, которые рекомендуются для оценки изменения климата и прогноза исследуемых метеопараметров. В работе оценивалась работоспособность электросетевого хозяйства Москвы в условиях изменяющего климата. В качестве исходных данных по техническому состоянию сетей использовались сведения ПАО «МОЭСК» об аварийных отключениях по границам территориальных зон деятельности организации. Для оценки влияния климатических факторов на надежность воздушных линий электропередач использовался корреляционный анализ, как метод оценки связи между компонентами, позволяющий охарактеризовать зависимость результативного признака (отключения ВЛЭП) от вариации признака-фактора (климатические явления). Корреляционный анализ выборочных совокупностей аварийных отключений, происходящих в результате влияния климатических факторов выявил значительную связь между компонентами и высокие значение коэффициентов корреляции Спирмена ρ=0,61-0,76.

Результаты, полученные в рамках данного исследования, в дальнейшем позволят осуществить множественный регрессионный анализ и определить значения весовых коэффициентов влияния каждого из рассмотренных климатических факторов на показатели надежности электросетевого хозяйства.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 18-79-10255.

Литература

1. Распоряжение Правительства РФ №1715-р от 13.11.2009 «Об энергетической стратегии развития России на период до 2030 года».

2. Клименко В.В., Терешин А.Г., Касилова Е.В. Москва: Естественный тестовый полигон для оценки последствий сильного потепления // Доклады академии наук. 2017. Т.477. №1. С. 30-34. DOI: 10.7868/S0869565217310061.

УДК: 621.311

ОЦЕНКА МОЩНОСТИ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА

В.З. Манусов[1], Н.Хасанзода[2], Г.В. Иванов[3]
[1]Д-р техн. наук, профессор, manusov36@mail.ru
[2]Аспирант, masrullo-5445@mail.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, gennad-ivanov@yandex.ru
[1,2]ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»
[3]ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Аннотация. Для прогнозирования скорости ветра и угла его направления предлагается использовать авторегрессию на основе концепции нечетких систем, которая признана достаточно удобным инструментом моделирования. Цель нечеткого регрессионного анализа состоит в том, чтобы найти регрессионную модель, которая удовлетворяет всем наблюдаемым нечетким данным в пределах указанного критерия оптимальности. В работе осуществляется прогнозирование скорости и направления ветровых потоков для Дальневосточного побережья.

Ключевые слова: авторегрессия, нечеткие системы, возобновляемых источников энергии, ветроэнергетическая станция, ветроэнергетическая установка.

Растущие цены на ископаемое топливо ускоряют процесс перехода на возобновляемые источники энергии. Среди разнообразия таких источников, в настоящее время, пользуется довольно большим спросом ветровая энергия, как один из наиболее эффективных и чистых источников энергии [1]. С 1999 по 2017 г. суммарная установленная мощность ветроустановок (ВЭУ) в мире выросла с 14 до 540 ГВт, с приростом в последние годы свыше 10% в год. Максимальная единичная мощность действующих ВЭУ составляет 8 МВт, в процессе разработки ВЭУ мощностью до 12 МВт. Исходя из достигнутых в 2017 г. уровня и темпов развития мировой ветроэнергетики предполагается, что к 2030 г. установленная мощность ВЭУ достигает в сумме 977 МВт: 905 ГВт - наземных ВЭК и 72 ГВт - наводных ВЭК, включая плавучие. В силу сложности построения модели скорости ветра, а также влиянию метеофакторов, в работе предложена регрессионной модель на основе нечеткой логики. В этом случае можно пытаться получить единую адекватную на исходной выборке модель, значительно ее усложнив. Другой способ может состоять в построении кусочной регрессии. Недостаток первой (переусложненной) модели состоит в значительном риске ее использовании для прогноза. Кусочные модели требуют достаточно точного определения области определения ее отдельных частей. Альтернативным вариантом можно считать построение модели в виде системы размытых правил. Преимуществом таких моделей является то, что получаемое решение есть достаточно гладкая функция. Границы действия отдельных частей модели размыты, что снижает требования к их точному определению. Точность аппроксимации можно варьировать, увеличивая или уменьшая число

используемых размытых правил. Нечёткие модели типа MISO (multiple input, single output) представляют собой совокупность правил вида:

$$IF\ \ x_1 \subset A_{1i}\ \&\ldots\&\ x_n \subset A_{ni}\ \ THEN\ \ y = \eta^i\left(x_j\right),\ i = \overline{1..m},\ j = \overline{1..n}$$

где A_{ji} – нечеткое подмножество для переменной x_j с функцией принадлежности $\mu_{A_{ji}}\left(x_j\right)$; m – число правил, n – количество факторов, $\eta^i\left(x_j\right)$ – функция, определяющая локальную зависимость отклика y от набора регрессий $x = \left(x_1,\ldots,x_n\right)^T$. Известно, что скорость ветра может быть представлена шкалой Бофорта [2]. В ней скорости ветра разбиты на 9 интервалов, среди которых интервалы для самого слабого и самого сильного ветров можно исключить, так как при минимальной скорости ветра нет достаточного воздействия на ветроэнергетическую установку, а при самом сильном установки отключаются во избежание разрушения. Шкалу Бофорта необходимо описать функциями принадлежности лингвистических переменных, то есть указать, какая скорость ветра с какой степенью принадлежности относится к лингвистической переменной. В рассматриваемом случае используются LR-функции принадлежности как пересекающиеся классы [3]. Например, скорость ветра 11 м/с может быть равно отнесена как к свежему ветру, так и к сильному, скорость ветра 18 м/с скорее относится к очень крепкому ветру, но в некоторой степени может быть отнесена и к крепкому. Наряду с этим, авторами работы рассмотрено прогнозирование направления ветра и предложены функции принадлежности для отдельных направлений ветра. В качестве базовых направлений приняты основные стороны света: Восток (East)-нулевой отсчет от положительного направления осы абсцисс; Север (North)-положительное направления осы ординат, сдвинутое на 90 градусов против часовой стрелки; Запад (West)-отрицательное направление осы абсцисс, сдвинутое на 180 градусов против часовой стрелки; Юг (South)-отрицательное направление осы ординат, сдвинутое на 180 градусов против часовой стрелки. Выполненные расчеты показывают, что прогнозирование скорости ветра и его угла на основе нечеткой регрессии, могут быть выполнены с приемлемой точностью на три часа вперёд. Это позволяет планировать выработку электроэнергии с помощью ВЭУ.

Литература

1. В.З. Манусов, Н. Хасанзода, Ш.А. Бобоев Исследование оптимальных режимов интеллектуальных сетей с двухсторонним потоком энергии / Научный вестник НГТУ. – 2018. – №3. – С.175–190.

2. В.З. Манусов, Н. Хасанзода Оптимизация энергоэффективности ветровых ресурсов Дальнего Востока на основе алгоритма роевого интеллекта / Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2018. – № 19-21. – С.12–22.

3. В.З. Манусов, Н. Хасанзода, П.В. Матренин Повышение энергоэффективности ветроэнергетических установок на основе роевого интеллекта/Новое в российской электроэнергетике: науч.-техн. электрон. журн. – 2018. – № 10. – С. 36–43.

УДК 62-622:621.039

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИВОДОРОДНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ КОМБИНИРОВАНИИ С АЭСПРИ ПРОГНОЗНЫХ ЦЕНАХ НА ТОПЛИВО

А.Н. Байрамов
Канд. техн. наук,art2198@yandex.ru
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Саратовский научный центр РАН, г. Саратов, Россия

Аннотация. Целью работы является оценка конкурентной эффективности АЭС (на примере с реактором ВВЭР-1000 и турбиной К-1000-60/1500) в комбинировании с водородным комплексом по сравнению с ГТУ в условиях прохождения пиковых электрических нагрузок в энергосистеме. Критерием сравнения является себестоимость пиковой электроэнергии сучетом прогнозов цен на газовое и ядерное топливо до 2035г.В результате показано, что использование ГТУ связано с разгрузкой АЭС, что приводит к существенному возрастанию затрат ГТУ.

Ключевые слова: атомная электростанция, водородный энергетический комплекс

В условиях увеличения доли АЭС в энергосистемах Европейской части страны проблема обеспечения их базисной электрической нагрузкой приобретает актуальность. С этой целью наряду с использованием ГАЭС разрабатываются научные основы использования водородного комплекса на базе внепиковой электроэнергии АЭС (рис.1, патент РФ №2459293)[1].

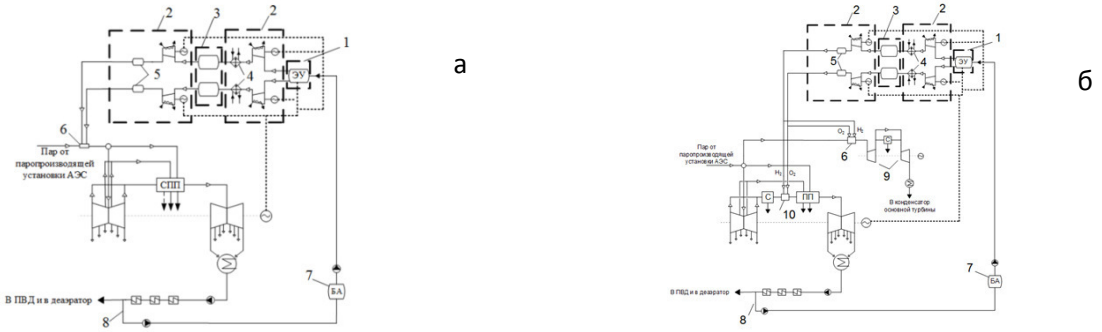


Рис. 1. Принципиальные схемы комбинирования энергоблока АЭС с водородным энергетическим комплексом: 1 – система электролиза воды; 2 – система компримирования водорода и кислорода; 3 – система хранения водорода и кислорода на основе ёмкостей; 4 – концевые охлаждающие теплообменники; 5 – промежуточные ёмкости водорода и кислорода; 6, 10 – водород-кислородная камера сгорания для перегрева свежего пара и пара после сепарации соответственно; 7 – бак-аккумулятор (БА); 8 – рециркуляция добавленного рабочего тела; 9 – дополнительная паровая турбина; СПП – сепаратор пароперегреватель

Преимуществом водородного комплекса является возможность потребления электроэнергии непосредственно от АЭС по себестоимости в то время как ГАЭС заряжается от энергосистемы по тарифу в 2-4 раза

превышающему себестоимость электроэнергии АЭС. Постоянно действующая дополнительная паровая турбина наряду с получением пиковой мощности позволяет повысить надежность электроснабжения собственных нужд АЭС в условиях аварий с обесточиванием за счет использования пара, полученного от остаточных тепловыделений в реакторах[2].

Водород-кислородная камера сгорания представляет собой двухступенчатую систему сжигания, встроенную на участке трубопровода перед турбиной (патент РФ №2427048). Коэффициент полезного преобразования внепиковой электроэнергии в пиковую для разработанных схем составляет до 39 %. При этом КПД энергоблока АЭС бруттосоставляет до 40 %. Удельные капвложения в водородный комплекс до 40 тыс. руб./кВт. КПД ГТУ по выработке электроэнергии 34,5 %, удельные капвложения 33,6 тыс. руб./кВт. Стоимость газообразного и ядерного топлива взята на основании прогнозов [3] до 2035г. для Европейской части России.

На рис.2приведены результаты оценки себестоимости пиковой электроэнергии на примере продолжительности участия в покрытии пиковой нагрузки 5 ч/сут.

Рис. 2. Себестоимость пиковой электроэнергии водородного комплексаи ГТУ:1 –водородный комплекс; 2-4 – ГТУ; а, б – для схемы на рис.1а и рис.1б соответственно

Вариант обеспечения АЭС базисной электрической нагрузкой за счет водородного комплекса имеет наименьшие затраты по сравнению с вариантом ГТУ при прохождении пиков электрической нагрузки в энергосистеме. Это связано с разгрузкой атомной станции, что снижает ее эффективность и приводит к дополнительному приросту затрат, который учтен в затратах ГТУ.

Литература

1. Аминов Р.З. Комбинирование водородных энергетических циклов с атомными электростанциями / Р. З. Аминов, А. Н. Байрамов.-М.: Наука, 2016. 254с

2. Аминов Р.З. Резервирование собственных нужд АЭС в условиях полного обесточивания на основе водородного цикла / Р. З. Аминов, А. Н. Егоров, В. Е. Юрин // Атомная энергия. 2013. №4(114). С. 234–236.

3. Аминов Р. З. Тепловые и атомные электростанции: конкурентоспособность в новых экономических условиях / Р. З. Аминов, А. Ф. Шкрет, М. В. Гариевский // Теплоэнергетика. 2017. №5. С.5-14.

УДК: 544.6.076.324

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НИКЕЛЬ – МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

А.А. Володин[1], Б.П. Тарасов[2], Д.В. Блинов[3]
[1]Канд. хим. наук, ст. науч. сотр., alexvol@icp.ac.ru
[2]Канд. хим. наук, зав. лаб., tarasov@icp.ac.ru
[3]Канд. техн. наук, ст. науч. сотр., h2lab@mail.ru
ФГБУН «Институт проблем химической физики Российской академии наук»
ФГБУН «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук»

Аннотация. Приведены общие представления об устройстве и принципе работы Ni-MH источников тока, показаны их достоинства и недостатки, обобщен накопленный экспериментальный материал по улучшению эксплуатационных характеристик. Рассмотрена перспектива использования углеродных наноструктур для улучшения производительности электродов и показана эффективность их применения.

Ключевые слова: химические источники тока, электроды, металлогидриды, углеродные наноструктуры, композиты.

Никель-металлогидридные (Ni-MH) источники тока занимают одну из ведущих позиций на рынке благодаря высокой плотности запасаемой энергии, циклической стабильности и хорошей экологической совместимости. В качестве рабочих материалов для Ni-MH источников тока активно используются сплавы AB_5-, AB_3- и AB_2-типов [1, 2]. Одной из ключевых проблем в работе анодных материалов является доставка электронов к тоководу. Например, электропроводность чистого магния составляет $2{,}27\times10^{7}$ См/см, а его гидрида (MgH_2) – $10^{-18}\ldots10^{-12}$ См/см. Благодаря низкой стоимости, хорошей производительности и широкому интервалу рабочих температур $Ni(OH)_2$ используется как материал катода во всех источниках тока на основе никеля. Тем не менее, как и в случае с анодными материалами, β-$Ni(OH)_2$ имеет очень слабую электронную проводимость ($10^{-14}\ldots10^{-8}$ См/см). Для улучшения электропроводности к анодным и катодным материалам, как правило, добавляют ацетиленовую сажу или графит. Однако для достижения высокой электропроводности необходимо вводить эти добавки в больших количествах, что снижает удельную емкость электродов, а малое количество не приводит к нужному эффекту.

Очевидный интерес представляет использование протяженных углеродных наноструктур – графеноподобного материала (ГПМ), углеродных нанотрубок (УНТ) и углеродных нановолокон (УНВ), как альтернативы ацетиленовой саже и графиту. Такие композитные материалы не только улучшают перенос заряда, но и уменьшают внутреннее сопротивление. Однако исследования такого рода носят единичный характер и нуждаются в систематическом развитии для достижения оптимального результата.

В наших работах [3, 4] было отмечено, что добавка 3 мас.% углеродных нанотрубок и нановолокон к оксидам титана или лантана приводит к значительному увеличению удельной электропроводности. Были также

сформированы композиты на основе гидроксида никеля: Г/$Ni(OH)_2$, УНТ/$Ni(OH)_2$, УНВ/$Ni(OH)_2$ и ГПМ/$Ni(OH)_2$, содержащие по 3 мас.% углеродного компонента. Показано, что добавка графита к $Ni(OH)_2$ увеличивает электропроводность с $3{,}7\times10^{-9}$ до $1{,}33\times10^{-7}$ См/см; УНТ - до $3{,}9\times10^{-3}$ См/см; УНВ - до $6{,}8\times10^{-3}$ См/см; ГПМ - до $8{,}9\times10^{-2}$ См/см. Рассчитанные объемные доли углеродных наноструктур в композитах составили 6,2 об.% – УНТ; 7,1 об.% – УНВ; 6,7 об.% – ГПМ. Полученные композиты были использованы в качестве материалов для электродов Ni-MH ячеек. Изучены их электрохимические характеристики. Предварительные результаты демонстрируют эффективность работы композитных электродов в составе Ni-MH химических источников тока. Добавка УНТ увеличивает емкость от 102 мАч/г (для чистого гидроксида) до 265 мАч/г, добавка нановолокон – до 223 мАч/г, а графеноподобного материала – до 195 мАч/г.

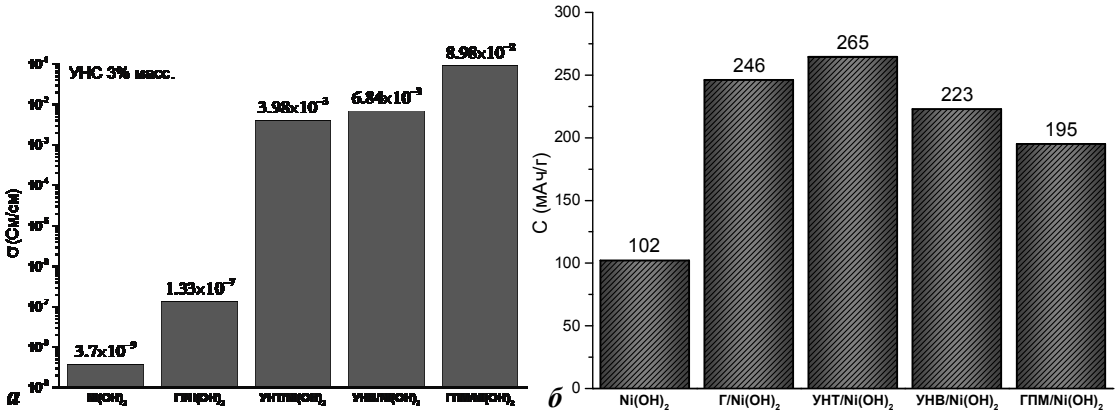


Рис. Удельная электропроводность композитов (*а*) и удельная емкость композитных электродов с углеродными наноструктурами (*б*)

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (Проект № 17-79-20413).

Литература

1. Hannan M.A., Hoque M.M., Mohamed A., Ayob A. Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. V.69. P.771–789.

2. Volodin A.A., Wan Ch., Denys R.V., Tsirlina G.A., Tarasov B.P., Fichtner M., Ulmer U., Nwakwuo C.C., Yartys V.A. Phase-structural transformations in a metal hydride battery anode $La_{1.5}Nd_{0.5}MgNi_9$ alloy and its electrochemical performance // Int. J. Hydrogen Energy. 2016. V.41. P.9954–9967.

3. Володин А.А., Бельмесов А.А., Мурзин В.Б., Фурсиков П.В., Золотаренко А.Д., Тарасов Б.П. Электропроводящие композиты на основе оксида титана и углеродных нанотрубок // Неорганические материалы. 2013. Т.49. №7. С.702–708.

4. Володин А.А., Фурсиков П.В., Бельмесов А.А., Шульга Ю.М., Ходос И.И., Абдусалямова М.Н., Тарасов Б.П. Электропроводность композитов на основе оксида лантана с углеродными нановолокнами // Неорганические материалы. 2014. Т.50. №7. С.726–734.

УДК: 538.975

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР n-ZnO/p-Si В СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

С.И. Рембеза[1], М.К. Бахадырханов[2], Р.Е. Просветов[3], Т.В. Свистова[4], Е.С. Рембеза[5]
[1]Д-р физ.-мат. наук, профессор, rembeza@yandex.ru
[2]Д-р физ.-мат. наук, профессор
[3]Аспирант ВГТУ
[4]Канд. техн. наук, доцент
[5]Д-р физ.-мат. наук, профессор
[1, 3, 4]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
[2]Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент, Республика Узбекистан
[5]ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет

Аннотация: в данной работе представлены результаты изготовления и исследований фотоэлектрических свойств гетероструктур n-ZnO/p-Si. Изготовлены структуры, характеризующиеся током короткого замыкания 3 мкА и напряжением холостого хода 0,22 В. Намечены пути улучшения электрофизических параметров гетероструктур.

Ключевые слова: металлооксид, монокристалл кремния, тонкие пленки, гетероструктура, вольт-амперная характеристика.

В настоящее время кремниевые солнечные батареи являются основным устройством для преобразователей энергии Солнца в электричество. Их широкому распространению мешает сравнительно высокая стоимость и низкая эффективность преобразования излучения Солнца в электрическую энергию, что, в частности, обусловлено частичным использованием спектра излучения Солнца, определяемого шириной запрещенной зоны кремния (~ 1,1 эВ). При этом видимая и ультрафиолетовая части спектра Солнца не участвуют в процессе преобразования энергии, так как для их использования требуются материалы с шириной запрещенной зоны ~ 2 ÷ 3 эВ.

Одним из способов расширения диапазона используемой световой энергии является применение многослойных пленочных преобразователей энергии Солнца с разной шириной запрещенной зоны. В качестве широкозонного полупроводника можно использовать прозрачные металлооксидные полупроводники с шириной запрещенной зоны ~ 3 эВ. В частности, гетеропереход n-ZnO/p-Si позволит расширить диапазон преобразуемого спектра по сравнению с кремнием, снизить стоимость солнечной батареи и упростить технологию ее изготовления [1].

Исследовались гетероструктуры на основе монокристаллического кремния p-типа (КДБ-10), на поверхность которого методом ионно-лучевого распыления керамических мишеней наносился слой ZnO, легированный алюминием. Измерены электрические и фотоэлектрические характеристики гетероструктуры при освещенности AM = 1,5. Напряжение холостого хода составило 0,22 В, а ток короткого замыкания – 3 мкА. Вид вольт-амперных характеристик указывает на наличие в измеряемой структуре

последовательного сопротивления, в том числе за счет использования кремния с удельным сопротивлением 10 Ом·см.

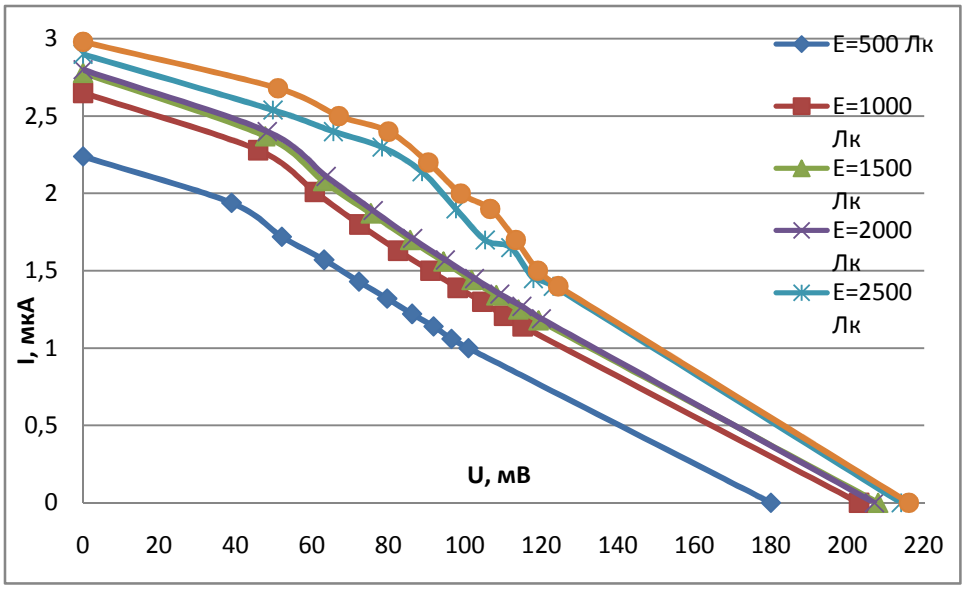


Рис. Вольт-амперные характеристики гетероструктуры n-ZnO(Al)/p-Si в фотогальваническом режиме при различной освещенности

Представляется перспективным использование в качестве p-Si подложки гетероструктур n-ZnO/p-Si низкоомного кремния (ρ = 0,05 Ом·см) с примесной зоной нанокластеров переходных элементов. Монокристаллы p-Si с нанокластерами примеси марганца изготавливаются по специальной технологии в Ташкентском государственном техническом университете [2]. Наличие примесной зоны в кремнии должно расширить область используемого излучения Солнца в инфракрасный диапазон, а низкоомная подложка снизит последовательное сопротивление гетероструктуры. Оптическое окно n-ZnO(Al) с шириной запрещенной зоны ~ 3 эВ позволит использовать фотогенерацию неравновесных носителей зарядов из фиолетовой и ультрафиолетовой частей спектра излучения Солнца.

Литература

1. Алексанян А.Ю., Геворкян В.А., Казарян М.А. Получение диодных гетероструктур p- Si/n- ZnO и исследование их вольтамперных характеристик / А.Ю. Алексанян, В.А. Геворкян, М.А. Казарян // Альтернативная энергетика и экология, 2013, № 06 (128), С. 23 – 27.

2. Бахадырханов М.К., Закриллаев Н.Д., Исамов С.Б., Ковешников С.В. Фотоэлектрические явления в кремнии с многозарядными нанокластерами / М.К Бахадырханов, Н.Д.Закриллаев, С.Б. Исамов, С.В. Ковешников С.В. // Ташкент: изд – во ТГТУ, 2017, 280 с.

УДК: 537.9

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТЕРМОВОЛЬТАИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

А.С. Иванов[1], Ю.Е. Калинин[2], А.Г. Чуйко[3]
[1]Д-р техн. наук, filkon@filkon.vrn.ru
[2]Д-р физ.-мат. наук, kalinin48@mail.ru
[3]srgpank@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. Сделан краткий анализ перспективам развития термоэлектрических и термовольаических материалов. Рассмотрены некоторые подходы, которые могут быть основой для повышения термоэлектрической добротности низкотемпературных материалов. Показаны современные тенденции развития термоэлектрических и термовольаических материалов.

Ключевые слова: удельное электрическое сопротивление, термоэдс термоэлектрическая добротность.

Получение и преобразование энергии представляет одно из важных направлений современной промышленности, которое составляет основу существования всей цивилизации. Поскольку наиболее удобная и универсальная форма энергии для практических применений – электрическая, то особое значение имеет разработка эффективных методов её получения. Прямое преобразование тепловой энергии в электрическую всегда привлекало исследователей, а в последнее время в связи с бурным освоением северных территорий выходит в приоритетные направления исследований. Достоинство таких преобразователей заключается в простоте конструкции энергоустановок, отсутствии движущихся частей, что обеспечивает высокую надежность и длительный (до 15 – 20 лет) ресурс работы [1]. Термоэлектрические установки способны работать независимо от наличия или отсутствия воздушной атмосферы, их пространственного положения и других условий эксплуатации. Энергетические установки, в которых реализуется термоэлектрический метод преобразования тепловой энергии в электрическую, способны преобразовывать теплоту от любых источников тепловой энергии: ядерных, солнечных, получаемую от сжигания органического топлива, геотермальную или океаническую. Поэтому они уже нашли широкое применение в качестве источников электрической энергии в космических энергоустановках, в автономных источниках электрической энергии, используемых в удаленных или труднодоступных местах. Не менее широкое распространение термоэлектрические модули нашли в холодильной технике. Поскольку фреоны – традиционные хладагенты парокомпрессионных холодильных машин -

способствуют разрушению озонового слоя Земли, а альтернативные хладагенты оказались не приемлемыми, так как увеличивают концентрацию в атмосфере парниковых газов, что приводит к глобальному потеплению климата планеты, то сегодня возникла острая потребность в иных методах получения искусственного холода. Альтернативой этому служит термоэлектрический метод получения искусственного холода. Ключевым элементом современной термоэлектрической энергетики и охладителей являются полупроводниковые материалы, используемые для такого преобразования и называемые термоэлектриками [2]. Эффективность термоэлектрического преобразования энергии определяется величиной, называемой термоэлектрической добротностью

$$Z = \frac{\sigma S^2}{\chi}, \qquad (1)$$

где σ−проводимость; S− термоэдс; χ − теплопроводность.

Термоэлектрическая добротность имеет размерность обратной температуры и зависит только от физических свойств материала. Добротность чаще всего используется в виде безразмерной комбинации:

$$ZT = \frac{\sigma S^2 T}{\chi}, \qquad (2)$$

где T− рабочая или средняя температура преобразователя, равная:

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2}, \qquad (3)$$

В настоящем докладе представлен краткий анализ современного состояния исследований термоэлектрических, а также термовольаических материалов. В отличие от термоэлектрического преобразования, которое требует создание в преобразователях градиента температур, в термовольтаических генераторах градиент температур заменяется градиентом примеси в полупроводниковом материале. И хотя эффективность преобразования энергии в этом случае более низкая, в некоторых случаях они могут оказаться незаменимы. С учетом вышесказанного, в работе рассмотрены некоторые подходы повышения термоэлектрической добротности термоэлектрических материалов и направления развития термовольтаического преобразования тепловой энергии в электрическую. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-08-36411).

Литература

1. Калинин Ю.Е., Чуйко А.Г., Новиков Е.Г. Перспективы развития термоэлектрических и термовольтаических материалов / Альтернативная энергетика и экология. 2015. № 3 (167). С. 28-39.

2. Дмитриев А.В., Звягин И.П. Современные тенденции развития физики термоэлектрических материалов // Успехи физических наук. 2010. № 8. С. 821-837.

УДК: 620.9

ПИРОЛИТИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА СОЛОМЫ ЗА СЧЁТ СОБСТВЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ РАЗЛОЖЕНИЯ

А.В. Астафьев[1], Д.Е. Мусафиров[2], Р.Б. Табакаев[3], Н.А. Языков[4]
[1]Аспирант,ava31@tpu.ru
[2]Студент, Musaphirov@mail.ru
[3]Канд. техн. наук, научный сотрудник, TabakaevRB@tpu.ru
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
[4]Канд. техн. наук, научный сотрудник, yazykov@catalysis.ru
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г.Новосибирск

Аннотация. В работе рассмотрена возможность термической переработки соломы за счёт собственных тепловых эффектов разложения. Установлено, что процесс пиролиза соломы может протекать в автотермическом режиме, при этом наибольший тепловой эффект (398,9 кДж/кг) можно получить при температуре окончания процесса, равной 460 °С; для данных условий пиролиза определено, что влажность исходной соломы для обеспечения автотермичности протекания процесса должна составлять не более 30,5 %.

Ключевые слова: термическая переработка, пиролиз, тепловые эффекты, автотермичность, тепловые затраты, экзотермический эффект.

Объектом исследования являлась солома изТомской области, которая обладает низкой для органических топлив зольностью (при пересчёте на сухую массу) – 2,8 % и высоким выходом летучих (на горючую массу) – 78,5 %, что говорит о её высокой реакционной способности и низкой температуре воспламенения. Низшая теплота сгорания соломы после достижения воздушно-сухого состояния составила 17,7 МДж/кг.

Экспериментальным путём установлен экзотермический тип протекания пиролиза, выражающийся в превышении температурой сырья температуры нагрева реактора. При нагреве реактора до 290 °С температура сырья достигает лишь 278,6 °С (рис. а). Первые проявления теплового эффекта наблюдаются при нагреве реактора до 303 °С: температура сырья в данном случае достигает 308 °С (рис. б). Началом возникновения тепловых эффектов является температура 200 °С, после которой повышается скорость нагрева соломы. При нагреве реактора до 330 °С (рис. в) наблюдалась максимальная разница температур между стенкой реактора и сырьём (61 °С).Нагрев реактора до 365 °С(рис. г) приводил к саморазогреву соломы до 416,8 °С.

Для изучения тепловых эффектов, выявленных в ходе эксперимента, произведён дифференциально-термический анализ, который показал, что экзотермические реакции протекают в ходе разложения соломы в температурном диапазоне от 235 до 575 °С. Значение теплового эффекта в этом диапазоне, рассчитанное путём сопоставления площади эндотермического пика (испарение влаги) с площадью экзотермического пика, составило 1475 кДж/кг. Учитывая, что при этом разложилось 57,5 % сырья (относительно его исходной

массы), можно определить удельную величину теплового эффекта на 1 % сырья, равную 25,65 кДж/кг.

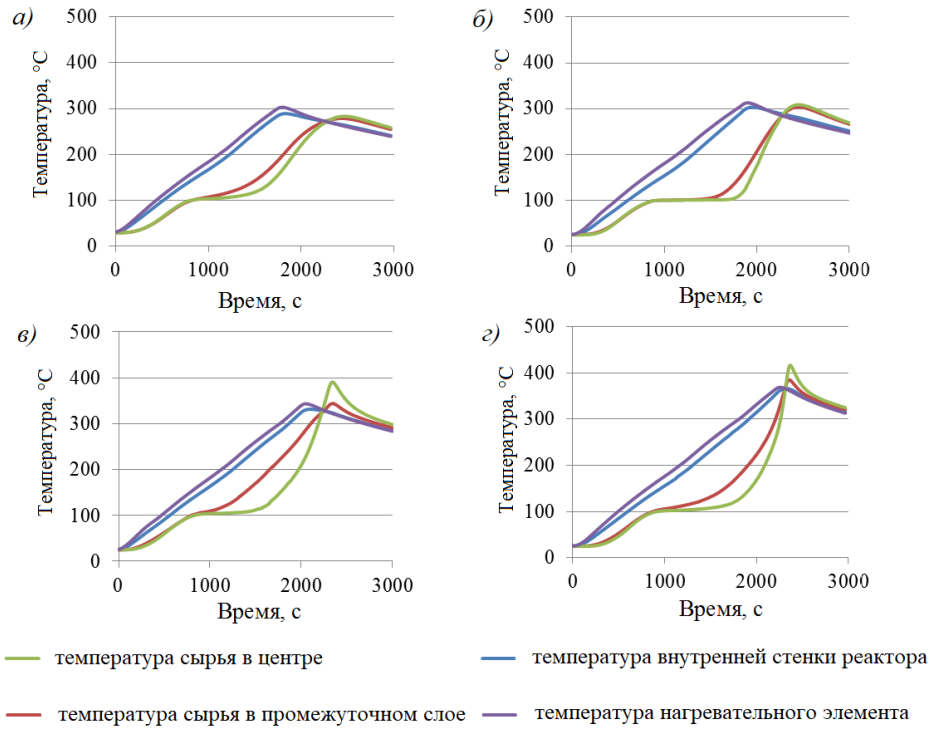


Рис. Распределение температур в слое соломы при нагреве реактора до: а) 290 °С; б) 303 °С; в) 330 °С; г) 365 °С

Согласно методике, приведённой в [1] рассчитаны тепловые затраты для нагрева до различных температур из приведённого выше диапазона (табл.). Из таблицы видно, что максимальный тепловой эффект можно получить при температуре окончания процесса, равной 460 °С.

Тепловые затраты и тепловой эффект пиролиза

Температура окончания разложения ($t_р$), °С	Тепловые затраты на осуществление процесса пиролиза, кДж/кг					Тепловой эффект ($Q_{ТЭ}$), кДж/кг	Суммарный тепловой эффект (Q), кДж/кг
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	$\sum Q_{1-4}$		
278,6	-224,0	-343,0	-130,0	-9,8	-706,8	+256,5	-450,3
308,8	-224,0	-343,0	-158,8	-23,8	-749,6	+538,7	-210,9
390,7	-224,0	-343,0	-218,8	-83,3	-869,1	+1180,0	+310,9
416,8	-224,0	-343,0	-239,4	-101,0	-907,4	+1269,8	+362,4
440,0	-224,0	-343,0	-257,8	-117,9	-942,7	+1333,9	+391,2
460,0	-224,0	-343,0	-274,4	-132,1	-973,5	+1372,4	+398,9
480,0	-224,0	-343,0	-291,6	-145,8	-1004,4	+1398,0	+393,6
500,0	-224,0	-343,0	-308,6	-160,0	-1035,6	+1423,7	+388,1
575,0	-224,0	-343,0	-374,8	-213,0	-1154,8	+1475,0	+320,2

Влажность соломы может изменяться в зависимости от окружающих её условий, поэтому проведен расчет суммарного теплового эффекта при различных значениях её влажности. Установлено, что автотермическое протекание пиролиза соломы возможно при значении влажности менее 30,5 %.

Литература

1. Astafev A.V., Tabakaev R.B., Dubinin Y.V., Yazykov N.A., Yakovlev V.A., Zavorin A.S. Autothermal pyrolysis of biomass due to intrinsic thermal decomposition effects // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2018. DOI: 10.1007/s10973-018-7562-7.

УДК: 537.226.82

ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ЦТС

К.Г. Добросельский[1], В.А. Антипин[2], А.С. Лебедев[3]
[1]Канд. техн. наук, доцент, dobroselsky@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, vaantipin@mail.ru
[3]Аспирант, anatolylebedev1994@gmail.com
Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия

Аннотация. В данной работе представлены результаты экспериментального исследования пироэлектрического преобразования тепловой энергии при нестационарном нагреве пироэлектрика на основе пленки цирконата-титаната свинца (ЦТС). Нагрев поверхности пироэлектрика осуществлялся модулированным лазерным излучением. Показана возможность применения тонких пироэлектрических пленок в качестве источника тока в диапазоне частот 0,5–10 Гц.

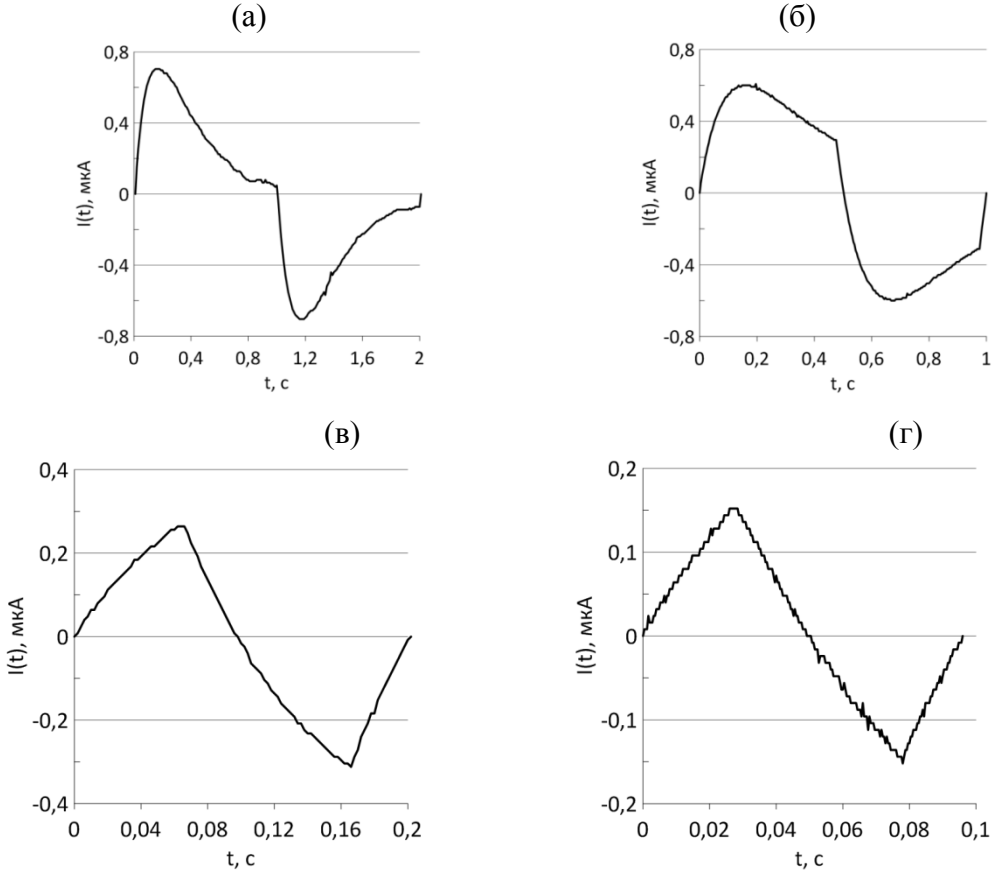
Ключевые слова: пироэлектрик, пироток, частота, заряд.

Интерес к исследованию получения электричества с помощью пироэлектрического эффекта обоснован возможностью создания автономных источников питания [1], где генерация заряда на поверхности пироэлектрика происходит в ходе прямого преобразования тепловой энергии в электрическую. Даже очень небольшие изменения температуры (~мК) могут производить пироэлектрический ток (~ нА или мкА) [2].

Для исследования работы пироэлемента (пироэлектрического преобразователя) в качестве источника тока использовался экспериментальный стенд [3], где на оптической скамье располагались мишень из пироэлектрика (ЦТС) и ИК-лазер мощностью 1 Вт (λ = 1064 нм) для создания модулированного теплового потока. Управление осуществлялось программируемым логическим контроллером. К пироэлектрическому преобразователю через согласующее устройство в режиме короткого замыкания был подключен цифровой осциллограф при относительно низкоомной (1 МОм) нагрузке. В качестве объекта исследования (мишени) был взят пироэлемент на основе пленки ЦТС с площадью поверхности 6,25 см^2 и толщиной 4 мкм, нанесенной на алюминиевую подложку толщиной 15 мкм. Электрод образца со стороны, обращенной к лазеру, сделан из алюминия и имеет размер 1,8 см^2. К электроду и подложке припаяны провода, через которые снимается пироэлектричество. Электрод окрашивался черной тушью тонким слоем, чтобы снизить отражение инфракрасного излучения лазера. Пироэлектрический элемент моделировался как источник тока [3] сопротивлением $R_p \approx 50$ МОм и емкостью $C_p \approx 125$ нФ. Целью эксперимента было измерение падения напряжения на резисторе R_e = 1 МОм при изменении температуры пироэлектрика от времени и получения в последующем пиротока.

Измерения пироэлектрических откликов проводились с записью на осциллограф и последующей передачей данных на ПК. На рисунке

представлены пироотклики тока короткого замыкания для частот цикла нагрева/охлаждения f = 0,5-10 Гц.



Профили пиротока для разных частот цикла нагрев/охлаждение:
(а) – f = 0,5 Гц, (б) – f = 1 Гц, (в) – f = 5 Гц, (г) – f = 10 Гц

Заряды, полученные при пироконверсии, составили Q ≈ 330, 215, 14 и 5 нКл за половину периода при частотах f = 0,5; 1; 5; 10 Гц соответственно.

Несмотря на небольшие значения генерируемого заряда и значительное падение амплитуды тока (напряжения) с ростом частоты тепловых пульсаций для отдельного пироэлектрика, энергия, вырабатываемая пироэлектрическим устройством, состоящим из большого количества элементов, в течение большого количества циклов могла бы накапливаться и использоваться в качестве автономного источника питания или других технических целей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 16-19-00119.

Литература

1. Khaligh A. Kinetic energy harvesting using piezoelectric and electromagnetic technologies-state of the art / A. Khaligh, P. Zeng, C. Zheng // IEEE Trans. Indus. El. – 2010. - V. 57. - №. 3. - P. 850–860.

2. Lang S.B. From ancient curiosity to modern imaging tool / S.B. Lang // Phys. Today. – 2005. - V. 58. - P. 31–36.

3. Dobrosel’sky K.G. Application of passive schemes for pyroelectric conversion of low-potential heat / K.G. Dobrosel’sky, V.A. Antipin, P.V. Yudin, G.S. Sukhorukov // J. Engineer. Thermophys. – 2018. - V. 27. - №. 1. - P. 51–57.

УДК: 62-408

ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ РАБОТАЮЩИХ В РЕЖИМЕ СУХОГО ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

А.В. Бакуменко[1], Ю.С. Ткаченко[2], М.Н. Краснова[3]
[1]Аспирант, bakumenko1992@list.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, misterba422@qip.ru
[3]Кан. техн. наук, доцент, krasnovam27@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация: в данной работе представлена технология повышения коэффициента полезного действия подшипников сухого трения, основанная на воздействии на рабочую поверхность, высококонцентрированным потоком энергии, с целью снижения потребляемой мощности механизмов и узлов авиационной техники.

Ключевые слова: коэффициент полезного действия, подшипник сухого трения скольжения, высококонцентрированные потоки энергии.

Интерес к подшипникам сухого трения скольжения актуален в ряде случаев, когда к механизму предъявляются особые требования по габаритам, массе и надежности, а так же, требуется применение линейных подшипников, работающих в агрессивной окружающей среде: резкий перепад температур ± 60 ℃, наличие абразивных частиц (песок), солевой туман [1, 2]. Поэтому задача снижение потерь на трение в подшипниках сухого трения на сегодняшний день актуальна в ряде отраслей современной промышленности.

В данной работе была подобрана пара сухого трения скольжения, где в качестве базового материала выступает сплав алюминия марки Д16Т. За основу фрикционного слоя пары трения взято покрытие на основе диоксида кремния [3, 4]. Как правило, керамические поверхности подвергают алмазному шлифованию, но в ходе обработки поверхности шлифованием возникают микротрещины, что негативно сказывается на коэффициенте трения. Вследствие чего снижается коэффициент полезного действия (КПД) и надежность механизма в целом [5].

Современные технологии шагнули далеко вперед с появлением высококонцентрированных потоков энергии. С появлением газовых лазеров и плазматронов появилась возможность производить обработку тугоплавких сплавов и покрытий [6, 7, 8].

С целью снижения коэффициента трения и повышения надежности подшипников сухого трения, а так же избегания образования микротрещин при финишной обработки на основе керамических пар трения был предложен метод «финишной обработки лазерным излучением» [6, 9].

В результате мы получаем более качественную поверхность, в которой концентрация напряжений и микротрещин сводится к минимуму, за счет чего снижается время приработки пары трения и повышается ресурс в 1,5 раза. На

рис. условно представлен рельеф (шероховатость) поверхности трения до и после финишной лазерной обработки.

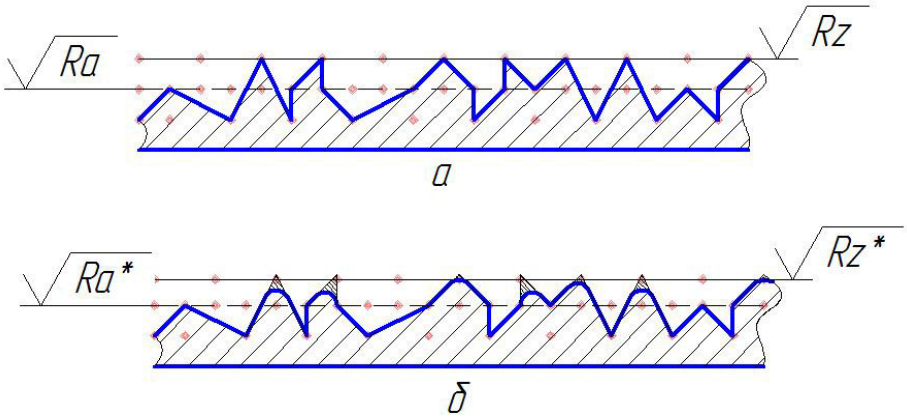


Рис. Рельеф поверхности трения
а) поверхность после алмазного шлифования
б) поверхность после финишной лазерной обработки

Литература

1. Панов А.Д., Панова И.М. Трибологические особенности конструкционных керамических материалов в подшипниках скольжения // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №1 (2015)

2. Kazuhisa Miyoshi. Solid Lubricants and Coatings for Extreme Environments: State-of-the-Art Survey. NASA, 2007;

3. www.npo-oxide.ru

4. L.Zhang. “Manufacture of selectively commercially pure titanium”, Materials Science and Engineering Journal 06-2014

5. В. Н. Шамберов Влияние сухого трения в исполнительных механизмах автоматических систем с приводным электродвигателем на их устойчивость / В. Н. Шамберов // Научное приборостроение, 2004, том 14, № 4. С 39-45.

6. Бакуменко А.В. Некоторые аспекты комбинированных методов обработки стальных деталей / Бакуменко А.В., Трифонов Г.И., Ткаченко Ю.С. // Высокие технологии в машиностроении: материалы Всероссийской научно-технической интернет-конференции – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – С. 9-12.

7. Mark Kurlas, "German selective laser melting specialist mulls IPO." Journal Industrial Industrial solutions. 15. 08. 2014.

8. F.Gärtner, H.Kreye, H.J. Richter HVOF Spritzen mit Pulver und Draht, Tagungsband, 7. Kolloquium zum Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen, Erding 2007, Germany, S. 39-56

9. Adel K.M., Dhia A.S., Ghazali M.J. The effect of laser surface hardening on the wear and friction characteristics of acicular bainitic ductile iron // International Journal of Mechanical and Materials Engineering. 2009. Vol. 4. № 2. P. 167–171.

УДК: 697.973

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

А.В. Бараков[1], Д.А. Прутских[2], Н.Н. Кожухов[3], В.Ю. Дубанин[4], А.В. Муравьев[5]
[1]Д-р техн. наук, профессор, pt_vstu@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, ст. преп., pt_vstu@mail.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, k0zhukhov@yandex.ru
[4]Канд. техн. наук, доцент, pt_vstu@mail.ru
[5]Канд. техн. наук, доцент, nix2001@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация: для повышения эффективности работы системы приточно-вытяжной вентиляции предложен регенеративный теплообменник, который в холодное время года является утилизатором теплоты, а в теплое – аппаратом водоиспарительного охлаждения воздуха. В работе представлены результаты теоретических исследований гидродинамики, тепломассообмена аппарата, выполнены эксперименты для анализа этих процессов и получения экспериментальных данных. Для инженерной методики расчета теплообменника на основе двух видов исследования получены аналитические и эмпирические формулы.

Ключевые слова: водоиспарительное охлаждение, математическая модель, псевдоожиженный слой, экспериментальная установка, коэффициент тепловой эффективности.

Значительное количество энергоресурсов в настоящее время расходуется для создания конкретных условий для людей в производственных и административных помещениях. Для этих целей чаще всего служит приточно-вытяжная вентиляция [1]. Основным недостатком системы мы считаем большие затраты энергии (теплоты) для подогрева приточного воздуха. Для снижения указанных недостатков предлагается включить в схему теплообменник. В холодное время года он будет выполнять роль утилизатора теплоты вытяжного воздуха и осуществлять предварительный нагрев приточного воздуха на 5-7 °С, что снизит расход энергии, потребляемой калорифером на величину от 20 до 25 %. В теплое время года за счет организации в данном теплообменнике прямого или косвенного водоиспарительного охлаждения воздуха, подаваемого в помещение, он будет выполнять задачи воздухоохладителя.

Проведенные ранее исследования теоретического и экспериментального характера показали высокую практическую значимость применения регенеративного теплообменного аппарата с «кипящим» центробежно циркулирующим слоем [2]. Данный аппарат применим и для системы приточно-вытяжной вентиляции.

Для расчета температурных полей в «сухой» камере воздухоохладителя решалась система дифференциальных уравнений, в состав которой входило уравнение теплового баланса и уравнение Ньютона-Рихмана. Данная система была записана для элементарного объема «кипящего» циркулирующего слоя.

Для температуры воздуха по высоте слоя насадки получено следующее соотношение [3]

$$t_в = t_н + (t'_в + t'_н)\exp\left(-\frac{\alpha(1-\varepsilon)f_v}{c_в w_в \rho_в} y\right), \quad (1)$$

где $t_н$ –температура частиц дисперсного материала, К; $t'_в$,$t'_н$ - температура потока воздуха и частиц на входе в «сухую» камеру, К; ε - порозность «кипящего» слоя; f_v - удельная поверхность слоя насадки м^2/м^3; $\rho_в$ - плотность воздуха, кг/м^3; $c_в$ - теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К); y - поперечная координата.

Независимость температуры частиц от координаты у обусловлена их активным перемешиванием. С учетом этого, зависимость для температуры частиц дисперсного материала получается следующей

$$t_н = t'_н + \left(t'_в - t'_н\right)\exp\left\{-\frac{c_в w_в \rho_в x}{c_н w_н (1-\varepsilon)\rho_н h}\left[1-\exp\left(-\frac{\alpha f_v h(1-\varepsilon)}{c_в \rho_в}\right)\right]\right\}, \quad (2)$$

где $\rho_н$ – плотность насадки, кг/м^3; $c_н$ - теплоемкость насадки, Дж/(кг·К); $w_н$ - скорость движения насадки, м/с; h - высота насадки, м; х – продольная координата.

Для проверки соответствия теплообменного аппарата требованиям задаваемых технических параметров для системы приточно-вытяжной вентиляции выполнено экспериментальное исследование опытного образца. По результатам измерений вычисляли коэффициент тепловой эффективности [4]. Анализируя результаты эксперимента, определили основные параметры, изменение которых приводит к изменению тепловой эффективности теплообменника. Такими параметрами являются скорость воздуха $w_в$ и масса насадки в аппарате M . В результате аппроксимации полученных данных из эксперимента средствами MathCad получены зависимости для определения коэффициента тепловой эффективности и гидравлического сопротивления аппарата.

Литература

1. Стефановский, Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Е.В. Стефановский. – СПб: Авок Северо-Запад, 2005. – 400 с.

2. Бараков, А.В. Исследование теплообмена в регенераторе с дисперсной насадкой / А.В. Бараков, В.Ю. Дубанин, Д.А. Прутских // – Энергосбережение и водоподготовка, – 2007. – № 4(48). – С. 45-46.

3. Бараков, А.В. Моделирование тепломассообмена в воздухоохладителе косвенно-испарительного типа с циркулирующей дисперсной насадкой / А.В. Бараков, В.Ю. Дубанин, Д.А. Прутских, С.А. Герасимов // – Промышленная энергетика, – 2011. – № 8. – С. 40-42.

4. Бараков, А.В. Исследование воздухоохладителя косвенно-испарительного типа с дисперсной насадкой / А.В. Бараков, В.Ю. Дубанин, Д.А. Прутских, А.М. Наумов // – Промышленная энергетика, – 2010. – № 11. – С. 37-40.

УДК 533.9.08:534.8

ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДА ПРИ ПИРОЛИЗЕ ЖИДКОФАЗНЫХ СРЕД В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Н.А. Булычев[1,2,3], Э.Н. Муравьев[3], М.А. Казарян[1,3]
[1]Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 119991, Москва, Ленинский пр-т, 53
[2]Московский авиационный институт, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4
[3]Академия Инженерных Наук им. А.М. Прохорова,
123557, г. Москва, ул. Пресненский вал, 17

Аннотация. В настоящей работе было показано, что инициируемая в жидкофазных средах в разрядном промежутке между электродами низкотемпературная плазма способна эффективно разлагать водородсодержащие молекулы органических соединений с образованием газообразных продуктов, в которых доля водорода составляет более 90% (по данным газовой хроматографии). Предварительные оценки энергетического КПД, рассчитанного с учетом теплоты сгорания водорода и исходных веществ, а также затрат электроэнергии показали уровень КПД порядка 60-70% в зависимости от состава исходной смеси. Были проведены также теоретические расчеты напряжения и тока разряда при моделировании процесса, которые согласуются с данными эксперимента.

Ключевые слова: Плазма, свечение плазмы, ультразвуковая кавитация, водород.

Одной из актуальных проблем современной альтернативной энергетики является разработка методов и технологий получения водорода, который может быть использован как топливо. В настоящее время наиболее часто используемыми технологиями получения водорода являются паровая конверсия метана и электролиз. Преимуществом метода паровой конверсии метана является высокое значение энергетического КПД (60-80%), однако этот процесс требует громоздкого и дорогого оборудования, а также потребляет метан, который сам является топливом и ценным сырьем для химической промышленности. Электролиз воды является менее затратным с точки зрения капитальных вложений, но в настоящее время эффективность промышленного процесса электролиза почти достигла теоретической и значительно уступает паровой конверсии метана по скорости и энергоэффективности, кроме того, электролиз требует предварительной водоподготовки. Поэтому существует необходимость разработки альтернативных методов получения водорода из различного доступного сырья.

Проведенные ранее эксперименты позволили установить, что в жидкости в интенсивном ультразвуковом поле выше порога кавитации может существовать новая форма электрического разряда, характеризующаяся объемным свечением во всем пространстве между электродами и возрастающей вольт – амперной характеристикой, присущей аномальному тлеющему разряду в газе. Такой разряд с развитой поверхностью микропузырьков может представлять интерес для создания новых акустоплазмохимических процессов, т.к. развитая поверхность раздела плазма-жидкость приводит к увеличению диффузионных потоков химически активных частиц из плазмы в жидкость. В таком разряде

потенциально возможно осуществить большое количество новых химических реакций. Предварительные эксперименты показали, что в результате разложения в акустоплазменном разряде жидких углеводородов образуются твердофазные углеродсодержащие продукты, происходят химические превращения в жидкой фазе и образуется водородосодержащий горючий газ [1,2].

Физико-химический принцип действия метода заключается в разложении в плазме сложных водородсодержащих молекул и их ионизации с последующей рекомбинацией с образованием простых молекул: H_2, H_2O, C, CO_2, MO_x, где M – материал плазменных электродов. Плазменный разряд, инициируемый в реакторе между металлическими и графитовыми электродами, поддерживается специально сконструированным источником постоянного или переменного напряжения, позволяющим исследовать влияние характеристик плазмы на скорость реакции и химический состав ее продуктов [1,2].

Результаты хроматографического анализа газовой смеси показывают, что при акустоплазменном разложении воды происходит образование практически чистого водорода (98%), при разложении органических жидкостей в состав выделяющегося газа входят также оксиды углерода, но их концентрация не превышает 5-6%, т.к. основное количество углерода при разложении органических жидкостей выделяется в виде твердого осадка – сажи.

Измерение количества газовой смеси, образующейся при разложении органических жидкостей показывает, что производительность сильно зависит от параметров разряда. В проводимых экспериментах ток разряда составляет от 4А до 8А, напряжение разряда в зависимости от типа жидкости составляет 30-45 В.

Побочным продуктом при получении водорода методом акустоплазменного разряда при разложении органических жидкостей является углерод, образующийся в виде агломератов наночастиц различного строения. Анализ этих наночастиц показал, что в ходе реакции могут быть получены углеродные волокна, нанотрубки, пластинки и т.д. Полученные наночастицы и их агломераты могут быть также использованы в качестве наполнителей, красителей, компонентов композиционных материалов и пр.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Президента Российской Федерации № МД-3964.2018.8.

Литература

1. Булычев Н.А. Плазменный разряд в жидкофазных средах под действием ультразвуковой кавитации как метод синтеза газообразного водорода / Н.А. Булычев, М.А. Казарян, А. Этираи, Л.Л. Чайков // Краткие сообщения по физике – 2018. – Т. 45 – № 9 – с. 11-16.

2. Bulychev N.A. Hydrogen Production by Low-Temperature Plasma Decomposition of Liquids / N.A. Bulychev, M.A. Kazaryan, A.S. Averyushkin, A.A. Chernov, A.L. Gusev // International Journal of Hydrogen Energy – 2017 – V. 42 – p. 20934-20938.

УДК 536.25

ПРИБЛИЖЕННОЕ АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ НЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТИ В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ

В.И. Ряжских[1], О.А. Семенихин[2], В.А. Сумин[3], А.А. Богер[4]
[1]Д-р тех. наук, профессор, ryazhskih_vi@mail.ru
[2]Канд. тех. наук, доцент, rv@bk.ru
ФГБОУВО «Воронежский государственный технический университет»
[3]Канд. физ.-мат. наук, доцент, vsum@rambler..ru
[4]Канд. тех. наук, доцент, a-boger@yandex.ru
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж).

Аннотация: Аналитически решена задача термоконцентрационной конвекции вязкой несжимаемой жидкости в прямоугольной области при заданном тепловом потоке через границу на основе физической линеаризации гидродинамической подзадачи в приближении Стокса. Решение представлено в виде сходящихся двойных рядов. Вычислительный эксперимент подтвердил корректность применения принятых допущений.

Ключевые слова: термоконцентрационная конвекция,ньютоновская жидкость, граничные условия второго рода, функция тока, уравнения Стокса, прямоугольная область.

Рассматривается задача термоконцентрационной конвекции вязкой несжимаемой жидкости в прямоугольной области при заданном тепловом потоке через границу, которая формализуется с помощью уравнений Обербека-Буссинеска в приближении Стокса для термоконцентрационнойзадачи имеют вид [1]. Несопряженный характер системы позволяет независимо использовать для анализа решения тепловой и концентрационной подзадач при отыскании безразмерной функции тока Ψ.

$$T(X,Y,\theta)=\Lambda(X,Y,\theta)+\frac{2}{\varsigma+1}X^2-X+\frac{1}{2}(Y-1)^2-\frac{\varsigma-1}{\varsigma+1}(1-Y)\exp(Y-b), \quad (1)$$

$$C(X,Y,\theta)=2A^*\,\mathrm{Sc}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{\cos(\alpha_k d)-1}{\alpha_k}\left\{\frac{1}{\mathrm{A}\cdot\mathrm{Sc}+\alpha_k^2}\exp(\mathrm{A}\theta)-\right.$$

$$-\frac{\mathrm{ch}\left[\sqrt{A\cdot\mathrm{Sc}+\alpha_k^2}(b-Y)\right]}{(A\cdot\mathrm{Sc}+\alpha_k^2)\mathrm{ch}\sqrt{A\cdot\mathrm{Sc}+\alpha_k^2}}\exp(\mathrm{A}\theta)-$$

$$\left.-2\sum_{g=1}^{\infty}\frac{\cos\left[\frac{\beta_g}{b}(b-Y)\right]}{(\beta_g^2+\alpha_k^2+A\mathrm{Sc}\cdot b^2)\beta_g\sin\beta_g}\exp\left(-\frac{\frac{\beta_g^2}{b^2}+\alpha_k^2}{\mathrm{Sc}}\theta\right)\right\}\sin(\alpha_k X), \quad (2)$$

где функция $\Lambda(X,Y,\theta)$ структурно представляет собой двойные ряды Фурье, $\varsigma = \frac{h_1}{h_2}$, A^*, A– константы, характеризующие кинетику растворения осадка,Sc-число Шмидта, $\alpha_k = \frac{\pi k}{d}$, $\beta_g = \frac{\pi}{2} + \pi g$, $d = \frac{\varsigma+1}{2}$, $b = \frac{\varsigma+1}{2\varsigma}$.

Используя (1), (2) и двухкратно применяя конечное интегральноесинус-преобразование Фурье [2] по геометрическим координатам со специально сконструированными коэффициентами разложения L_j , Q_j и F_i , которые определяются из граничных условий, получено решение задачитермоконцентрационной конвекции

$$\Psi(\mathrm{X},\mathrm{Y},\theta) = 4\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty}\frac{1}{p_i^2+\eta_j^2}\Big[p_i\left(\cos(p_i a)\cdot L_j - Q_j\right)\cdot M(p_i,\eta_j,\theta) -$$

$$-\eta_j\cdot F_i\cdot N(p_i,\eta_j,\theta) + e^{-\left(p_i^2+\eta_j^2\right)\theta}\cdot\int_0^{\theta}\Phi(\theta)\cdot e^{\left(p_i^2+\eta_j^2\right)\theta}\,\mathrm{d}\theta\Big]\sin(p_i\,\mathrm{X})\sin(\eta_j\,\mathrm{Y}), \qquad (3)$$

$$\sin(p_i d) = 0;\ \sin(\eta_j\, b) = 0.$$

Вычислительный эксперимент показал, что динамика течения жидкости соответствует известным представлениям о термоконцентрационной конвекции[3].

Литература

1. Хаппель Дж. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса / Дж. Хаппель, Г. Бреннер – М.: Мир, 1976. – 630с.

2. Снеддон И. Преобразования Фурье. – М.: Изд-во Ин. лит-ры. – 1955. – 655 с.

3. Mobedi M. Visualization of diffusion and convection heat transport in a square cavity with natural convection / M. Mobedi, U. Ozkol, B. Sunden // Int. J. Heat Mass Transfer. – 2010. – №53. – P. 99–109.

УДК: 620.92

ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДНО-КИСЛОРОДНЫХ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПГУ

А.И. Счастливцев[1], В.И. Борзенко[2]
[1]Канд. техн. наук, h2lab@mail.ru@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, зав. лабораторией, borzenko1971@gmail.com
ФГБУН Объединенный институт высоких температур РАН

Аннотация. В данной работе предложено применение водородно-кислородных парогенераторов (ВКП) для повышения надежности функционирования парогазовых установок (ПГУ). Для различных типов, широко используемых в России ПГУ, рассмотрены соответствующие схемы подключения ВКП. Предложено использовать линейку ВКП различной мощности, которые можно использовать как поодиночке, так и в любом сочетании. Таким путем обеспечивается адекватная реакция на различные значения снижения частоты. Предусмотрены средства, которые по мере увеличения производительности котла-утилизатора, обеспечивают как ступенчатое, так и плавное уменьшение общей мощности включенных ВКП. Показано, что ВКП, являясь достаточно мощным и быстро мобилизуемым источником энергии, в случае системной аварии могут быть применены для восстановления работоспособности как собственной ПГУ, так и иного оборудования энергосистемы.

Ключевые слова: частота в энергосистеме, ПГУ, паросиловая часть, газовая турбина, паровая турбина, водородно-кислородный парогенератор, мощность, инерционность.

В последние годы (2010 – 2015) в энергетике России происходило существенное наращивание генерирующих мощностей. Как видно из материалов отчетов ОАО «СО ЕЭС» [1] разница между вводом и выводом мощностей обгоняет рост выработки электроэнергии. Если мощность ЕЭС России за эти годы выросла на 9,51%, то выработка – только на 2,21%.

В тепловой энергетике ввод мощностей происходил, в основном, за счет строительства ПГУ, значительно более экономичных, чем ПСУ. Одновременно из эксплуатации выводилось выработавшее ресурс неэкономичное паросиловое оборудование. Доля мощности ГТУ и (преимущественно) ПГУ в ЕЭС России за эти годы выросла с 3,6% до 16,4%.

С точки зрения динамики участия в регулировании частоты ПГУ имеют меньшие возможности, чем ПСУ. Если для ПСУ допустимо практически мгновенное изменение мощности в пределах 5% путем перемещения регулирующих клапанов паровой турбины, то для газовой турбины, работающей при существенно более высоких температурах, изготовитель оборудования накладывает ограничение на допустимую скорость изменения нагрузки. В значительно большей степени физически ограничена скорость изменения мощности ПТ ПГУ, что связано с большой инерционностью котла-утилизатора, а также тем, что для повышения экономичности ПТ, имеющая дроссельное парораспределение, постоянно работает с полностью открытыми клапанами. Показатели инерционности паровой турбины ПГУ практически на

порядок превышают инерционность турбины паросилового энергоблока. Таким образом, почти треть мощностей ПГУ не может участвовать в быстром увеличении частоты.

Одним из путей решения проблемы является повышение маневренности ПГУ в направлении быстрого увеличения мощности. Возможность быстрого изменения мощности ПГУ только за счет традиционного воздействия на расход топлива приводит к перерегулированию газовой турбины. При этом, использование перерегулирования снижает ресурс технологического оборудования и регулирующих органов, что увеличивает затраты на проведение ремонтных работ.

Избавиться от необходимости поддержания избыточного резерва и обеспечить хорошие динамические характеристики регулирования мощности ПГУ возможно путем подачи дополнительного пара от водородно-кислородных парогенераторов на вход паровой турбины ПГУ [2, 3]. Применение ВКП может почти в полтора раза увеличить первоначальную реакцию ПГУ на понижение частоты и исключает необходимость поддержания избыточного резерва мощности ПГУ. Вместе с тем, из-за высокой стоимости электролизного оборудования, используемого для получения водорода и кислорода, ВКП имеет смысл включать только при достаточно значительных снижениях частоты, например, до 49,95 Гц. на время порядка 5 - 7 минут, достаточное для окончания переходного процесса увеличения мощности паровой турбины. С учетом этого затраты на создание дополнительного высокоманевренного парогенерирующего оборудования на основе ВКП оцениваются в 150 $/кВт электрической мощности. Если учесть, что сама требуемая дополнительная электрическая мощность не превышает 10% мощности ПГУ, увеличение капитальных затрат в ПГУ при включении в ее состав парогенерирующего оборудования на основе ВКП составит порядка 1,5%.

Работа выполнена в рамках госзадания ОИВТ РАН на 2018 г.

Литература

1. ОАО «СО ЕЭС». Отчеты о функционировании ЕЭС России в 2010 – 2015 годах.

2. Шапиро В.И., Малышенко С.П., Реутов Б.Ф. «Повышение маневренности ПГУ при использовании водородно-кислородных парогенераторов» // Теплоэнергетика. №9, 2011, С. 35 – 40.

3. Малышенко С.П., Пригожин В.И., Рачук В.С. «Водородо-кислородные парогенераторы» // Современное машиностроение. 2-3 (8-9) 2009 г., С. 54 - 59.

УДК 621.313.3; 004.942

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMULINK ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ САМОЛЕТОВ

А.С. Бочаров
Канд. техн. наук, доцент, bocharov_a_s@mail.ru
ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Аннотация. В работе раскрываются возможности программы Simulink, как графической среды имитационного моделирования, позволяющей с высокой наглядностью реализовывать и исследовать имитационные модели сложных технических систем. В качестве примера рассматривается разработка в программе Simulink имитационной модели электроэнергетического комплекса самолета, описывается виртуальная панель управления и визуализации различных режимов функционирования в нормальных и аварийных режимах, приводятся результаты моделирования.

Ключевые слова: электроэнергетический комплекс, система электроснабжения, самолет, simulink.

Графическая среда имитационного моделирования Simulink [1] является признанным и апробированным инженерным сообществом инструментом моделирования и исследования сложных технических систем. Для специалистов электроэнергетического профиля в данной среде моделирования найдутся простые решения для разработки имитационных моделей сложных электроэнергетических комплексов (ЭЭК), в том числе, системы электроснабжения (СЭС) самолета. Имитационная модель имеет аналогичную визуальную структуру реальной рассматриваемой системы, учитывающей всевозможные взаимосвязи составных элементов, а возможности среды Simulink позволяют создать необходимые элементы графического интерфейса, с помощью которого возможно управлять динамикой модели и вывощдить результаты исследований в удобном пользователю формате.

В качестве объекта исследования выбран ЭЭК самолета, общие принципы построения которого изложены в [2]. На рисунке приведена имитационная модель части ЭЭК самолета – СЭС постоянного тока.

Структура имитационной модели и принципы ее функционирования максимально приближены, с рядом допущений и оговорок, к работе реальной СЭС постоянного тока самолета.

СЭС постоянного тока является вторичной системой и в качестве входного напряжения для нее используется, условно идеальная, стабилизированная СЭС переменного тока 208/120 В, частотой 400 Гц, реализованная в виде имитационной модели, представленной блоками «СЭС 208 В, 400 Гц Левый борт» и «СЭС 208 В, 400 Гц Правый борт».

Источниками электроэнергии СЭС постоянного тока являются выпрямительные устройства ВУ-6Б №1 левого борта, ВУ-6Б №2 правого борта и резервное ВУ-6Б №3. В состав модели входят блоки элементов СЭС,

коммутационная аппаратура и стандартные блоки Simulink для вывода графиков параметров СЭС; блок реализации различных режимов работы СЭС – «Блок управления режимами работы».

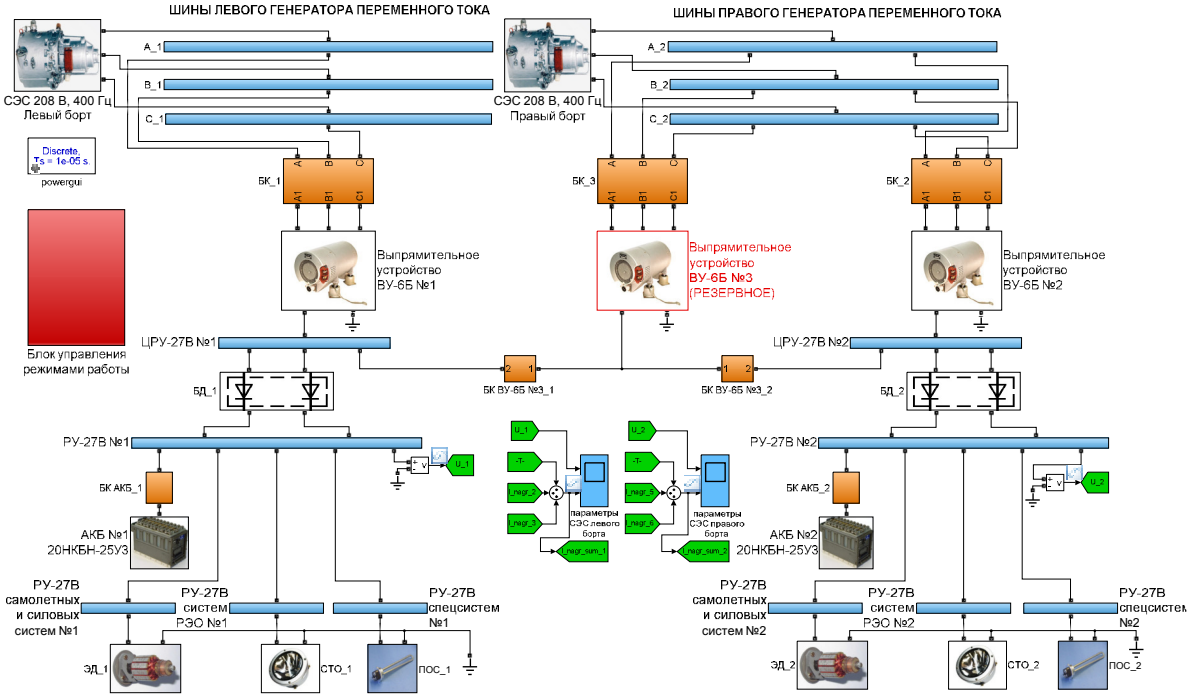


Рис. Имитационная модель СЭС самолета

В рассматриваемой имитационной модели «Блок управления режимами работы» связан с панелью визуализации и управления режимами работы, которое собрано из элементов библиотеки Dashboard и позволяет включать аварийные режимы работы СЭС постоянного тока самолета при отказах одного, двух и трех выпрямительных устройств, а также визуализировать данные режимы.

В качестве результатов моделирования приводятся графики изменения параметров СЭС постоянного тока при различных вариантах отключения источников электроэнергии.

Полученный опыт разработки можно использовать для разработки аналогичных имитационных моделей различной степени сложности для исследования ЭЭК самолетов различных типов.

Литература

1. Дьяконов, В. П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.

2. Бочаров А.С., Губанов К.А., Евдокимов Я.А. Разработка элементов электроэнергетического комплекса летательного аппарата в среде структурно-визуального моделирования Simulink / Труды научно-технической конференции «Электрификация летательных аппаратов» / Сборник докладов. – М.: ИД Академии Жуковского, 2016. – С. 49 – 59.

УДК: 004: 621.039

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА МЕЖДУ ПОДСИСТЕМАМИ АСУТП ЯДЕРНОГО БЛОКА

Д.В. Терехов[1], А.Д. Данилов[2]
[1]Начальник ЦТАИ, terehovdv@nvnpp1.rosenergoatom.ru
филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»
[2]Д-р техн. наук, профессор, профессор, danilov-ad@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В данной работе рассмотрены проблемы функционирования общей коммуникационной шины, являющейся основным связующим элементом в между составными частями системы управления ядерным блоком. Предложены решения повышения эффективности и надежности ее работы.

Ключевые слова: коммуникационная шина, широковещательные сообщения, петля коммуникации.

Общая коммуникационная шина является проблемным компонентом в системах управления современных ядерных блоков, что создает реальную угрозу безопасности функционирования потенциально опасных атомных объектов. Поэтому задача повышения эффективности и надежности информационного обмена между подсистемами АЭС является актуальной в настоящее время[1]. Опасен не столько разрыв информационной цепи (сетевые топологии позволяют и дальше функционировать при единичных отказах или нарушениях кольца), сколько «забивание» шины большим количеством диагностических широковещательных сообщений, которые активно используются сетевыми сервисами для оповещения участников информационного обмена о своем присутствии и состоянии. Считается нормальным, если широковещательные пакеты составляют не более 10 % от их общего числа в сети. В случае, если широковещательные сообщения не находят своего адресата или не успевают обрабатываться центральными процессорными модулями участников информационного обмена, возникает лавинообразный процесс их размножения (сообщений предназначенных всем), что парализует работу сети, и, как результат, система управления ядерным блоком перестает функционировать. Данное явление в сетевых технологиях называют «широковещательный шторм» (англ. broadcaststorm) - лавина широковещательных пакетов. При возникновении такой ситуации оператор ядерного блока не видит истинного состояния технологического процесса. Технологические алгоритмы, заложенные в программно-технический комплекс не получают достоверной информации и формируют ложные управляющие команды. Динамическая устойчивость блока теряется и происходит срабатывание защит или систем безопасности, инициированных либо действиями оператора в соответствии с требованиями технологического регламента, либо достижением одним из параметров значения уставки по эксплуатационному пределу. Ядерный блок отключается от сети и реакторная установка переводится в подкритичное состояние [2]. Петля коммуникации –

это логическое кольцо для проходящего сигнала, организационно представляемая как раздача информации от коммутатора самому себе. В этом случае сегмент сети начинает работать исключительно на передачу данных по этому кольцу и «забивает» весь полезный трафик. Поэтому на повестку дня в таких ситуациях встает вопрос правильной конфигурации сети. Все работы, которые связаны с переключениями на общей шине, должны выполняться по тщательно регламентированному алгоритму с пошаговым контролем выполняемых действий. Неисправное сетевое оборудование также может генерировать поток широковещательных сообщений, а значит, при превышении нормированного количества широковещательных сообщений, создаваемого конкретным абонентом, его необходимо локализовать и отключить от сети. Для установления рисков отказа общей шины на Нововоронежской АЭС был выполнен анализ устойчивости блока при потере шины и рассмотрены возможные меры по стабилизации ситуации, что позволило разработать первоочередные мероприятия, направленные на повышение надежности работы ядерных энергетических установок. Основная концепция мероприятий заключается в следующем [3]:

- обеспечение автоматического восстановления работоспособности общей шины за заданное время;
- работоспособность защит основного оборудования не должна зависеть от работоспособности общей шины;
- обеспечение работоспособности основных регуляторов в течение не менее 5 мин после отказа общей шины;
- необходимая информация по параметрам, характеризующих работу в этом режиме, должна присутствоватьна экране блочного пульта управления.

Литература

1. В.П. Поваров, М.Б. Бакиров, А.Д. Данилов Автоматизированная система многопараметрического мониторинга параметров состояния энергетических установок АЭС / Воронеж: Издательство «Научная книга», 2017.- 244 с.

2. A. Danilov, V. Burkovsky, S. Podvalny, K. Gusev, V. Povarov A.Intellectual decision-making system in the context of potentially dangerous nuclear power facilities / MATEC Web of Conferences, 13.Ser."13th International Scientific-Technical Conference on Electromechanics and Robotics.- 2018.-С. 2009-2014.

3. Д.В. Терехов, Е.В. Сидоренко, А.Д. Данилов Тенденции развития АСУТП на Нововоронежской АЭС / Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика.- 2017.- №3.- С. 66-76.

УДК: 621.382

ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ АККУМУЛЯЦИИ И ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ МОДУЛЕЙ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

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

Аннотация. Анализируются факторы, определяющие длительную работу суперконденсаторов в составе модулей. Рассматриваются принципы балансировки токов утечки суперконденсаторов при последовательном соединении элементов. Обосновывается применение устройства, разработанного и серийно выпускаемое фирмой Advanced Linear Devices (ALD). Устройство обеспечивает балансировку при значительной разнице токов утечки суперконденсаторов (100: 1) при низкой рассеиваемой мощности.

Ключевые слова: суперконденсаторы, емкость, энергия, мощность, методы балансировки

Суперконденсаторы являются электрическими устройствами для накопления электрической энергии, которые обеспечивают высокую плотность мощности, экстремально высокую циклическую способность и механическую устойчивость. Последние улучшения в технологии суперконденсаторов дали возможность для их применения в фотовольтаичной электронике, устройствах высокой мощности, в системах регенерации энергии медицинского и телекоммуникационного оборудования [1]. В суперконденсаторах минимальная толщинf слоя Гельмгольца и большая удельная поверхность электродного материала на основе углерода, которая может достигать до 3000 м^2/г дают высокую емкость, вплоть до 5000 Ф на элемент. Основными параметрами суперконденсатора являются емкость (C) , эквивалентное последовательное сопротивление (ESR) и токи утечки/саморазряда, которые характеризуют способность сохранять электрический заряд (энергию), эффективность в период циклов заряд/разряд и способность удерживать энергию после заряда. Суперконденсаторы способны подвергаться нескольким сотням тысяч циклам заряда-разряда, так как химические реакции на электродах не имеют места. Следовательно, в противоположность электрохимическим батареям, долговечность суперконденсаторов в большинстве промышленных приложениях не ограничена циклической нагрузкой. Вместо этого процессы старения суперконденсаторов в большинстве случаев управляются температурой и напряжением на элементе, которые имеют влияние на срок службы приборов [рис 1]. Напряжение на суперконденсаторе зависит от различных факторов, таких как профиль тока в специфических приложениях, емкость элементов, допусков производства и скорости саморазряда, числа элементов соединенных последовательно и электроники балансировки напряжения.

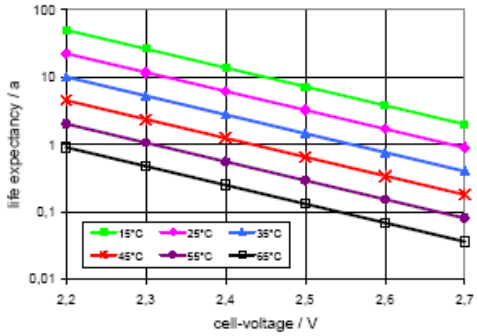


Рис.1. Зависимость срока службы суперконденсаторных ячеек от рабочего напряжения и температуры. Верхняя кривая показывает продолжительность (срок) службы при 15°С, нижняя кривая при 65°С.

Статистическое распределение значений емкости и скорости саморазряда приводят к неравному распределению напряжения и, как следствие, к различным долговечностям элементов, которые уменьшают надежность полной системы. Для гарантии адекватной долговечности модуля, различия в напряжениях элементов вызванные статистическим распределением индивидуальных параметров, должны быть минимизированы схемами выравнивания элементов [Рис. 2].

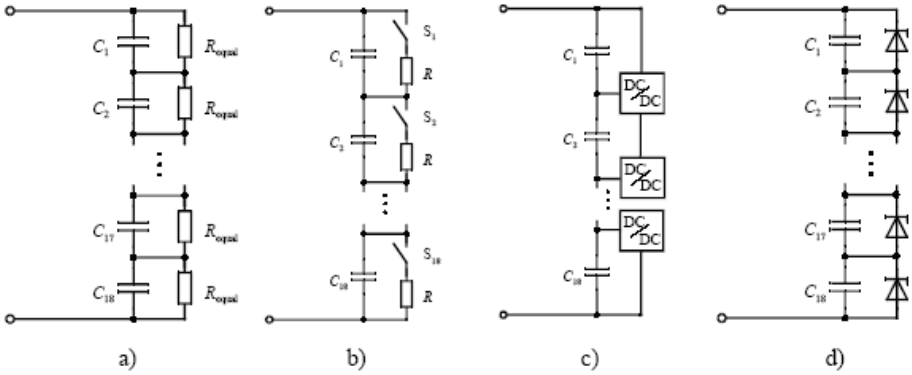


Рис. 2. Схемы выравнивания напряжения ячеек: а) резистивные б) подключаемые резисторы в) конверторы постоянного тока г) зенеровские диоды

Анализируется возможность применения стандартных модулей для балансировки напряжения, производимых фирмами Texas Instruments и Advanced Linear Levices для регулирования и балансировки токов утечки в блоках последовательно соединенных суперконденсаторов.

Литература

1. Акулинин С.А. Принцип работы и классификация суперконденсаторов / С.А. Акулинин, Т.С. Наролина, П.А. Садковой //Межвузовский сборник научных трудов «Твердотельная электроника, Микроэлектроника и наноэлектроника».- Воронеж – 2016. С. 137-142.

2. URL: http://www.aldinc.com/ald_precision-supercap-auto-balancing-sab-mosfets.php

УДК: 621.438.016.4

ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК ГТД

И.Ш. Зарипов[1], А.В. Щукин[2], А.В. Ильинков[3], В.В. Такмовцев[4], И.И. Хабибуллин[5], А.С. Рыбаков[6]
[1]Аспирант, ilnar_z@bk.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, a.v.shchukin@rambler.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, ailinkov@mail.ru
[4]Канд. техн. наук, доцент, vvt379@rambler.ru
[5]Канд. техн. наук, доцент, rim3li490@mail.ru
[6]Магистрант, miraculous4305@gmail.com
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

Аннотация. В данной работе рассмотрены основные проблемы, возникающие при разработке охлаждаемых турбин современных авиационных ГТД. Проанализированы пути повышения энергоэффективности сопловых и рабочих лопаток за счет совершенствования их систем охлаждения.

Ключевые слова: турбина, лопатки, система охлаждения, энергоэффективность.

Обеспечение надежной работы горячих узлов газотурбинных двигателей и установок при температурах газа перед турбиной 1900-2000 К связано с решением сложных технических задач (см., например, [1,2]). Это касается, в основном, создания систем воздушного охлаждения турбин высокого давления (ВД).

Для того, чтобы создаваемая турбина ВД превосходила по удельным параметрам низкотемпературные аналоги, необходима разработка мероприятий, парирующих отрицательное воздействие дополнительных потерь энергии в турбине от охлаждения. Практически речь идет об энергосберегающих мероприятиях – об экономии охлаждающего воздуха, сжатого в компрессоре газогенератора до (3…4) МПа. Ведь известно, что увеличение относительного расхода охлаждающего воздуха на 1% приводит к сопутствующему снижению к.п.д. турбины на 1…1,5 %. Практически все нижеперечисленные мероприятия направлены на снижение расхода охлаждающего воздуха в турбине ВД. Экономия охлаждающего воздуха при высокоэффективном использовании его в системах охлаждения турбинных лопаток – актуальная проблема современного авиадвигателестроения.

Для решения этой проблемы предприятиям, разрабатывающим новые высокотемпературные газовые турбины, приходится идти на приобретение и использование дорогостоящих коммерческих пакетов прикладных программ для проведения термогазодинамических и прочностных расчетов охлаждаемых турбинных лопаток.

Высокий уровень температур газа не позволяет исключить пленочное охлаждение профильной части турбинных лопаток. Известно, что традиционные двух-трехрядные пояски цилиндрических отверстий из-за

слишком высоких параметров вдува имеют низкую эффективность пленочного охлаждения непосредственно за сечением вдува. В связи с этим, следует переходить на отверстия диффузорного типа, которые обеспечивают не только настильную траекторию вдуваемого в основной поток охлаждающего воздуха, но и позволяет снизить параметр вдува до оптимального ($m \approx 0,5$), [3]. Имеющиеся публикации убедительно демонстрируют необходимость перехода на веерные отверстия для пленочного охлаждения.

Для изготовления турбинных лопаток с мелкоканальными системами охлаждения требуются разработки в области аддитивных технологий. Технологические трудности здесь усугубляется уменьшающимися размерами турбинных лопаток по причине выхода турбины ВД на более высокие давления потока газа - (3...4) МПа. Охлаждаемые высокотемпературные турбины требуют разработки эффективных систем конвективно-пленочного охлаждения полок соплового аппарата, поскольку конвективного охлаждения импактными струями не достаточно для обеспечения заданного ресурса.

Для повышения эффективности охлаждения турбинных лопаток, особенно лопаток турбины ВД, было выполнено и проводится в настоящее время большое количество экспериментальных исследований теплоотдачи и гидравлического сопротивления различных интенсификаторов теплообмена для определения наиболее энергоэффективных их вариантов, [4].

Важным фактором повышения ресурса рабочих лопаток турбин ВД является нанесение на внешнюю поверхность термобарьерного покрытия, повышающего не только жаропрочность лопатки, но и ее жаростойкость [2]. Отметим, что для эксплуатации лопаток с термобарьерными покрытиями необходимы испытания таких лопаток на малоцикловую усталость.

Литература

1. Арбеков А.Н. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок: учебник для вузов / А.Н. Арбеков и др. под общей редакцией А.Ю. Вараксина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 667с.

2. Нагога Г.П. Эффективные способы охлаждения лопаток высокотемпе-ратурных газовых турбин: учебное пособие/ Г.П. Нагога. – М.: Изд-во МАИ, 1996. – 100 с.

3. Тихонов, А.С. Исследование влияния формы профилированных отверстий перфорации на эффективность пленочного охлаждения плоских пластин и спинок лопаток газовых турбин / А.С. Тихонов // Сборник тезисов «Научно-технический прогресс по двигателестроению (НТКД-2010)», г. Москва, 15-16 апреля 2010 г., С.55-57.

4. Гортышов Ю.Ф. Теплогидравлическая эффективность перспективных способов интенсификации теплоотдачи в каналах теплообменного оборудования. Интенсификация теплообмена: монография/ Ю.Ф. Гортышов, И.А. Попов, В.В. Олимпиев, А.В. Щелчков, С.И. Каськов; под общ. ред. Ю.Ф.Гортышова. – Казань: Центр инновационных технологий, 2009. – 531с.

УДК: 621.793.74: 519.873

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛА В ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ДЕТАЛИ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ

Г.И. Трифонов[1], С.Ю.Жачкин[2], М.Н. Краснова[3], Н.А. Пеньков[4]
[1]Соискатель, grishakip@yandex.ru
[1]Д-р техн. наук, профессор,zhach@list.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, krasnovam27@mail.ru
[3]Канд. техн. наук, myth_np_nikit@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
ВУНЦ ВВС «ВВА именипрофессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»

Аннотация. В данной работе смоделирована система уравнений для прогнозирования распространения тепла в сложно профильных деталях при плазменном напылении.

Ключевые слова: плазменное напыление, прогнозирование, температура нагрева, деталь, скорость перемещения, плазмотрон.

Данная работа посвящена актуальной проблеме прогнозирования распространения тепла в обрабатываемых сложно профильных деталях при плазменном напылении.

Уравнение процесса распространения тепла от плазменной струи в обрабатываемой детали имеет вид [1]:

$$T - T_0 = \frac{Q}{2\pi\lambda v} \times \frac{\exp\left(\frac{z_1}{4at}\right)}{\sqrt{t\left(t_0 + t\right)}} \qquad (1)$$

гдеТ – температура нагрева детали (К); То– температура тела (К); y, z_1 – ширина и глубина пятна нагрева (мкм); t – время (сек); t_0 – длительность распространения фиктивного источника (сек); Q – эффективная мощность плазменной дуги (Вт); υ – скорость перемещения источника теплоты (м/с); λ – коэффициент теплопроводности (Вт/мК); а - коэффициент температуропроводности.

Как видно из формулы (1) одним из важных факторов, влияющих на величину температуры нагрева детали при плазменном напылении, является скорость перемещения плазмотрона v относительно обрабатываемой поверхности.

Опираясь на работу [2], коллективом авторов были разработаны уравнения скорости перемещения плазмотрона для различных поверхностей деталей [3].

Результаты и их обсуждение. С помощью формулы (1) можно спрогнозировать температуру нагрева детали, но для более точного значения температуры при плазменном напылении стоит внести некоторые математические корректировки.

Основываясь на работах А.Ф. Ильющенко [4] и А.Ф. Пузрякова [2] введем уравнения для определения коэффициента температуропроводности и коэффициента теплопроводности.

В итоге, учитывая внесенные математические корректировки, составляем систему уравнений для прогнозирования температуры нагрева деталей со сложно профильными поверхностями при плазменном напылении:

$$T_д = \frac{Q}{2\pi\lambda_M^{1-P}\lambda_B^P\sqrt{\left(\frac{d\rho}{dt}\right)^2+\beta\varphi^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2}}\times\frac{\exp\left(\frac{z_1 c\rho_{пп}}{4t\lambda_M^{1-P}\lambda_B^P}\right)}{\sqrt{t\left(t_0+t\right)}}+T_0$$

$$T_ц = \frac{Q}{2\pi\lambda_M^{1-P}\lambda_B^P\sqrt{R^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2+\left(\frac{dz}{dt}\right)^2}}\times\frac{\exp\left(\frac{z_1 c\rho_{пп}}{4t\lambda_M^{1-P}\lambda_B^P}\right)}{\sqrt{t\left(t_0+t\right)}}+T_0$$

$$T_к = \frac{Q}{2\pi\lambda_M^{1-P}\lambda_B^P\sqrt{\left(\frac{d\rho}{dt}\right)^2+\left(tg\psi\beta_z\varphi\right)^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2+\left(\frac{dz}{dt}\right)^2}}\times\frac{\exp\left(\frac{z_1 c\rho_{пп}}{4t\lambda_M^{1-P}\lambda_B^P}\right)}{\sqrt{t\left(t_0+t\right)}}+T_0$$

$$T_в = \frac{Q}{2\pi\lambda_M^{1-P}\lambda_B^P\sqrt{\left(\frac{\pi\left(\sqrt{D^2\left(1+tg\varphi_1\right)-D_1^2\left(1+tg\varphi_1\right)}\right)}{\alpha}\right)^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2+\left(\frac{dz}{dt}\right)^2}}\times\frac{\exp\left(\frac{z_1 c\rho_{пп}}{4t\lambda_M^{1-P}\lambda_B^P}\right)}{\sqrt{t\left(t_0+t\right)}}+T_0 \qquad (2)$$

где ρ, φ, z – цилиндрические координаты; β – шаг спирали траектории перемещения центра пятна напыления по поверхности; β_z – шаг проекции траектории перемещения центра пятна напылениянa ось z; tgψ– угол раскрытия конуса; R – радиус цилиндра (мм); D – внешний диаметр винтовой линии (мм); φ_1 – угол крутизны подъема; α – угол выреза; $\frac{d\varphi}{dt}$ – скорость вращения обрабатываемой детали (м/с); $\frac{dz}{dt}$ – продольная скорость перемещения инструмента (м/с); $\frac{d\rho}{dt}$ – радиальная скорость перемещения инструмента (м/с); с – теплопроводность (Вт/мК); $\rho_{пп}$ – плотность плазменного покрытия (кг/м^3); λ_M – коэффициент теплопроводности материала покрытия (Вт/мК); гдеλ_B – коэффициент теплопроводности воздуха (Вт/мК); P – пористость покрытия.

Литература

1. Соснин Н.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров / Н.Е. Соснин, С.А. Ермаков, П.А. Тополянский // СПб: Изд-во Политехи, ун-та, 2013. – 406 с.

2. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления // Учеб. Пособие по курсу «Технология конструкций из металлокомпозитов». 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Е. Баумана, 2008. – 360 с.

3. Трифонов Г.И.Моделирование кинематики плазменного напыления на сложнопрофильные поверхности / Г.И. Трифонов, С.Ю. Жачкин, М.Н. Краснова, Н.А. Пеньков // Труды ГОСНИТИ. – 2017. – Т. 128. – С.133-139.

4. Ильющенко А.Ф. Процессы формирования газотермических покрытий и их моделирование / А.Ф. Ильющенко, А.И. Шевцов, В.А. Оковитый, Г.Ф. Громыко // Минск: Беларус. навука, 2011. – 357 с.

УДК: 004: 681.518.5

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

М.В. Аленичев[1], А.Д. Данилов[2]
[1]Инженер по метрологии 1 кат. AlenichevMV@nvnpp1.rosenergoatom.ru
филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»
[2]Д-р техн. наук, профессор, danilov-ad@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В данной работе рассматривается создание мобильного программно-технического комплекса для диагностики и контроля точностных характеристик подсистем АСУ ТП ядерных энергетических установок. ПТК позволит сократить трудозатраты без снижения качества проводимых работ.

Ключевые слова: АСУ ТП, ПТК, диагностика, метрология, измерительная система.

Ядерные энергетические установки (ЯЭУ) являются объектами повышенной радиационной опасности. К их безопасности предъявляются очень высокие требования.

Работа ЯЭУ - это совокупность сложных технологических процессов, которые требуют постоянного контроля для поддержания заданных параметров нормальной эксплуатации и выполнения алгоритмов безопасности при их нарушении.

Контроль и управление всеми технологическими процессами осуществляется с помощью системы автоматизированного управления технологическими процессами. АСУ ТП имеет сложную структуру, включающую в себя программно-технические комплексы для обработки данных и управления технологическими процессами, средства измерения для сбора и отображения технологических параметров, важных для эксплуатации (температура, расход, давление, уровень и т.д.) [1]. Частью АСУ ТП являются информационные системы, обеспечивающие сбор и выдачу в удобном виде информацию о ходе технологического процесса. В результате соответствующих расчётов определяют, какие управляющие воздействия следует произвести, чтобы управляемый процесс протекал наилучшим образом. Основная роль принадлежит человеку, а машина играет вспомогательную роль, выдавая для него необходимую информацию. Для оператора важно получать достоверные данные с заданной точностью. Поэтому необходимо выполнять периодический контроль и диагностику всех замеров важных для эксплуатации [2].

Для обеспечения периодической диагностики достоверности и точности показаний измерительных систем требуются значительные временные и человеческие ресурсы [6]. Учитывая особенности эксплуатации ЯЭУ и их строгий регламент проведения ремонтных мероприятий, задача становится еще сложнее.

Большинство измерительных систем используемых для работы ЯЭУ относятся к типу ИС-2 - проектируемые для конкретных объектов из

компонентов ИС, выпускаемых, как правило, различными изготовителями, и принимаемые как законченные изделия непосредственно на объекте эксплуатации. В этом случае применяется покомпонентный способ поверки [2].

Для сокращения трудозатрат без снижения качества выполняемой диагностики оборудования, предлагаем использовать мобильный программно-технический комплекс, который позволит имитировать на входе ПТК ИС аналоговый сигнал приходящих датчиков и контролировать точность показаний передаваемых оператору.

Комплекс состоит из устройства автоматического переключения между задаваемыми сигналами, калибратора и программного обеспечения, выполняющего управление устройством переключения и калибратором в соответствии с определенным алгоритмом (рис.1).

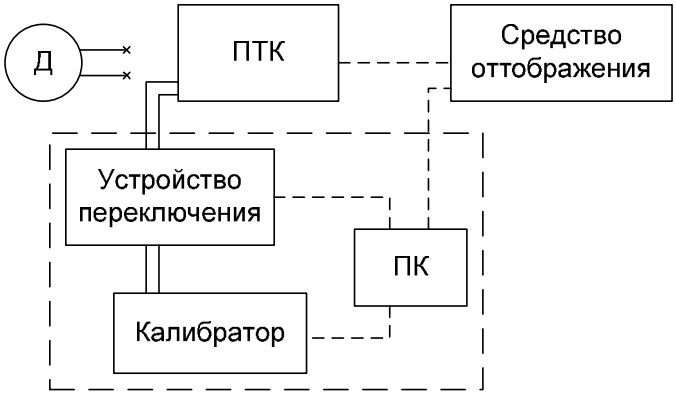


Рис.1. Структура ПТК диагностики оборудования

ПТК обеспечивает реализацию следующих основных функций:

- имитацию сигналов первичных преобразователей технологических параметров посредством генерации электрических сигналов;
- прием информации по сети типа Ethernet от сервера, расчет погрешности измерительных каналов;
- формирование и сохранение на электронном носителе протоколов проведения диагностики.

Литература

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. «Теория систем автоматического управления. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2003. – 747 с.
2. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения. ГОСТ Р 8.596-2002
3. Анхимюк В.Л., Олейко О.Ф., Михеев Н.Н. «Теория автоматического управления». – М.: Дизайн ПРО, 2002. – 352 с.: ил.
4. Руководство по эксплуатации на ПТК ТПТС
5. Руководство по эксплуатации на ПТК TXS AREVA
6. Метрологическое обеспечение атомных станций. Основные положения. ГОСТ Р 8.565-2014.

УДК: 621.31:623.486

ПРОЕКТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ МИКРОСЕТИ: ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕХНОЛОГИИ И ОБУЧЕНИЕ

А.Б. Петроченков[1], А.В. Ромодин[2], А.В. Ляхомский[3], Т. Франк[4]
[1]Зав.кафедрой, канд. техн. наук, доцент, pab@msa.pstu.ac.ru
[2]Канд техн. наук, доцент, romodin@msa.pstu.ac.ru
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
[3]Зав. кафедрой, д-р техн. наук, профессор, lav.eegp@mail.ru
ФГАОУ ВО ««Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»»
[4]Директор, thomas.frank@envidatec.com, Envidatec GmbH (Гамбург, ФРГ)

Аннотация: в данной работе рассматривается концепция гибкой масштабируемой интеллектуальной микросети на базе энергетической системы кампуса университета. Проект является полигоном технологических и исследовательских решений в области энергосбережения. Внедрена сетевая магистерская программа.

Ключевые слова: интеллектуальная микросеть, энергоэффективность, концептуальное проектирование, сетевая магистерская программа.

Основной целью данного проекта является разработка концепции и создание гибкой масштабируемой интеллектуальной микросети с основанной на стандартах [1, 2] архитектурой на базе энергетической системы микрорайона «Комплекс ПНИПУ» с двусторонней коммуникацией.

Электроснабжение комплекса Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ) осуществляется от подстанции «Бор» 110/10/6 кВ по кабельным линиям 6/10 кВ на трансформаторные подстанции (ТП) комплекса ПНИПУ. ТП имеют трансформаторы мощностью от 250 до 1000 кВА. Суммарная присоединенная мощность всех трансформаторов составляет 17 740 кВА.

Теплоснабжение комплекса ПНИПУ осуществляется от котельной ПНИПУ с проектной мощностью 58 Гкал/час (67,45 МВт). Основными потребителями тепловой энергии являются системы отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

План внедрения интеллектуальной микросети на базе микрорайона «Комплекс ПНИПУ» состоит из следующих этапов:

- Разработка концепции построения интеллектуальной микросети;
- Дооснащение существующей энергетической системы современными узлами учета;
- Создание автоматической интеллектуальной системы учета и контроля потребления электро- и теплоэнергии (*Smart Metering*);
- Создание центра для обработки, анализа и хранения всех поступающих данных;
- Замена ламп уличного освещения (ДРЛ-400 и ДРЛ-250) на энергосберегающие (светодиодные уличные светильники);

- Модернизация систем теплоснабжения (теплотрасс, теплопунктов) и автоматизация котельной ПНИПУ;

- Модернизация систем электроснабжения;

- Исследование возможности и эффективности внедрения альтернативных источников энергоснабжения (системы накопления энергии от солнечных батарей; газотурбины, работающие в режиме когенерации и тригенерации; тепловые насосы и т.д.).

Проект направлен на внедрение в образовательную практику университетов-партнёров новой и качественно усовершенствованной инновационной программы сетевой магистратуры «Концептуальное проектирование и инжиниринг повышения энергоэффективности» для подготовки инженерных, научных и управленческих кадров в энергетических отраслях, сетевых компаниях, сфере жилищно-коммунального хозяйства и смежных отраслей [3].

Программа магистратуры состоит из трёх направлений: технологического [4] (поддержка жизненного цикла электротехнических комплексов), исследовательского [5] и социально-экономического. Предусматривается профессиональная практика с участием индустриального партнера *Envidatec GmbH* (ФРГ). Часть проведенных исследований выполнялась при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках научных проектов, выполняемых коллективами исследовательских центров и научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Министерству образования и науки России (проект 8.4157.2017/ПЧ). Исследования также поддержаны образовательным и исследовательским грантом 573879-EPP-1-2016-1-FR-EPPKA2-CBHE-JP европейской программы Erasmus+ (проект INSPIRE).

Литература

1. IEC 61970-301. Energy management system application program interface (EMS-API) - Part 301: Common information model (CIM) base.

2. IEC/TR 61968-11. Application integration at electric utilities - System interfaces for distribution management - Part 11: Common information model (CIM) extensions for distribution.

3. Ляхомский А. В., Петроченков А. Б., Перфильева Е. Н. Концептуальное проектирование и направления инжиниринга повышения энергоэффективности предприятий // Электротехника. – 2015. – № 6. – С.4-7.

4. Петроченков А.Б. Управление электротехническими комплексами на основных этапах жизненного цикла // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2011. – № 3 (121). – С.219-224.

5. Бочкарев С.В., Овсянников М.В., Петроченков А.Б., Буханов С.А. Структурный синтез сложного электротехнического оборудования на основе метода удовлетворения ограничений // Электротехника. – 2015. – № 6. – С.63-68.

УДК 621.54(075)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ СЕГМЕНТНОГО ТИПА

А.М. Литвиненко[1], А.Е. Новиков[2], К.И. Чеботок[3]
[1]Д-р техн. наук, профессор ВГТУ
[2]Аспирант ВГТУ, andreuis@mail.ru
[3]Студент ВГТУ, kschebotochekks@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. Предложена новый подход к проектированию ветроэлектрогенерационных систем, обладающих повышенной надежностью вследствие отсутствия редуктора при сохранении основных характеристик редукторных установок. Описаны основные трудности реализации данных установок, предложены конструктивные изменения, позволяющие их преодолеть путем использования новых технических решений.

Ключевые слова: сегментные ветроэлектрогенераторы, момент трогания, воздушный зазор, полюсной наконечник.

Не смотря на развитие современной ветроэнергетики, при проектировании ветроустановок возникают проблемы носящие постоянный характер и различные ограничения, которыми всегда сопровождается процесс проектирования. К числу одной из этих проблем относится повышение надёжности, которое может быть достигнуто за счёт исключения отдельных элементов конструкции-например редуктора. Однако это сопровождается такими нежелательными явлениями как: увеличение момента трогания, уменьшения энергоотдачи. Поэтому, вопрос проектирования данных агрегатов является актуальной задачей. Между тем, известно, что сегментные ветроэлектрогенераторы (ВЭГ) имеют характерную особенность - большую протяженность окружного воздушного зазора по сравнению с машинами обычного исполнения, вызванного увеличенным радиусом лопасти ВЭГ[1].

Эту особенность ВЭГ можно использовать с целью увеличения энергоотдачи. Связано это с тем, что наиболее часто используемым конструктивным элементом в качестве полюсного магнитопровода, являются уголки, одна (параллельная относительно оси лопасти) сторона которых ориентирована вдоль радиуса лопасти ветроколеса, а другая - тангенциальная сторона - перпендикулярна параллельной и направлена по окружному воздушному зазору. Это дает возможность увеличения ширины тангенциальной стороны наконечника до ширины межполюсного расстояние на статоре. Рассмотрим реализацию данной особенности более подробно. Ключевой особенностью данной конструкции является то, что полюсные наконечники выполнены в виде уголков с радиальной часть, контактирующей с источником возбуждениями тангенциальной частью, обращенной к зазору, при этом ширину тангенциальной части 1_1 устанавливают из условия $1_1 \geq 1$, где l-ширина междуполюсного пространства статорных элементов. Такова конструктивная схема генератора, в частности, его роторного элемента[2].

Ротор (ветроколесо) содержит ступицу, лопасть (может быть несколько), полюсные наконечники, состоящие из радиальных участков и тангенциальных участков. т.е. протяженных в тангенциальном направлении; перпендикулярном оси лопасти, источники возбуждения, например, постоянные магниты, крепежный элемент - планку с болтами. Тангенциальные участки полюсных наконечников через воздушный зазор взаимодействуют со статорными элементами. Статорный элемент состоит, например из Г-образного ярма, прикрепленному к основанию. Крепление осуществляется с помощью немагнитного болта, который проходит через постоянный магнит с отверстием, шайбу, и вворачивается в сердечник с наконечником. Полюсные наконечники, а точнее их участки имеют фиксацию от выпадения постоянных магнитов под действием центробежных сил, которая осуществляется с помощью болтов, статорный элемент имеет рабочую катушку. Таких элементов может быть несколько. Таким образом, полюсные наконечники выполнены в виде уголка с радиальной частью, контактирующей с источником возбуждения и тангенциальной частью, обращенной к зазору, при этом ширина тангенциальной части l_1больше или равна ширине междуполюсного пространства статорного элементаl [3].

Для исследования модуля сегментного генератора данной конструктивной схемы было проведено моделирование работы конкретного модуля с помощью математической среды Matlab и сравнение результатов с реальным физическим экспериментом. Физическая модель представляла собой фрагмент (один модуль) сегментного генератора, выполненный по вышеописанной схеме, при этом размеры уголкового магнитопровода составляют 40х40х2 мм, размеры магнитов: роторного - ∅18х5 мм, статорного - ∅25х7 мм, параметры - рабочей катушки - 4000 витков, провод ПЭЛ ∅0,25. Роторный модуль приводился во вращение от постороннего двигателя со скоростью 0÷75 р/с, радиус вылета ротора - 0,5 м.

Данные результаты подтверждают адекватность компьютерного моделирования и дают возможность оптимизации магнитной системы ротора. В первую очередь это касается параметров источника возбуждения - постоянных магнитов, к которым предъявляются противоречивые требования: обеспечения максимальной индукции при минимальных массе и габаритах. Необходимо обратить внимание и на механические расчеты[1].

Литература

1. Литвиненко А.М., Тикунов А.В. Проектирование ветроэлектрогенераторов; Учеб. пособие. – Воронеж.: Кварта, 2003, - 96., ил.

2. Franklin Institute Press. Energieeolionne. Traduction J. Debry. Preface de J. Bonnin. Edition SCM, Paris, 1980, p. 203.

3. Пат. 2204052 RU, МПК F 03 D 9/00 Ветроагрегат / А.М. Литвиненко (РФ), Воронежский государственный технический университет (РФ). 2204052 С1; Заявлено 31.10.2001. Опубл. 2003. Бюл. №13.

УДК: 620.91

РАЗВИТИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ, КАК ПУТЬ СОХРАНЕНИЯ ЭКОЛОГИИ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

О.М. Гасанов[1], Дж.И. Гусейнов[2], Х.А. Адгезалова[3], Р.Ф. Мамедова[4]
[1]Д-р философии по физике, 1959oktay@mail.ru
[2]Д-р физ.-мат. наук, cahngir.adpu58@mail.ru
[3]Д-р философии по физике, xatirafizik@mail.ru
[4]Д-р философии по физике, cih_58@mail.ru
Азербайджанский государственный педагогический университет

Аннотация. В данной работе дан анализ о положении развития альтернативной энергии и перспективы его развития, как во всем мире, так и частности в Азербайджане. Приведены проблемы в развития альтернативной энергии и пути их разрешения.

Ключевые слова: альтернативная энергия, энергия Солнца и ветра, экология.

В настоящее время выдвигаются множество различных идей и предложений по использованию всевозможных возобновляемых видов энергии. Разработка некоторых проектов еще только начинается. Так, существуют предложения по использованию энергии разложения атомных частиц, искусственных смерчей и даже энергии молнии. Проводятся эксперименты по использованию “биоэнергетики”, например, энергии парного молока для обогрева коровников.

Но существуют и “традиционные” виды альтернативной энергии. Это энергия Солнца и ветра, энергия морских волн, приливов и отливов. Есть проекты преобразования в электроэнергию газа, выделяющегося на мусорных свалках, а также из навоза на звероводческих фермах. Основным видом “бесплатной” неиссякаемой энергии по справедливости считается Солнце.

Хотя солнечная энергия и бесплатна, получение электричества из нее не всегда достаточно дешево. Поэтому специалисты непрерывно стремятся усовершенствовать солнечные элементы и сделать их эффективнее. Новый рекорд в этом отношении принадлежит Центру прогрессивных технологий компании “Боинг”. Созданный там солнечный элемент преобразует в электроэнергию 37 процентов попавшего на него солнечного света.

Авторами данной работы было получено достаточно высокая термоэлектрическая эффективность образца $Tb_{0,05}Pb_{0,95}Se$, и сохранение данного свойства в широком температурном интервале, что позволяет считать их перспективными термоэлектрическими материалами, и имеющие очень важное значение практического применения, как альтернативного источника энергии.

На сегодняшний день развитие альтернативной энергии в Азербайджане, в частности солнечной и ветровой, является приоритетной задачей государства. Данная программа осуществляется в рамках «Государственной стратегии по развитию альтернативных и возобновляемых источников энергии до 2020 года».

Азербайджан имеет большой потенциал для развития альтернативной энергетики. В частности, потенциал энергии ветра в стране составляет 4,5 тыс. мегаватт, биомассы — 1,5 тыс. мегаватт, геотермальной и геотермической энергии — 800 мегаватт, малых гидроэлектростанций — 350 мегаватт.

Таким образом, не приходится сомневаться в том, что по мере истощения запасов традиционных энергоносителей они будут неуклонно дорожать не только во всем мире, но и в Азербайджане. Используя же в качестве альтернативного источника энергии только лишь небольшие гидроэлектростанции, Азербайджан может сэкономить до 850 тысяч тонн мазута в год.

Следует отметить, что аналогичная ситуация интенсивного развития альтернативных источников энергии наблюдается во всех развитых странах мира.

В целом инвестиции в сектор альтернативной энергетики, исключая исследования и фонды развития, в 20 основных экономиках мира выросли за прошедший год на 33% — до 198 миллиардов долларов.

Однако, несмотря на столь солидные денежные вложения, доля альтернативной энергетики в общих объемах выработки энергии в мире все еще незначительна. Сейчас восполняемые источники энергии составляют лишь 5,5% от всей энергии, потребляемой членами Международного энергетического агентства (МЭА).

Министерством экологии и природных ресурсов еще несколько лет назад подготовлена карта использования энергии ветра в Азербайджане, в которую вошли метеорологические данные многих лет. Эта архивная база была проанализирована, и на ее основе составлена подробная карта. Подготовлена также карта интенсивности распространения солнечной радиации.

Таким образом, благодаря осуществляемым в Азербайджане мерам по развитию альтернативных источников энергии уже в недалеком будущем объем производимой в стране альтернативной энергии будет таким же, как в развитых странах.

Литература

1. Гасанов О.М., Гусейнов Д.И., Адгезалова Х.А. Перспективные термогенераторы на основе соединений PbSe-TbSe, как источники альтернативной энергии / Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017 сборник статей научно-практической конференции с международнымучастием.г. Севастополь 11 – 15 сентября 2017г.

2. Гасанов О.М.,Дж.И. Гусейнов, М.И. Мургузов, Ш.С. Исмайлов, Т.Ф. Джафаров Термоэлектрическая добротность твердых растворов $(SnSe)_{1-x}(Er_2Se_3)_x$/ Прикладная физика, научно-технический журнал, 2016,№4, Москва.

УДК 661.96; 661.968; 669; 621.352.6

РАЗДЕЛЕНИЕ БИОВОДОРОДА МЕТОДОМ ПРОДУВКИ ЧЕРЕЗ МЕТАЛЛОГИДРИД

Д.В. Блинов[1], В.И. Борзенко[2], А.Н. Казаков[3], А.А. Глаголева[4]
[1]Канд. техн. наук, D.V.Blinov.JIHTRAS@yandex.ru
[2]Канд. техн. наук, зав.лаб., borzenko1971@gmail.com
[3]Мл. науч. сотр., kazakoffalex09@gmail.com
[4]Мл. науч. сотр., a.hayrullina@gmail.com
ФГБУН «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук»

Аннотация. В работе представлен метод очистки водородсодержащего газа, генерируемого в биологических системах, осуществляемый продувкой через пористый слой водородпоглощающего сплава. Представлены результаты по разделению смеси H_2+CO_2 с помощью проточного металлогидридного реактора. Представлены результаты интеграции топливного элемента с металлогидридной системой очистки биоводорода.

Ключевые слова: водород, металлогидрид, интерметаллид, биоводород, очистка водорода, проточный метод очистки.

Долгосрочная энергетическая стратегия РФ предусматривает развитие новых энергетических технологий, использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ), а также биоэнергетические технологии [1]. Характерной чертой ВИЭ является ярко выраженная временная неоднородность генерации, что приводит к необходимости использования систем аккумулирования энергии [2]. Применение аккумулирования энергии в водороде с последующим получением электроэнергии в топливных элементах позволяет избежать потерь энергии в результате саморазряда и существенно повысить экологическую безопасность по сравнению с химическими аккумуляторными батареями и дизель-генераторами, используемыми для этой цели в настоящее время. Помимо хорошо освоенных методов получения водорода из электроэнергии ВИЭ (солнце, ветер), перспективным является получение водорода из биологических источников. Водород из биологических источников является универсальным энергоносителем с потенциалом широкого использования, в том числе и для децентрализованного получения энергии в регионах, где доступна биомасса или отходы [3].

Разработка и создание водородных энергоустановок сталкивается с проблемой обеспечения безопасного и эффективного хранения, а также в некоторых случаях, и очистки водорода. Так, например водородсодержащий газ, генерируемый в биологических системах содержит большое количество CO_2 и общее содержание водорода в производимом газе не превышает 50%, а на практике составляет 20..40% [4].

Перспективной технологией для комплексного решения проблем аккумулирования, очистки и повышения давления водорода перед использованием в ТЭ является металлогидридная технология хранения, позволяющая хранить значительные количества водорода (высокая объемная плотность хранения) с высокой безопасностью, т.к. водород хранится в

твердофазном связанном состоянии. Способность избирательного поглощения водорода позволяет использовать их также для высокоэффективной очистки водорода. Возможность извлекать водород с чистотой 99,9999% об. и с высоким коэффициентом извлечения (75-90%), надежность, эффективность и сравнительная безопасность систем твердофазного хранения и очистки водорода позволяют решить проблему топливообеспечения автономных энергоустановок на базе низкотемпературных топливных элементов [5].

В лаборатории водородных энергетических технологий ОИВТ РАН разработаны металлогидридные реакторы хранения и очистки водорода, работающие по принципу непрерывной продувки загрязненного водорода через пористую засыпку водородпоглащающего сплава. Водород при этом поглощается засыпкой с образованием металлогидрида, а газообразная примесь (CO_2) непрерывно удаляется из свободного объема реактора.

Выполнено разделение смеси водорода и углекислого газа при помощи реактора, моделирующей состав водорода биологического происхождения. Показано, что кризисные явления приводят к прорыву водорода через засыпку металлогидрида за счет увеличения температуры реакционной зоны, увеличению потерь водорода в процессе очистки и снижению эффективности работы металлогидридных проточных реакторов. Определены коэффициенты извлечения (КИ) водорода из смеси H_2+CO_2 (смесь, моделирующая состав биоводорода, полученного темновой ферментацией), показано, что возможно достижение интегральных значений КИ водорода до 90%.

Разработана и создана экспериментальная энергоустановка, использующая металлогидридную систему очистки и хранения водорода, полученного биологическим путем, для питания топливного элемента

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-20413).

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. №1715-р // СЗ РФ. 2009. № 48 Ст. 5836.

2. Энергетика в современном мире. / Фортов В. Е., Попель О. С. – Долгопрудный: Издательский дом "Интеллект", 2011. – 168 с.

3. Wei J., Liu Z.-T., Zhang X. Biohydrogen production from starch wastewater and application in fuel cell // International Journal of Hydrogen Energy. – 2010. – Т. 35, № 7. – С. 2949-2952.

4. Lin C.-Y., Wu S.-Y., Lin P.-J. et al. A pilot-scale high-rate biohydrogen production system with mixed microflora // International Journal of Hydrogen Energy. – 2011. – Т. 36, № 14. – С. 8758-8764.

5. Shihai G., Guoqing W., Dongliang Z., Yanghuan Z., Xinlin W. Study on Hydrogen in Mixed Gas Separated by Rare Earth Hydrogen Storage Alloys // Rare Metal Materials and Engineering. – 2011. – Т. 40, № 2. – С. 189-194.

УДК: 621.311.24

РАЗРАБОТКА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ДВУХРОТОРНОЙ ВЕТРОУСТАНОВКИ

С.В. Лаврёнов
Канд. техн. наук, доцент, slavrenov@cchgeu.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация: в данной работе представлена принципиально новая линейка высокоэффективных технологичных вертикальных ветроэнергетических установок. В данной линейки решен основной недостаток установок вертикального типа – это низкий коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ), который не позволяет конкурировать с моделями горизонтального типа.

Ключевые слова: ветроустанвка, КИЭВ, вертикальные ветроустановки.

Мировая ветроэнергетика сегодня – вполне зрелая и самостоятельная отрасль промышленности с наибольшими в энергетической сфере годовыми темпами прироста мощностей, достигающими и даже превышающими 30 % [1].

За последние пять лет общая мировая установленная мощность ветрогенерации выросла почти на 200 000 МВт и к концу 2017 г. составила более 350 000 МВт. Сильный китайский рынок, восстановление рынка в США и возрастающая роль в странах с развивающейся экономикой в мировом рынке означает, что после 2017 года рынок возобновит устойчивый рост, при удвоении всех глобальных вводов в течение пятилетнего период [2].

Что касается России, то по предварительным оценкам РФ в скором будущем станет ветроэнергетическим рынком № 1: ветропотенцил страны составляет 30 000 МВт на оптовом рынке и 5 000 МВт на розничном рынке, что дает приблизительный объем рынка в 30 млрд Евро.

Разрабатываемые ветряные в качестве автономных источников электроэнергии интересны тем, кто проживает в удалённых посёлках, в отдельных домах и коттеджах, а также тем, кто трудится в сельском, преимущественно фермерском хозяйстве. Весьма востребованы при снабжении автономным электричеством систем связи, навигационных объектов, прочих областях народного хозяйства.

Установка имеет следующие преимущества и особенности в сравнении с аналогами:

- Низкая стартовая скорость ветра. Вращение вне зависимости от направления ветра, и начало вращения с самого тихого бриза;
- Многополюсность расположения магнитов генератора и двухроторная схема позволяет системе вырабатывать электроэнергию при малых ветрах;
- Отсутствуют узлы переключения скоростей и вариаторы оборотов;
- Требует минимум места для размещения;
- Нет ограничений расстоянием в жилых зонах для установки ветрогенератора;

- Отсутствие инфразвука биологически опасного частотного диапазона на всех режимах обеспечивает безопасность для человека и животных;

- Работоспособность установок сохраняется при порывистых ветрах, ливнях, песчаных бурях.

- Высокоэффективная технология из композитов при производстве лопастей и аэродинамические качества профилей позволяют максимально использовать энергию ветра;

- Повышенная надежность и ресурс конструкции, благодаря применению двухроторной схемы, которая гасит основные вибрации, разрушающая силовые узлы (аналоги отсутствуют);

- Отсутствие момента на опоре установки, что делает ее более компактной, дает возможность ее применения в море без специального\противомоментного крепления ко дну (аналоги отсутствуют);

- Малые габариты и распределение основных масс на оси установки, ближе к креплению, также делают ее перспективной для установки в море.

Схема установки и ее мощностные характеристики приведены на рис.

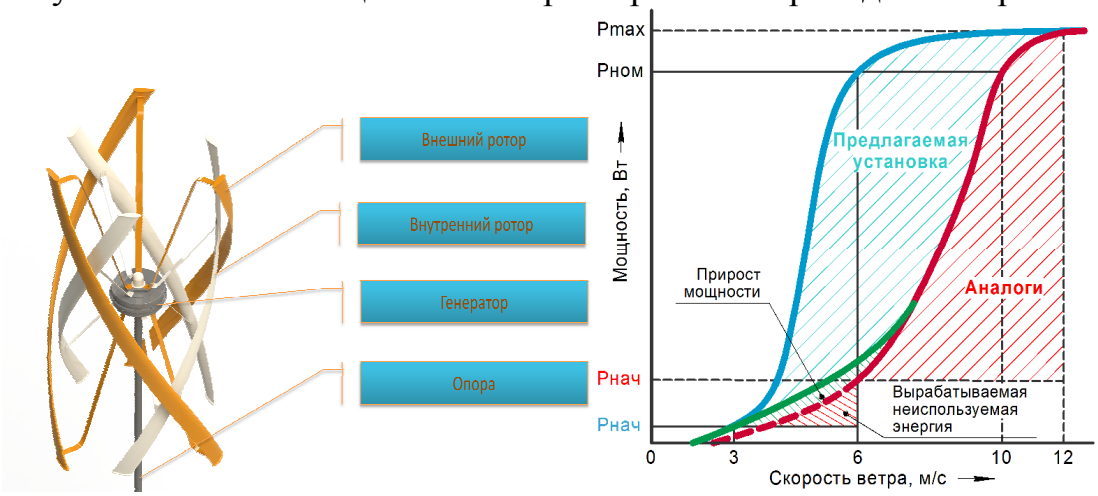


Рис. Общий вид и мощностные характеристики разрабатываемой вертикальной двухроторной ветроустановки.

Литература

1. 2013. Half – year Report. – The World Wind Energy Association (WWEA). – Режим доступности: www.wwindea.org.

2. Gsanger Stefan, Pitteloud Jean-Daniel. 2012 Annual Report. – Bonn: The World Wind Energy Association. – 2013, V. – 19 p.

УДК: 537.9

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ МАТАЛЛООКСИДОВ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

С.И. Рембеза[1], Д.С. Пермяков[2], В.Е. Полковников[3], М.А. Белых[4], А.А. Винокуров[5]
[1]Д-р физ.-мат. наук, профессор, rembeza@yandex.ru
[2]Магистр, Dima.P.S@yandex.ru
[3]Магистр, polkonikov.vova.net@yandex.ru
[4]Магистр, belykh.maks@yandex.ru
[5]Ассистент, sasha.vinokurov@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В данной работе представлены промежуточные результаты разработки многослойного металлооксидного солнечного элемента, описаны технологии получения отдельных слоев. Полученные слои Cu_2O, ZnO, Zn_2SnO_4 проявляют хорошие оптические свойства.

Ключевые слова: многослойные структуры, металлооксиды, солнечные элементы.

В настоящее время кремний с шириной запрещенной зоны 1,1 эВ является самым распространенным материалом для солнечных элементов, но который дрог в производстве и преобразует в электричество только часть солнечного спектра. Для более эффективного преобразования энергии необходимы многослойные гетероструктуры, на основе материалов с размерами запрещённых зон от 1 до 3 эВ. К числу таких структур относятся многослойные солнечные элементы на основе металлооксидов. Основным их преимуществом является дешевизна, экологичность, прямозонность и возможность синтеза простыми и низкотемпературными методами. Для многослойного солнечного элемента были выбраны материалы: p-Cu_2O (2,1 эВ), полученный методом электрохимического осаждения, n-ZnO:Al (3,27 эВ), полученный золь-гель методом, n-Zn_2SnO_4 (3,37 эВ), полученный методом пиролиза.

Для создания слоя Cu_2O был приготовлен электролит с 0,4 моль/л сульфата меди ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) и 3 моль/л молочной кислоты ($C_3H_6O_3$) в дистиллированной воде. Вещества добавлялись последовательно с перемешиванием по 15 минут. После чего pH электролита был доведен до 12,5 с помощь гидроксида натрия (NaOH). И электролит был дополнительно перемешан в течение 10 мин. Графитовый электрод использовался как анод, а пластина ITO как катод. Температура электролита 65°C, плотность тока 1 мА/см^2 и время нанесения 16 минут. [1] Для приготовления ZnO:Al золь-гель методом использовались следующие компоненты: ацетата цинка ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$), этанол, моноэтаноламин (МЭА) и нитрата алюминия ($Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$). Этанол и моноэтаноламин (МЭА) использовали в качестве растворителя и стабилизатор соответственно. Ацетат цинка сначала растворяли в этаноле, затем добавляли стабилизатор. Молярное отношение МЭА к ацетату цинка поддерживали на уровне 1,0 концентрация ацетата цинка составляла 0,5 моль/л. Далее в полученный раствор добавлялся нитрата алюминия в молярном отношении [Al/Zn] 1 – 3 % После чего раствор был отфильтрован и оставлен на

созревание на 48 часов. Пленки наносились методом центрифугирования. На вращающуюся подложку (2000 об/мин) из шприца наносился 1 мл полученного раствора-геля. Образцы после нанесения раствора были высушены при температуре 120 ºС в течение 20 минут. Для выжигания органики температуру постепенно поднимали до 350 ºС и выдерживали в течение 20 минут. Потом образцы выдерживали в течение двух часов при температуре 550 ºС. [2]

Для создания слоя Zn_2SnO_4 использовалась пружинная распылительная головка диаметром 0,3 мм. В качестве растворяемых веществ были использованы ацетат цинка ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$) и хлорид олова [$SnCl_2 \cdot 2H_2O$]. Молярное соотношение считалось как отношение [Zn]/([Zn] + [Sn]) и было выбрано 0,7. Общая концентрация веществ С = 0,5 моль/л. Каждое вещество растворялось в отдельном сосуде в 25 мл дистиллированной воды. К хлориду олова был добавлен 1 мл HCl. Перемешивание проводилось 1 часа при комнатной температуре. После смешивания перемешивание продолжилось в течение 2 часов при комнатной температуре. Затем происходило нанесение на раскалённую подложку при 320 ^{o}C. В качестве подложки использовались предметные стёкла. [3]

Определение толщины синтезированных пленок производили с помощью МИИ-4. Оптические параметры пленок измерялись на спектрофотометре СПЕКС ССП-715-М. Электрические параметры были получены четырехзондовым и двузондовым методоми. Параметры полученных структур сведены в таблицу.

Таблица – оптические и электрические параметры слоев

Материал	Ширина запрещенной зоны, эВ	Удельное сопротивление, Ом·см	Прозрачность, %	Коэффициент поглощения, см$^{-1}$	Толщина, мкм
Cu2O	2,1	$8{,}1 \cdot 10^6$	1,5	76412	0,67
ZnO:Al	3,27	2880	75	15853	0,875
Zn2SnO4	3,37	79	48	9923	1,1

Литература

1. HaiYan X. One-step chemical bath deposition and photocatalytic activity of Cu_2O thin films with orientation and size controlled by a chelating agent / X. HaiYan, D. JinKuang , C. Chen // Materials Chemistry and Physics – 2014. – V. 2. – P. 143.

2. Jannanea T. Sol-gel Aluminum-doped ZnO thin films: synthesis and characterization / T. Jannanea, M. Manoua , A. Liba, N. Fazouan, A. El Hichou , A. Almaggoussi , A. Outzourhit , M. Chaik // J. Mater. Envi-ron. Sci. – 2017. Vol. 8. – P. 160 – 168.

3. Quansheng C. Fabrication of self-assembled hierarchical flowerlike zinc stannate thin film and its application as liquefied petroleum gas sensor [Текст] / Chen. Quansheng Satyendra Singh [and others] // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2014. – V. 205. - P. 102 – 110.

УДК 621.362

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРНОГО МОДУЛЯ, СОСТОЯЩЕГО ИЗ ТЕРМОБАТАРЕЙ КОЛЬЦЕВОГО ТИПА

О.В. Калядин[1], К.Г. Королев[2], А.В. Сергеев[3]
[1]Канд. физ.-мат. наук, доцент,kaljadin@gmail.com
[2]Канд. физ.-мат. наук, доцент, korolev.kg@mail.ru
[3]Канд. физ.-мат. наук, sergeev-av@bk.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В работе предлагается универсальная математическая модель для определения эксплуатационных характеристик термоэлектрических генераторных модулей кольцевой геометрии.

Ключевые слова: модель, термоэлектрическаябатарея, стационарный процесс

Термоэлектричество является достаточно сложным и специфичным направлением в современной науке и технике и в настоящее время имеет большие перспективы развития. Процессы, происходящие в термоэлектрических системах, характеризуются тесной связью тепловых и электрических явлений, наличием множества нелинейных параметров, по-своему влияющих на режимы работы устройств. Поэтому в начале разработки термоэлектрического устройства целесообразно уделить особое внимание моделированию протекающих в нем физических процессов, поскольку таким образом можно оценить оптимальные геометрические и рабочие характеристики системы.

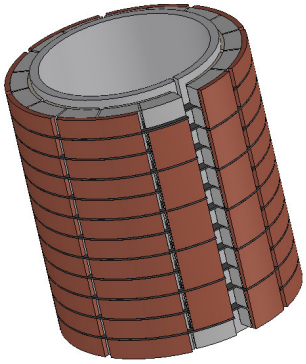


Рис.1. Схема ТЭБ

Объектом моделирования служил термоэлектрический генераторный модуль, состоящий из 7 батарей (ТЭБ) кольцевого типа (рис 1). В качестве материалов для ветвей термоэлементов были использованы сплавы на основе твердых растворов халькогенидов висмута и сурьмы: с p-типом проводимости - $Bi_{0,5}Sb_{1,5}Te_{3,2}$ с добавкой 0,06% Pbи с n-типом проводимости - $Bi_2Se_{0,6}Te_{2,4}$ с добавкой 0,24% Hg_2Cl_2, полученные методом горячего прессования.При разработке модели генераторного модуля, были приняты некоторые

допущения, в частности: не учитывался теплообмен с окружающей средой, принималось, что градиент температур направлен нормально к поверхности модуля, а также, что джоулево тепло распределяется поровну между холодным и горячим спаями. В основу моделилегли следующие соотношения.

а) Балансовые уравнения спаев модуля:

$$Q = \bar{\alpha} \cdot T_g \cdot I \cdot N_e - \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot R_m + K_m \cdot (T_g - T_h), \quad (1)$$

$$Q_0 = \bar{\alpha} \cdot T_h \cdot I \cdot N_e + \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot R_m + K_m \cdot (T_g - T_h), \quad (2)$$

$$\bar{\alpha} = \alpha_n + \alpha_p, \quad (3)$$

гдеN_e- количествотермоэлементов,Q иQ_0 – тепловые потоки по горячей и холодной сторонам, T_g и T_h – температуры горячего и холодного спая, I – сила тока, R_m и K_m - электрическое сопротивление и теплопроводность ветвей модуля, $\bar{\alpha}$ - дифференциальная термоЭДС.

б) Уравнения, устанавливающие связь между тепловыми потоками, КПДη, электрической мощностью W , генерируемым током, напряжением U и сопротивлением внешней нагрузки $R_{\text{н}}$:

$$Q_0 = Q - W, W = \bar{\alpha} \cdot \left(T_g - T_h\right) \cdot I - I^2 R_m = IU = I^2 R_{\text{н}}, \eta = \frac{W}{Q}, \quad (4)$$

в) Выражения, определяющие электрическое сопротивление модуляR_m и полную его теплопроводность между горячим и холодным спаями[1];

$$R_m = \left[\frac{1}{\sigma_n} \cdot \frac{n}{2\pi \cdot \delta} \cdot ln \frac{f+(n-1)\cdot s - 2\pi \cdot r_x}{f+(n-1)\cdot s - 2\pi \cdot r_g} + \frac{1}{\sigma_p} \cdot \frac{n}{2\pi \cdot \delta} \cdot ln \frac{f+(n-1)\cdot s - 2\pi \cdot r_x}{f+(n-1)\cdot s - 2\pi \cdot r_g}\right] \cdot N_e + R_{sh} + R_k \quad (5)$$

$$K_m = \left[\frac{2\pi \cdot \lambda_n}{\delta \cdot n} \cdot \frac{1}{ln \frac{f+(n-1)\cdot s - 2\pi \cdot r_x}{f+(n-1)\cdot s - 2\pi \cdot r_g}} + \frac{2\pi \cdot \lambda_p}{\delta \cdot n} \cdot \frac{1}{ln \frac{f+(n-1)\cdot s - 2\pi \cdot r_x}{f+(n-1)\cdot s - 2\pi \cdot r_g}}\right] \cdot N_e + K_{\text{из}}, \quad (6)$$

где n – число ветвей в кольце, δ - толщина ветви, f - ширина компенсационного шва, s - шаг между ветвями, r_x и r_g – радиус ветви по холодной и горячей сторонам, R_{sh} - сопротивление коммутационных шин, R_k- контактное сопротивление, $K_{\text{из}}$ - теплопроводность тепловой изоляции между ветвями.

Дополняя выражения (1-8) уравнениями теплопроводности для вспомогательных слоев батарей, а также выражениями, определяющими средние значения термоэлектрических и теплофизических свойств материалов ветвей в интервале температур от T_h до T_g ,получаем расчетную систему уравнений, описывающей работу модуля в стационарном режиме.На рис. 2, 3показаны зависимости, полученные в результате вычислений по разработанной модели.

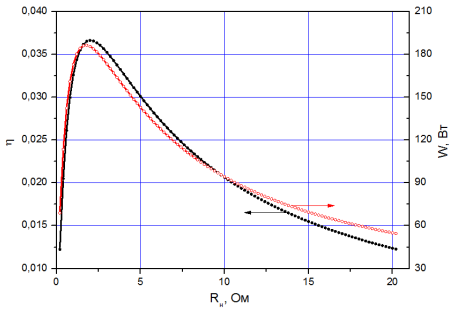


Рис. 2. Влияние сопротивления нагрузки на КПД модуля и на его мощность

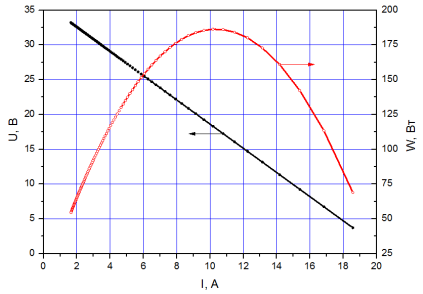


Рис.3. ВАХ модуля и зависимость мощности от рабочего тока

Использование предлагаемойуниверсальной модели позволяет определять эксплуатационные характеристики генераторных модулей любой мощности, состоящих из произвольного количества кольцевых батарей с любой геометрией ветви, а также анализировать влияние изменения внешних условий работы на ихэксплуатационные характеристики.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010г. №218 (Договор № 03.G25.31.0246).

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: 365.128

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ОТ МАЛОМОЩНЫХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ УРОВНЕЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

Д.Е. Лукьяненко[1], А.А. Пирогов[2]
[1]Студент, dmeluk@yandex.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, pirogov.alx@gmail.com
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В данной работе выполнен обзор способов получения максимальной мощности от солнечных батарей без изменения площади и технологии изготовления. Сделан вывод о неэффективности использования готовых решений для маломощных солнечных батарей. Рассмотрены алгоритмы поиска точки максимальной мощности для широкого диапазона уровней освещенности.

Ключевые слова: солнечная батарея, поиск точки максимальной мощности.

Использование солнечной энергии для питания автономных устройств не является чем-то принципиально новым, однако в этой области остается ряд проблем:

разные области поверхности земли получают не одинаковое количество солнечной радиации, следовательно для каждого устройства существуют географические области в пределах которых оно функционирует, а за пределами нормальная работа не гарантируется;

количество солнечной энергии, получаемой за день и сравнимые промежутки времени зависит от множества факторов, и не может быть спрогнозировано с достаточной для оценки бесперебойной работы устройства точностью.

Решением этой проблемы может стать увеличение площади солнечных батарей, установка более емких аккумуляторов, но это одновременно делает конструкцию слишком дорогой в производстве и обслуживании.

При использовании малогабаритных солнечных батарей, их мощность в зависимости от освещенности может изменяться от десятых долей до сотен милливатт, а их внутреннее сопротивление может колебаться в широких пределах. Вольт-амперная характеристика зависит не только от освещенности, но и от конкретной партии, старения элементов и внешних факторов. Готовые решения для поиска точки максимальной мощности потребляют десятки милливатт [1], что резко ограничивает применение батарей при низкой освещенности и значительно снижает коэффициент полезного действия при высокой.

Разработка метода получения максимальной мощности позволяет максимально снизить затраты энергии на отслеживание точки максимальной мощности.

В качестве способа отслеживания точки максимальной мощности были рассмотрены следующие варианты:

использование возмущения, когда изменяется (уменьшается или увеличивается) входное сопротивление потребителя и отслеживается напряжение и ток на, при переходе их произведения от увеличения к уменьшению, направление изменения сопротивления изменяется [2];

использование табличного способа — измеряется ЭДС источника, при отключенной нагрузке, после чего, по заранее заданной таблице выбирается входное сопротивление потребителя, соответствующее данной ЭДС;

комбинированный способ — изначально используется табличный способ, однако он дополняется измерениями напряжения и тока через определенные промежутки времени при небольших колебаниях входного сопротивления, что позволяет набрать большую статистику и скорректировать таблицу;

комбинированный способ с отдельным датчиком — позволяет избежать кратковременного отключения потребителя для измерения ЭДС, отдельный датчик является солнечным элементом малой площади не подключенным к солнечной батарее напрямую, однако изготовленным в одном технологическом процессе с остальными элементами батареи. Его старение протекает аналогично остальным элементам, поэтому по его параметрам можно судить о параметрах всей батареи.

Наиболее перспективными представляются последние два способа, так как они позволяют использовать схемы с длительным периодом бездействия, в частности, на микроконтроллерах, с режимом пониженного энергопотребления. В таком случае основную сложность реализации представляют источники опорного напряжения и снижение влияния помех на измерения.

Низкая стоимость и габариты современной элементной базы позволяют выполнить схему отслеживания точки максимальной мощности и солнечные элементы в виде единого модуля, что позволяет разработчикам использовать готовое решение, не задумываясь ни о схемотехнике, ни об алгоритме его работы.

Литература

1. SM72442 Prog MaxPwr Point Tracking Cont for Photovoltaic Solar Panels (Rev. H) - sm72442.pdf. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sm72442.pdf

2. Русскин В.А. Исследование алгоритмов поиска точки максимальной мощности для повышающего преобразователя напряжения солнечного инвертора / В.А. Русскин, С.М. Семёнов, Р.К. Диксон // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. – Т. 327. – № 4. – С. 78–87

УДК: 544.6: 620.3: 620.9

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОХРОМНЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИЛОВ

А.В. Щегольков[1], А.В. Щегольков[2], К.А. Чудов [3]
[1]Аспирант, alexxx5000@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, energynano@yandex.ru
[3]Канд. хим. наук, вед. науч. сотр., k4udov@gmail.com
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»[1,2]
«Центральный научно – исследовательский технологический институт «Техномаш» (АО «ЦНИТИ «Техномаш»)[3]

Аннотация. В данной работе представлена технология получения тонких электрохромных пленок на поверхности токопроводящего электрода (In_2O_3: Sn или ITO) модифицированного оксидом графена (GO). Полученные наноструктурные покрытия повышают технические показатели устройств на их основе, такие как повышение номинального рабочего напряжения, цикличности. Данные улучшения возможны за счет образования двойного электрического слоя на поверхности проводящего электрода ITO – восстановленный оксид графена.

Ключевые слова: электрохромная пленка, оксид графена, триоксид вольфрама.

Электрохромные материалы способны изменять свои оптические свойства при приложении к ним электрического поля [1]. Оптическая составляющая материала при этом имеет свойство обратимости, то есть исходное состояние восстанавливается, если изменить полярность напряжения [2]. Это свойство во многом определяет интерес при использовании данных материалов в различных оптических устройствах, таких как элементы отображения информации, жалюзи света, «SmartWindow», зеркала с переменным коэффициентом отражения [1,2]. Основными проблемами при эксплуатации электрохромных устройств является не высокая химическая стабильность электрохромных покрытий. Одним из возможных решений данных проблем является модификация токопроводящей поверхности - GO [3].

В данной работе были получены электрохромные материалы на основе нанокристаллического триоксида вольфрама (Sigma-Aldrich Ltd.) нанесенного на поверхность электрода ITO. Нанесение электрохромной пленки осуществлялось напылением электрохромного состава модифицированного GO. Затем полученный электрохромный слой отжигали в вакууме при температуре 300 °C до образования восстановленного оксида графена на поверхности стеклянной подложки. Были получены электрохромные составы WO_3 на водной основе с добавлением GO в соотношении 2,5%, 5%, 7,5 % от общей массы электрохромного раствора $WO_3 \cdot H_2O$/GO. Для максимально возможного распределения GO, электрохромный состав обрабатывался в ультразвуковой установки в течение 10-15 мин. После чего полученный состав наносился на поверхность электрода ITO с помощью механического напыления. В процессе нанесения состава электрод подвергался температурному воздействию равному 110 °C.

Полученные образцы были исследованы методом циклвольтамперометрии (рис.) при различном содержании GO (2,5%, 5%, 7,5%).

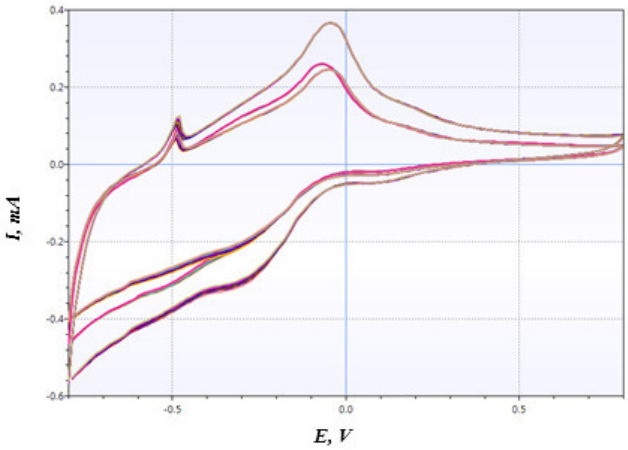


Рис. Циклвольтамперная характеристика для оксидной пленки на основе вольфрама и GO (2.5%, 5%, 7.5%) в 0.01 M H_2SO_4 при скорости развертки 50 мВ/с

По характеру изменения ЦВА-кривой можно сделать вывод об увеличении потенциального окна при соответствующем повышении содержания GO в электрохромном растворе WO_3/GO. Максимальное увеличение потенциального окна соответствует содержанию GO - 7,5 %. Также следует отметить, что образцы модифицированные GO имеют более широкое потенциальное окно по сравнению с обычным электрохромным составом и стабильную работу при соизмеримом значении катодного и анодного тока, зарядной и разрядной емкости, что в целом показывает обратимость протекающих процессов, модифицированных ITO электродов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-01253.

Литература

1. Granqvist, C.G. Handbook of inorganic electrochrommic materials / C.G. Granqvist. – Amsterdam: Elsevier, 1995. – 651 pp.

2. Monk, P. M.S. Electrochromism and electrochromic device. / P. M.S. Monk, R. J. Mortimer, D. R. Rosseinsky. — Cambridge: Cambridge University Press, 2007. — 512 pp.

3. Palenzuela J., Vinuales A., Odriozola I., Cabanero G., J. Grande H., Ruiz V. Flexible viologen electrochromic devices with low operational voltages using reduced graphene oxide electrodes // ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2014. – 6. – PP. 14562−14567.

УДК: 62.83

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА РУЛЕВОГО МЕХАНИЗМА

В.А. Ильичев[1], Р.Ю. Ильясов[2], В.Н. Крысанов[3], А.М. Сушков[4], В.В. Чмелев[5]
[1]Главный конструктор АО НПО «Электроприбор-Воронеж», канд. техн. наук, vilichev@priborvrn.ru
[2]Генеральный директор АО НПО «Электроприбор-Воронеж», epribor@epriborvrn.ru
[3]Доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», канд. техн. наук, sovteh2000@mail.ru
[4]Ведущий инженер-конструктор АО НПО «Электроприбор-Воронеж», канд. ф.-м. наук, asushkov@priborvrn.ru
[5]Ведущий инженер-конструктор АО НПО «Электроприбор-Воронеж», vchmelev@priborvrn.ru

Аннотация. В данной работе рассмотрены вопросы реализации систем управления электрических приводов на примере резервированного сервопривода поступательного типа.

Ключевые слова: электрический привод, система векторного управления.

В настоящее время актуальны вопросы аппаратной и программной реализации системы управления (СУ) поступательных рулевых электроприводов (РЭП). Проведена исследовательская работа по созданию надежной и эффективной СУ высокомоментного РЭП с напряжением питанием 270 В постоянного тока. Предварительное математическое моделирование СУ и РЭП проводилось в среде MATLAB Simulink [1]. Для выбранного синхронного двигателя с постоянными магнитами (8 пар полюсов) были проанализированы две модели СУ:

1) система автоматического регулирования с датчиками Холла;

2) система векторного управления.

Для данного двигателя физический угол переключения составил 360/(6*8) = 7,5 градусов и не превышает заданной точности позиционирования. Учитывая изложенное выше, было предложено вместо энкодера использовать датчик Холла с соответствующей логической обработкой последовательностей импульсов.

Полученные при моделировании значения ошибки позиционирования (для модели управления с датчиками Холла без энкодера) представлены на рис . 1.

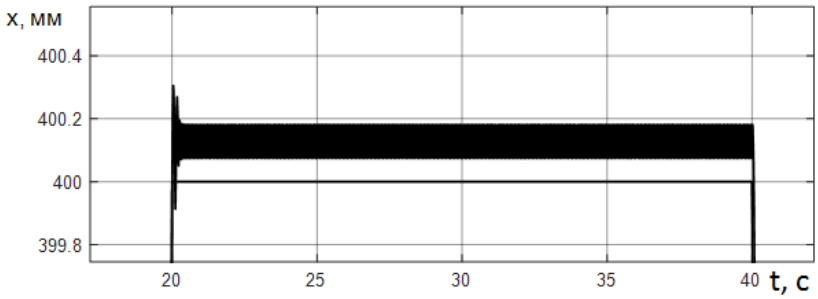


Рис.1. Ошибка позиционирования в модели управления с датчиками Холла без энкодера

Моделирование системы векторного управления с токовой широтно-импульсной модуляцией и обратными связями по скорости и углу поворота подтверждает её высокие характеристики управления [2,3]. Следует отметить, что это возможно только при наличии сложных и дорогих комплектующих.

Полученные при моделировании значения ошибки позиционирования в модели векторного управления представлены на рис. 2.

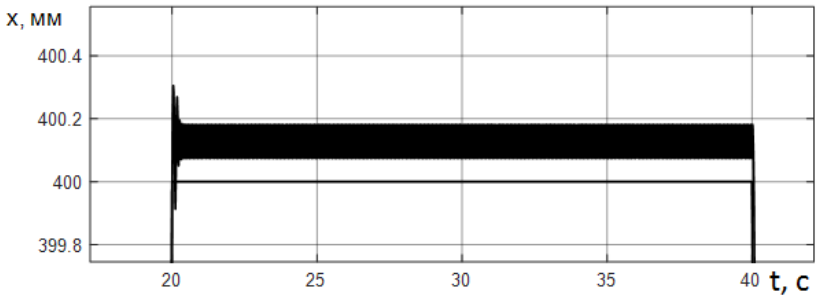


Рис.2. Ошибка позиционирования в системе векторного управления

Результаты математического моделирования были подтверждены при лабораторных исследованиях опытного образца РЭП и разработанной СУ.

Анализ результатов моделирования позволяет сделать следующие выводы:

- моделирование следящей системы позиционирования с датчиками Холла без энкодера и регулированием напряжения питания широтно-импульсным преобразователем показывает не только работоспособность такой системы автоматического регулирования, но и хорошие характеристики управления;
- датчики Холла отличаются высокой надежностью, а малые габариты и низкая стоимость позволяют провести многократное резервирование, т.е. установить для надежности несколько одинаковых датчиков;
- логика системы автоматического регулирования может быть построена на простых элементах и не требует микроконтроллерного управления, что, в свою очередь, повышает надежность и снижает стоимость аппаратной реализации.

Литература

1. Крысанов В.Н. Математическое моделирование искусственных нейронных сетей в структуре трансвекторного управления системой ПЧ – АД / В.Н.Крысанов, А.Л. Руцков // Научно-технический журнал «Электротехнические комплексы и системы управления» - Воронеж: Издательский дом «Кварта», 2013. – №1 – С.30- 36.

2. Takahashi I. and T. Noguchi. A new quick response and high-efficiency control strategy of an induction motor / I.Takahashi, T. Noguchi // IEEE Trans. Ind. Applicat.– 1986. –№5. – P. 820 – 827.

3. Blaschke F. The principle of field-orientation as applied to the transvector closed loop control system for rotating-field machines / F. Blashke // Siemens Rev. – 1972. –№ 1. – P. 217 – 220.

УДК 621.316.761

РЕАЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕТЯХ ВСЕХ УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В.Н. Крысанов[1], К.В. Иванов[2], И.А. Хайченко[3], В.В. Бабенко[4]
[1]Канд. техн. наук, доцент, sovteh2000@mail.ru
[2]Аспирант, Dharma_lost@bk.ru
[3]Аспирант, li740@yandex.ru
[4]Аспирант, vova.babenko.94@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Анотация. В данномдокладе рассмотрена технология повышения уровня энергосбережения за счет эффективной компенсации реактивной мощности (РМ) в электроэнергетических сетях (ЭЭС) высокого и сверхвысокого напряжения. Разработаны два варианта аппаратной реализации компенсации РМ на основе конденсаторных батарей и силового трансформаторного оборудования, показана экономическая целесообразность их применения в ЭЭС.

Ключевые слова: статические устройства компенсации реактивной мощности

В современных ЭЭС важное значение имеет широкое применение принципов интеллектуальных сетей (SmartGrid).Данная технология объединяет на физическом уровне все элементы ЭЭС и осуществляет оптимальное управление ими[1].Основными устройствами, использующимися в рамках технологииSmartGrid, применительно к компенсации реактивной мощности (РМ), являются:

- управляемые тиристорные конденсаторные установки (ТКУ);
- управляемые шунтирующие реакторы;
- статические компенсаторы реактивной мощности (STATCOM).

Особый интерес представляетреализации функций статических компенсаторов и на основе подключаемых определенным способом батарей конденсаторов, и силовых трансформаторов. Так, разработанная ТКУ представляет собой конденсаторную батарею, подключаемую параллельно к сети с помощью силовых коммутационных приборов [2]. Проведенный анализ различных способов коммутации конденсаторных батарей, показал экономическую целесообразность использовать в роли коммутационных устройств силовые тиристоры и твердотельные реле с микроконтроллерной системой управления [3]. При этом, для сетей 0,4 -10,0 кВ, достигается низкая удельная стоимость компенсируемой РМ, порядка 115 р/кВАр. Работоспособность разработанных схемотехнических и программных решений ТКУ была подтверждена экспериментально на низковольтных физических моделях[4]. Для сетей высокого напряжения (35 -330 кВ), предполагается подключение ТКУ с помощью силовых тиристорных сборок совместно с высоковольтными элегазовыми или вакуумными выключателями. При этом,

удельная стоимость РМ для компенсации 50 МВАрсоставляет в среднем, 30 р/кВАр.

Для высоковольтных линий электропередач (ЛЭП) часто необходима компенсация зарядной мощности линий. В данной работе показана возможность и целесообразность использования силовых автотрансформаторов (АТ) с, включенными в их нейтраль, вольтодобавочными трансформаторами (ВДТ) не только для регулирования напряжения, но и для компенсации РМ [5]. Согласно расчетам, возможна компенсация до 30% от полной суммарной мощности АТ и ВДТ. Такое аппаратное решение является весьма эффективным, так как позволяет либо полностью отказаться от использования УШР, либо использовать реакторы со значительно меньшей установленной мощностью.

Проведенный технико-экономический анализ предложенных аппаратных решений показывает эффективность использования, в качестве статических компенсаторов РМ, подключаемые определенным способом батареи конденсаторов и силовые трансформаторы, и автотрансформаторы.

Рассмотренные выше ТКУ могут быть эффективно применятся для сетей сверхвысокого, высокого и низкого напряжения.

Управление, предложенным способом, силовых трансформаторов и автотрансформаторов позволяет значительно расширить их функциональные возможности по регулированию напряжения и реактивной мощности в сетях сверхвысокого и высокого напряжения.

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. А.с. 1576983 А1, МКИЗ Н 02 J 3/18. Устройство для подключения конденсаторной батареи в электрических сетях / Л.Ф. Алиева, В.Н. Крысанов, Я.С. Рубин, В.Е. Быков (СССР). – № 4498481; заявл. 27.09.88; опубл. 07.07.90, Бюл. № 25.

3. Крысанов В.Н. Возможности использования в автоматизированной системе управления электроснабжением промышленных предприятий тиристорных конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности/ В.Н.Крысанов, К.В.Иванов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2017. Т. 13. № 1. С. 40-45.

4. Krysanov V.N. A physical model of power electronic devices based on static voltage transducers / V.N. Krysanov, V.L. Burkovskii, A.D. Danilov, A.M. Litvinen-ko, A.L. Rutskov // Russian electrical engineering. AllertonPress, Inc. – 2018. - V. 89(6). - P. 381–384.

5. А.С. 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: 697.7

РЕГУЛИРУЕМЫЙ ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПАССИВНОГО СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Т.В. Щукина[1], М.Н. Жерлыкина[2], Р.А. Шепс[3], Е.Э. Бурак[4]
[1]Канд. техн. наук, профессор, schukina.niki@yandex.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, zherlykina@yandex.ru
[3]Ассистент, romansheps@yandex.ru
[4]Канд. техн. наук, доцент, burak.e@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. Рассматриваются различные схемы исполнения пассивного солнечного отопления зданий. Анализируется возможность их широкого применения для энергосберегающей эксплуатации сооружений. Чтобы повысить КПД таких систем, должно выполняться индивидуальное конструирование с учетом климатических особенностей района строительства и на основе выбора рациональной комбинаторики наружного ограждения по результатам теоретических исследований. Получено решение уравнения теплопроводности для активных строительных конструкций с учетом влияния конвективного теплообмена и теплового потока, поступающего от солнечной радиации. На основе расчетов выявлена энергоактивная зона несущего слоя, защищенного с внешней стороны светопрозрачным ограждением. Определена целесообразная для процесса утилизации солнечного излучения толщина аккумулирующего слоя.

Для повышения эффективности пассивного отопления и снижения теплопоступлений в летний сезон предложено использовать расположенные между остеклением и несущей конструкцией подвижные экранирующие теплозащитные устройства. Тепловую изоляцию следует размещать с образованием воздушного зазора от аккумулирующего слоя, защищая внутреннюю поверхность наружного ограждения, закрытую отделочным материалом. Предлагаемые инновационные технические решения, приводимые в статье, повышают эффективность утилизации солнечной энергии, что способствует более активному внедрению пассивных систем солнечного отопления, расширяя области их территориального применения.

Ключевые слова: энергосбережение, солнечная радиация, тепловая энергия, пассивное солнечное отопление, тепловой режим наружных ограждений, эффективность утилизации солнечного излучения, конструирование энергоактивных наружных ограждений, аккумулирующий слой, тепловая изоляция, микроклимат помещений.

Целью исследований является повышение эффективности систем пассивного солнечного отопления.

Достичь высоких показателей в преобразовании солнечного излучения можно посредством конструирования энергоактивных наружных ограждений на основе теоретического исследования тепловых режимов в применяемых для этой цели строительных материалах. Вводимые структурные изменения, усиливающие утилизацию солнечной радиации без привлечения дополнительных значительных средств, предполагают использование широко распространенных не дорогих материалов с учетом рекомендаций, разработанных на основе получаемых решений для протекающих процессов. Результатом исследований в конечном итоге является создание энергоактивных

ограждений эконом-класса, востребованность в которых существует во всесезонных климатических регионах различных государств.

Для рационального конструирования фасадно-интегральных систем солнечного теплоснабжения главным вопросом является распределение теплового режима, генерируемого в поглощающем и аккумулирующем слое. Для изучения температурного поля, возникающего в энергоактивных строительных конструкциях запишем уравнение теплопроводности пластины в следующем виде

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}, \qquad (1)$$

где θ - разность температур между переменной T и некоторой средней величиной на поверхности, воспринимающей тепловой поток T_o, относительно которой происходит колебание этого параметра в конструкции наружного ограждения, ^oC; τ - время, с; a – коэффициент температуропроводности, $м^2/с$.

При заданных условиях теплообмена начало координат целесообразно поместить на поверхность (рис. 1), подвергаемую воздействию солнечной радиации. При этом граничные условия запишутся в виде

$$\text{при } x=0, \qquad -\lambda \left.\frac{\partial \theta}{\partial x}\right|_{x=0} = q_S - \alpha_1 \theta_{x=0}; \qquad (2)$$

$$\text{при } x=\delta, \qquad -\lambda \left.\frac{\partial \theta}{\partial x}\right|_{x=\delta} = \alpha_2 \theta_{x=\delta}; \qquad (3)$$

где λ - коэффициент теплопроводности материала стены, Вт/(м·^{o}C); δ - толщина стены, м; q_S – солнечная радиация, поступающая на поверхность конструкции через светопрозрачное ограждение, Вт/м^2; α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м^2·^{o}C).

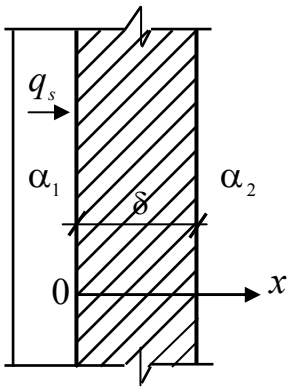


Рис.1. Схема передачи теплоты в пассивном солнечном отоплении

Наиболее достоверные результаты по итогам аналитических решений уравнения теплопроводности были получены для задач полуограниченных массивов из различных однородных материалов [1, 6, 7, 22]. Численное

моделирование температурных режимов поглощающего аккумулирующего слоя [20, 24, 25, 34] требует тщательного анализа базы расчетных данных для выявления параметров, оказывающих основное влияние на исследуемый процесс. Поэтому авторами статьи предложено представить решение уравнения (1) в виде полученной новой зависимости, наиболее адекватно моделирующей периодические изменения в рассматриваемых тепловых режимах

$$\theta = e^{kx}\left[A_1\cos(\omega\tau + kx) + A_2\sin(\omega\tau + kx)\right] + e^{-kx}\left[A_3\cos(\omega\tau - kx) + A_4\sin(\omega\tau - kx)\right] \qquad (4)$$

График изменения амплитуды температуры (рис. 2) в 15 часов дня для стены из силикатного кирпича здания, расположенного в районе 50° с. ш., показывает, что интенсивное ее затухание происходит в ограждениях толщиной до 250 мм, а при 380 мм и более влияние этих изменений в течение суток на микроклимат помещений значительно уменьшается. Поэтому, если воздушную среду необходимо прогреть в короткий срок, то для данной цели целесообразно использовать менее массивные строительные конструкции для пассивного солнечного отопления, применяя их в основном для зданий общественного и производственного назначения с односменным рабочим режимом. В других случаях толщину ограждения также не следует значительно увеличивать, но при этом необходимо устанавливать между остеклением и несущей конструкцией теплозащитные экранирующие средства, регулирующие поступление солнечной радиации [4].

Учитывая сложные метеоусловия зимних сезонов на большей территории РФ, конструкции ограждений, утилизирующие солнечное излучение, должны иметь не только аккумулирующий слой, но и характеризоваться высокими теплозащитными свойствами. Сочетание указанных требований достигается в новом патенто-приоритетном техническом решении [5] с несущим аккумулирующим слоем, закрытым от внешнего воздействия светопрозрачным ограждением, и дополнительно имеющем эффективную тепловую изоляцию с организованной воздушной прослойкой.

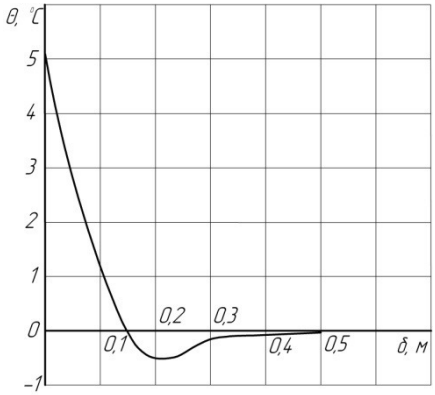


Рис. 2. Изменения относительной температуры в толщине ограждения

Представленная на рис. 3 схема наружной стены [5] при ее южной ориентации, позволяет посредством открытия воздушных клапанов

организовать теплосъем с аккумулирующего материала, нагреваемого солнечной энергией в холодный период года. При этом температура воздуха, поступающего через нижние воздушные клапаны, повышается при контакте с облучаемой поверхностью, затем через верхние клапаны теплый воздух направляется в отапливаемое помещение. При закрытых воздушных клапанах слой тепловой изоляции создает термическое сопротивление, значительно сокращая теплопотери в отопительный сезон и теплопоступления в летний. Для эффективной утилизации солнечного излучения следует предусмотреть автоматическое переключение клапанов, используя для этой цели электроэнергию, вырабатываемую малым количеством фотоэлементов, расположенных на гелиоактивном фасаде здания. Кроме того, целесообразно установить систему охлаждения аккумулирующего слоя для теплого периода года, которая, осуществляя избыточный теплосъем, будет направлять нагретый теплоноситель на горячее водоснабжение. При конструировании такой системы охлаждения фотопреобразователи необходимо размещать на трубах, тем самым предотвращая их перегрев, снижающий воспроизводство электроэнергии.

При конструировании наружного ограждения с функцией утилизации солнечного излучения толщина применяемой тепловой изоляции может быть определена посредством теплотехнического расчета при соблюдении условия энергосбережения [2]. Для ориентировочной оценки необходимого объема аккумулирующего материала воспользуемся уравнением теплового баланса, пренебрегая конвективным теплообменом в воздушной прослойке, что соответствует режиму закрытых клапанов. Данный режим на первоначальном этапе поглощения солнечного излучения южным фасадом позволяет прогреть аккумулирующий слой с превышением температуры внутреннего воздуха помещений. Это условие обеспечит последующий режим пассивного солнечного отопления.

а б

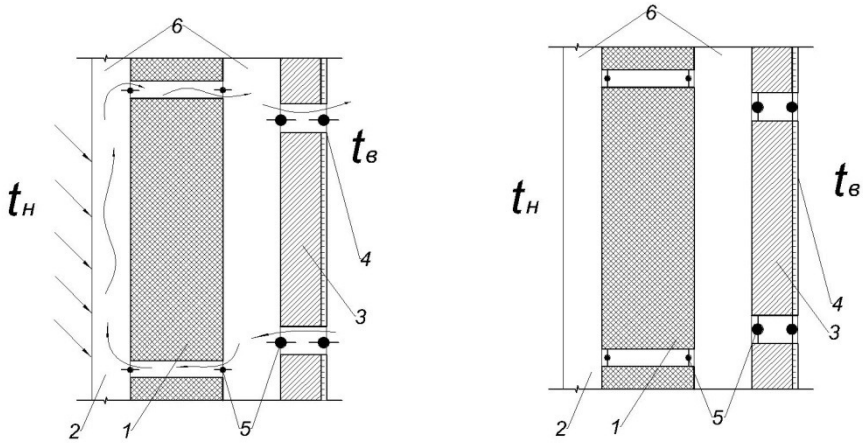


Рис.3. Схема пассивной утилизации солнечной энергии при энергоактивном наружном ограждении: а — при интенсивном облучении в холодный период года; б — в ночное время, или при неблагоприятных погодных условиях в отопительный период, или в летние месяцы; 1 — теплоаккумулирующий несущий слой ограждающей конструкции; 2 —

светопрозрачное покрытие; 3 — теплоизоляционный материал; 4 — внутренняя отделка; 5 — клапаны; 6 — воздушная прослойка

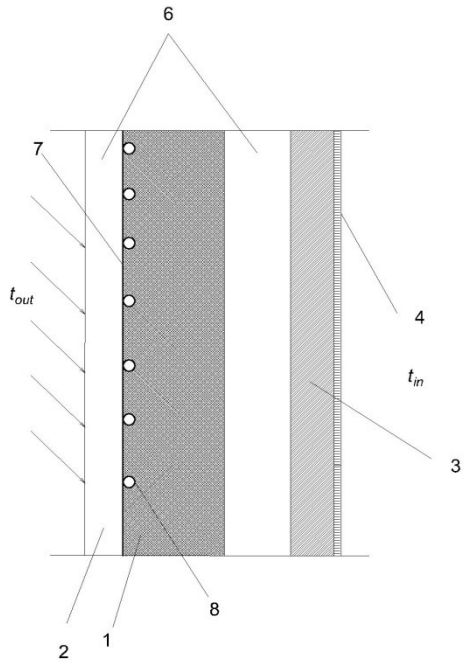


Рис.4. Вид сверху разреза энергоактивного наружного ограждения:1-6 — тоже, что и на рис. 4; 7 — темный окрасочный материал с высоким коэффициентом теплопроводности; 8 — трубы с теплоносителем

Достаточная облученность солнечной радиации значительных территорий Евросоюза и РФ, остекление с низким коэффициентом теплопроводности, дополнительно имеющие экранирующие устройства и эффективная комбинаторика наружных ограждений южных фасадов позволят достичь высокого уровня энергосбережения в холодный период года не только в южных регионах, но и в районах с более суровыми климатическими условиями. Для создания оптимальных режимов эксплуатации систем пассивного солнечного отопления необходимо их проектировать в соответствии с разработанными в результате теоретических исследований рекомендациями по структурному исполнению аккумулирующего материала, экранирующих устройств и тепловой защите, предотвращающей теплопотери и избыточные теплопоступления. Дополнительные воздушные прослойки между несущим слоем и изоляционным материалом способствуют большему конвективному прогреванию воздуха, поступающего в последствии в отапливаемые помещения. Применение новых, недорогих, простых в обслуживании и подвижных экранирующих теплозащитных конструкций [4] для светопрозрачных ограждений обеспечит не только контроль и регулирование теплопоступлений от солнечного излучения в летний сезон, но и эффективное их использование в холодный период года. Это в конечном итоге повысит КПД пассивных систем и обеспечит более широкое территориальное их распространение.

В соответствии с полученными результатами исследований при проектировании наружных энергоэффективных стен зданий необходимо соблюдать следующие условия: для южных регионов, соответствующих 40 ^{o}с.ш., толщина аккумулирующего слоя не должна превышать 200 мм, а при расположении зданий севернее с каждым последующим градусом необходимо ее снижать на 6-7 мм. Толщину тепловой изоляции целесообразно принимать в соответствии с нормативным расчетом из условия энергосбережения для района проектирования.

Воплощение принципов конструирования наружных ограждений, утилизирующих солнечную энергию, не вызовет затруднений при современных тенденциях архитектуры зданий (рис. 1). Проектируемые значительные площади остеклений необходимо использовать для создания энергоактивных ограждений на южных фасадах сооружений, что безусловно снизит зависимость от традиционных ресурсов.

Литература

1. Турулов А.В. Гелиоактивные стены зданий. М.: Издательство АСВ., 2011, 168 с.

2. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Минрегион России. М.: ООО «Аналитик», 2012, 95 с.

3. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. Минрегион России. М.: ООО «Аналитик», 2012, 108 с.

4. Патент 2327847 МКИ Е06В 9/24. Солнцезащитное окно/ Щукина Т.В., Чудинов Д.М, Кузнецова Л.В. Воронежский государственный архитектурно-строительный университет.- № 2006136742, заявлено 16.10.2006; опубл. 27.06.08; Бюл. № 18.

5. Положительное решение по заявке на изобретение № 2015106253 от 24.02.2015. Солнечный тепловой коллектор.

6. Бутузов В.А., Бутузов В.В. Использование солнечной энергии для производства тепловой энергии: Справочно-методическое издание. – М.: Интехэнерго-Издат, Теплоэнергетик, 2015, 304 с.

7. Баскаков А.П., Мунц В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. - М.: Издательский Дом «БАСТЕТ», 2013, 368 с.

8. Бутузов В.А. Солнечное теплоснабжение: мировой опыт и перспективы российской гелиотехники// Альтернативная энергетика и экология. 2013, №8, с 42-48.

9. Tian Y., Zhao C.Y. A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications// Appl. Energy. 2013. 104, с. 538-553.

10. Schoof Mareike, Resch Bernd, Ludwig Dorothea. A GIS-based concept for solar energetic examination of new building projects// GIS. Sci. 2013. 26, №3, с. 97-103.

11. Bhardwaj Saurabh, Sharma Vikrant, Srivastava Smriti, Sastry O.S. Bandyopadhyay B., Chandel S.S., Gupta J.R.P. Estimation of solar radiation using a combination of Hidden Markov model and generalized Fuzzy model// Sol. Energy. 2013. 93, с. 43-54. Англ.

12. D'Antoni M., Saro O. Energy potential of a Massive Solar-Thermal Collector design in European climates// Sol. Energy. 2013. 93, с. 195-208.

13. Sonnenhauser: Positive Aussichten// Sonne Wind und Warme. 2014. 38, №1, с. 15.

14. Student solar heizen// Sonne Wind und Warme. 2014. 38, №3 с. 24.

15. Гарькавый К.А. Главный возобновляемый источник энергии// Альтернативная энергетика и экология. 2014, №8, с. 22-28.

16. Альтернативная энергетика поможет преодолеть энергетический дефицит// Главный энергетик. 2014, №6, с. 61-66.

17. Рафикова Ю.Ю. Киселева С.В., Нефедова Л.В. Использование ГИС-технологий в области возобновляемой энергетики: зарубежный и отечественный опыт// Альтернативная энергетика и экология. 2014, № 12, с. 96-106.

18. Neuheiten in allen Bereichen// Sonne Wind und Warme. 2014. 38, № 6, с. 80-89.

19. Warme aus Luft. Tab – Fachmedium TGA-Branche. 2014. 45, № 6, с. 26.

20. Петров В.М. Оценка поступления солнечной энергии на поверхности активных фасадно-интегрированных солнечных систем энергоснабжения// Альтернативная энергетика и экология. 2014, № 11, с. 85-91.

21. Muller Bjorn, Wild Martin, Driesse Anton, Behrens Klaus. Rethinking solar resource assessments in the context of global dimming and brightening// Sol. Energy. 2014. 99, с. 272-282.

22. Rizzi Francesco, van Eck Nees Jan, Frey Marco. The production of scientific knowledge on renewable energies: Worldwide trends, dynamics and challenges and implications for management// Renew. Energy. 2014. 62, с. 657-671.

23. Abdel-Salam Ahmed H., Ge Gaoming, Simonson Carey J. Thermo-economic performance of a solar membrane liquid desiccant air conditioning system// Sol. Energy. 2014. 102, с. 56-57.

24. Tan Alex Yong Kwang, Wong Nyuk Hien. Influences of ambient air speed and internal heat load on the performance of solar chimney in the tropics// Sol. Energy. 2014. 102, с. 116-125.

25. Tyagi R.K., Ranjan Ravi, Kishore Kunal. Performance studies on flat plate solar air heater subjected to various flow patterns// Гелиотехника. 2014, № 2, с. 38-43.

26. Патент 2254340 МПК F2J4 2/2.Комбинированный солнечный воздушный коллектор/ Серебряков Р.А., Батухтин С.Г., Осадчих В.П. ФГБНУ ВИЭСХ. - № 2013158445/06; заявлено 27.12.2013; опубл. 10.04.2015.

27. Шакиров В.А., Артемьев А.Ю. Учет данных метеостанций при анализе эффективности применения солнечных энергетических установок// Вестник ИрГТУ. 2015, № 3, с. 227-232.

28. Земсков В.И. Возобновляемые источники энергии в АПК. – СПб.: Издательсво «Лань», 2014, 368 с.

29. Kaluri R., Vijayaraghavan S., Ganapathisubbu S. Trans. ASME. J. Model development and performance studies of a concentrating direct absorption solar collector// Sol. Energy Eng. 2015. 137, № 2, с. 210-215.

30. Bahrehmand D., Ameri M. Energy and exergy analysis of different solar air collector systems with natural convection// Renew Energy. 2015. 74, с. 357-368.

31. Brownson Jeffrey R.S., Gardner Drew, Nieto Antonio. Solar resourse-reserve classification and flow-based economic analysis// Sol. Energy. 2015. 116, с. 45-55.

32. Zhong Xiaohui, Kleisl Jan. Clear sky irradiances using REST2 and MODIS// Sol. Energy. 2015. 116, с. 144-164.

33. Berthou Yannick, Biwole Pascal Henry, Achard Patrick, Sallee Hebert et al. Full scale experimentation on a new translucent passive solar wall combining silica aerogels and phase change materials// Sol. Energy. 2015. 115, с. 733-742.

34. Смирнова О.А., Ващинская И.В., Аветисян Ю.Э. Исследование теплофизических свойств абсорбентов для надувных воздушных солнечных коллекторов// Инновационная наука. 2015, №8, ч. 2, с. 76-78.

УДК 621.039.003

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА АЭС

И.А. Колягина[1], А.Д. Данилов[2]
[1]Начальник ОРПСР, KolyaginaIA@nvnpp1.rosenergoatom.ru
филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»
[2]Д-р техн. наук, профессор, профессор, danilov-ad@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В данной работе рассматривается методология системного анализа, используемая на Нововоронежской АЭС для стратегического планирования и управления достижением поставленных стратегических целей и задач.

Ключевые слова: системный анализ, стратегия, декомпозиция, цели, показатели.

Одним из подходов повышения эффективности управления промышленным предприятием является методология системного анализа. Методы и процедуры системного анализа направлены на постановку целей, выдвижение альтернативных вариантов решения проблем, выявление масштабов неопределённости по каждому из вариантов и сопоставление вариантов по тем или иным критериям эффективности, а также связанных организационных задач. Для разрешения проблемной ситуации проводится системное исследование при помощи методов декомпозиции, анализа и синтеза системы[1]. Умение распознать систему, декомпозировать ее на элементарные составляющие, определить законы управления каждой подсистемой и вновь синтезировать систему требует разработки ряда специальных формальных моделей, процедур, алгоритмов. Цепочка “проблемная ситуация – цели – функция – структура - внешние ресурсы” образует логически обоснованную последовательность системной деятельности. На Нововоронежской АЭС для операционализации стратегии и управления достижением поставленных стратегических целей и задач используется модель Дерева целей, фокусирующая системы управления предприятия на непрерывных улучшениях деятельности в точках наибольшего влияния на стратегические и производственно-экономические показатели. Дерево целей является ключевым инструментом декомпозиции целей, определяет и визуализирует функциональный и экономический смысл деятельности предприятия и механизмы повышения эффективности деятельности в текущем периоде и в долгосрочной перспективе. [2].Дерево целей Нововоронежской АЭС состоит из пяти частей: безопасность;увеличения масштаба деятельности и доли рынка;операционная эффективность, продуктовая себестоимость, оптимизация использования ресурсов;новые продукты и международный бизнес; условия долгосрочной деятельности.

Цели классифицируются на экономические и функциональные цели. Экономические цели - цели направленные на достижение желаемого уровня прибыльности, конкурентоспособности, производительности, экономической

эффективности использования ресурсов, эффективности использования финансовых ресурсов. Имеют количественные показатели достижения целей и подчиняются математической логике.

Функциональные цели – производные цели функциональных подразделений, обеспечивающие условия долгосрочной деятельности предприятия. К функциональным относятся цели в области обеспечения безопасности деятельности предприятия (ядерной, радиационной, экологической и т.п.), управления рисками, человеческих ресурсов (вовлеченность, квалификация, управление знаниями), организационного потенциала (качество и скорость протекания процессов, эффективность и гибкость системы управления), социальной приемлемости и ответственности. Имеют количественные и качественные показатели измерения целей. С учетом того, что при производстве электроэнергии наивысшим приоритетом является безопасность[3], декомпозиция целей, направленных на обеспечение безопасности отражена в Дереве целей очень подробно.

Декомпозиция целей и показателей выполняется вплоть до начальника цеха (отдела), формируя единое Дерево целей. При этом важно понимать, что на различных уровнях управления решаются задачи различного характера и объема. Для каждой цели определены целевые показатели, которые определяют возможное состояние системы, т.е. степень выполнения целевых нормативов при имеющихся временных, ресурсных или других ограничениях. Характерными примерами являются: плановая выработка электроэнергии и ее фактическое значение; планируемое и фактическое время проведения ремонтов и т.д. Уровень реализации цели определяется отношение целевого показателя к целевому нормативу.

С помощью Дерева целей удалось визуализировать взаимосвязи между целями на всех уровнях управления предприятием, детализировать проблематику функционирования АЭС и разработать мероприятия по каждой отдельной задаче.

Литература

1. Силич В.А. Декомпозиционные алгоритмы построения моделей сложных систем/ В.А. Силич – Томск: изд-во Томск. ун-та, 1982. – 136 с.

2. Колягина И.А. Прикладные методы системного анализа в задачах управления производством электроэнергии на Нововоронежской атомной электростанции / И.А. Колягина, А.Д. Данилов //Вестник Воронежского государственного технического университета.- 2018. -Т. 14. № 2.- С. 57-65.

3. Показатели безопасности при эксплуатации атомных станций. IAEA TECDOC 1141. – МАГАТЭ, 2000. – 126 с.

УДК: 536.4

СОЛНЕЧНАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА НА БАЗЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

А.С. Дмитриев
Д-р техн. наук, профессор, asdmitriev@mail.ru
ФГБОУ ВО НИУ «Московский энергетический институт»

Аннотация. В данной работе проведен анализ теплофизических процессов при нагреве графеновых наножидкостей солнечным излучением планковского спектра для задач солнечной теплоэнергетики на основе новых функциональных наноматериалов. Показано, что при подобном нагреве наножидкостей формируются локальные зоны генерации паровых пузырей, связанные с резонансной наноплазмоникой, дающие высокий коэффициент преобразования в пар.

Ключевые слова: солнечная теплоэнергетика, наноплазмоника, графеновые хлопья

Исследования последнего десятилетия однозначно показали, что эффективность преобразования солнечного излучения в системах солнечной теплоэнергетики в значительной степени связана с морфологией поверхностей поглощения и выбором рабочих жидкостей [1-4]. В качестве рабочих жидкостей наиболее эффективно использование наножидкостей (базовая жидкость+нанокомпонентны). Базовая жидкость представляет собой хорошо известные теплоносители (вода, этиленгликоль и т.п.). В качестве наноразмерных наполнителей используются углеродные (фуллерены, нанотрубки, наноалмаз, графен и его производные), керамические, а также наночастицы, в основном благородных металлов (золото, серебро, платина), имеющие сильные наноплазмонные эффекты нагрева [3,4].

В данной работе, на основе моделей [3,5], выполнены расчеты наноплазмонного поглощения графеновыми наножидкостями планковского спектра солнечного излучения с последующей локальной генерацией паровых пузырей.

Интенсивности рассеяния и поглощения могут быть вычислены для наночастиц в наножидкости, согласно соотношениям [1,2]. Выражение для изменения интенсивности поглощения по глубине распространения солнечного излучения есть

$$\frac{dI_a^i(\lambda,z)}{dz} = \alpha(\lambda,\phi) I_0\left\{\lambda, T(z)\right\} - \sigma_e(\lambda,\phi) I_a^i(\lambda) \qquad (1)$$

Здесь $\alpha(\lambda,\phi)$ - спектральный коэффициент поглощения, $\sigma_e(\lambda,\phi)$ - спектральный коэффициент рассеяния, индекс i указывает на направление распространения излучения ($i=1$ – вдоль падающего, $i=-1$ – в противоположном направлении), $I_0\left\{\lambda, T(z)\right\} = 4\pi\hbar c_0^2 \left\{\lambda^5\left[\exp(2\pi\hbar c_0 / \lambda k_B T\right] - 1\right\}^{-1}$ - планковское излучение. Перенос тепла в наножидкости описывается следующим уравнением и граничными условиями:

$$\lambda_{eff}\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}-\frac{\partial q_r}{\partial z}=\rho C_p \mathrm{v}\frac{\partial T}{\partial x},\ x=0:\ 0<z<L,\ T(0,z)=T_0;z=0:\ x>0,\ q_r(L)-\lambda_{eff}(\partial T/\partial z)_{z=L}=0 \quad (2)$$

Механизм поглощения графеновыми нанохлопьями (GNF) излучения носит наноплазмонный характер и описан, например, в [5]. На основе приведенных уравнений (1)-(2), проведены расчеты скорости испарения в различных графеновых наножидкостях и в чистой воде в зависимости от времени испарения и температуры, (приведены на рисунке) и сравнение с нашими экспериментальными данными. Хорошо видно, что использованные модели дают приемлемое согласие с данными экспериментов.

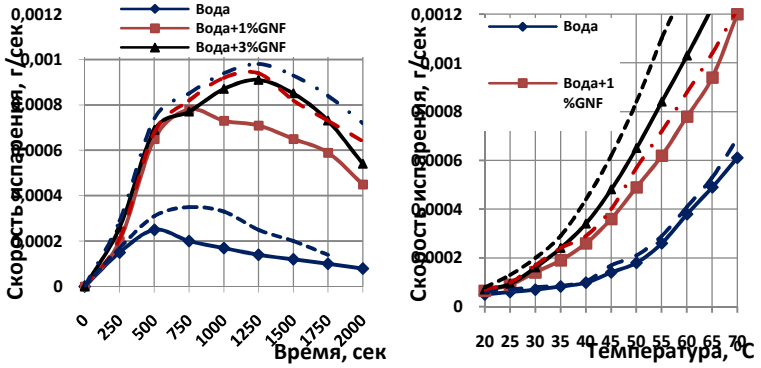


Рис. Скорости испарения различных графеновых наножидкостей и чистой воды в зависимости от времени испарения и температуры

Помимо этого, были проведены расчеты по скорости генерации и всплытию пузырей, а также вычисление эффективного коэффициента преобразования планковского спектра излучения в наножидкостях в пар, которые показали величину коэффициента преобразования около 73% для графеновых наножидкостей с 3% графеновых хлопьев.

Работа частично поддержана Российским научным фондом (грант № 17-19-01757).

Литература

1. Z. Deng et al. An emergence of solar thermal utilization: solar-driven steam generation// J. Mater. Chem. - 2017-. V. 17. 7691e7709.

2. K. Leong, et al. An overview on current application of nanofluids in solar thermal collector and its challenges// Renew. Sustain. Energy Rev. -2016-. 531092e1105.

3. A. Kasaeian, A. Eshghi, M. Sameti. A review on the applications of nanofluids in solar energy systems// Renew. Sustain. Energy Rev. -2015-. V. 43. 584e598.

4. M. Amjad et al. Volumetric solar heating and steam generation via gold nanofluids, Appl. Energy. -2017-. V.206. 393e400.

5. A.S. Dmitriev. Solar heat power engine on the basis of direct conversion of the Planck spectrum of solar radiation with the use of nanofluids// Int. Conf. Ren. Energy – ICREN 2018. April 25-27, 2018.

УДК: 621.314:62-83

СТРУКТУРА АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ АЭС

В.А. Трубецкой[1], А.К. Муконин[2], Д.А. Тонн[3]
[1]Канд. техн. наук, доцент, trubetskoy.v@inbox.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, mukonin_ak@mail.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, tonnda@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. Рассмотрена структура асинхронного частотно-управляемого электропривода, предназначенного для перегрузочных манипуляторов АЭС. Она реализует раздельное управление статическими и динамическими составляющими электромагнитного момента асинхронного двигателя.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, частотно-управляемый электропривод, перегрузочный манипулятор.

С ростом мощностей АЭС вопросы повышения их надежности и безопасности становятся все более актуальными. Важным этапом функционирования атомных станций является планово-предупредительный ремонт, во время которого осуществляется загрузка-выгрузка топлива, перестановка топливных элементов. Данные операции осуществляются с помощью перегрузочных манипуляторов.

Так как исполнительные приводы манипуляторов работают в тяжелых условиях эксплуатации (наличие коррозиальной среды, нейтронного и гамма-излучений), к ним предъявляются жесткие требования в отношении надежности и безаварийности функционирования. Этим требованиям отвечают асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, как наиболее устойчивые к такого типа возмущающим воздействиям.

Кроме того, отработка программных движений перегрузочным манипулятором должна производиться с высокой точностью без перерегулирования. Такие характеристики реализуются в системах векторного частотного управления.

Предлагается для использования в перегрузочных манипуляторах АЭС структура частотно-управляемого электропривода с косвенной ориентацией по потоку. Она построена на использовании модели асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, как системы с параметрической обратной связью. /1,2/.

Для постоянного контроля статического момента нагрузки, с одной стороны, и направленного формирования переходных процессов с другой, предлагается раздельное регулирование статической и динамической составляющими электромагнитного момента асинхронного двигателя. Отработка статической составляющей момента осуществляется формированием модуля тока статора и скольжения в функции этого модуля. При этом реализуется закон управления с поддержанием постоянства угла между током

статора и потокосцеплением ротора. Угол поворота вектора тока статора α_{is} формируется в функции угла поворота ротора α , частоты скольжения ω_{2i} и модуля тока статора I_s :

$$\alpha_{is} = \alpha + \omega_{2i} t + ln \frac{I_s}{T_r S + 1},$$

Где T_r - электромагнитная постоянная роторной цепи.

Динамическая составляющая электромагнитного момента формируется динамической составляющей скольжения при заданном модуле тока статора.

Литература

1. Трубецкой В.А., Копанев О.А. Структура АД при регулировании динамического скольжения / В.А. Трубецкой, О.А. Копанев // Межвузовский сборник научных трудов. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет» – 2006. - С. 136–140.

2. Трубецкой В.А., Шиянов А.И. Адаптивный частотно-регулируемый электропривод для промышленных роботов / В.А. Трубецкой, А.И. Шиянов // Автоматизация и роботизация технологических процессов: Материалы регион. науч.-техн. конф. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т – 2009. С. 84–87.

УДК 538.9:621.382

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДОВ ВИСМУТА Bi2Te3-Bi2Se3 И Bi2Te3-Sb2Te3 И АДГЕЗИЯ КОММУТАЦИОННЫХ СЛОЕВ НА ИХ ПОВЕРХНОСТИ

А.В. Костюченко[1], В.А. Дыбов[2], Д.В. Сериков[3], М.С. Дякина[4], П.С. Мозговой[5]
[1]Канд. физ.-мат. наук, av-kostuchenko@mail.ru
[2]Мл. науч. сотр., dybovvlad@gmail.com
[3]Мл. науч. сотр., dmitriy.tut@mail.ru
[4] Студент, dyakinamasha@mail.ru
[5]Студент, pasha.mozgovoi.989@inbox.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В работе представлены результаты сравнительного исследования структуры, фазового состава и механических свойств термоэлектрических (ТЭ) материалов n-типа на основе твердого раствора Bi_2Te_3-Bi_2Se_3 и p-типа на основе твердого раствора Bi_2Te_3-Sb_2Te_3 после различных вариантов модификации поверхности: механической полировкой (МП); МП с последующей импульсной фотонной обработкой (ИФО); МП с последующей электрохимической полировкой (ЭХП). Оценены механические свойства барьерно-коммутационного слоя Mo/Ni, полученного в процессе магнетронного распыления на поверхности ветвей.

Ключевые слова: термоэлектрический материал, Bi_2Te_3-Bi_2Se_3, Bi_2Te_3-Sb_2Te_3 модификация поверхности, твердость, адгезия.

Эффективность ТЭ генераторных батарей определяется как объемными свойствами ТЭ материала (в первую очередь, ТЭ добротностью), так и контактными свойствами границы раздела полупроводник-коммутационный слой (контактное сопротивление, адгезия). Первые зависят от фазового состава и текстуры материала [1], вторые – от способа обработки поверхности материала перед формированием коммутационных слоев [2].

В работе методами рентгеновской дифрактометрии (РД), растровой электронной микроскопии (РЭМ) исследованы структура и фазовый состав, а методом наноиндентирования – твердость ТЭ материалов n-типа на основе твердого раствора Bi_2Te_3-Bi_2Se_3 и p-типа на основе твердого раствора Bi_2Te_3-Sb_2Te_3, полученных в процессе горячего прессования до и после различных вариантов модификации поверхности: МП; МП с последующей ИФО некогерентным светом в атмосфере Ar; МП с последующей ЭХП в водном растворе NaOH (KOH) + $H_2C_4H_4O_6$ + $C_3H_5(OH)_3$. Методом испытаний на сдвиг исследована адгезия коммутационно-барьерных покрытий из слоев Mo (0,2 мкм) и Ni (0,2 мкм), полученных на поверхности ТЭ материалов методом магнетронного распыления.

По данным РД установлено, что в результате горячего прессования в объеме материалов на основе твердых растворов Bi_2Te_3-Sb_2Te_3 и Bi_2Te_3-Bi_2Se_3 формируется текстура с осью зоны <001>, параллельной оси прессования; для приповерхностных областей характерна текстура с осью зоны <001>, нормальной поверхности. Как следует из данных РЭМ (рисунок), толщина

приповерхностных областей с плоскостями спайности, произвольно ориентированными (область С) и параллельными (область В) относительно поверхности, составляет около 200 мкм.

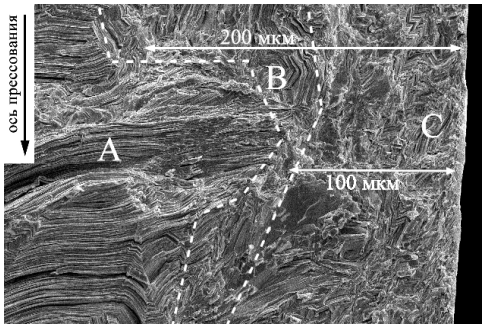


Рис. РЭМ-изображение поверхности поперечного скола образца ТЭ материала на основе твердого раствора Bi_2Te_3-Sb_2Te_3, полученного в процессе горячего прессования

Установлено, что МП, ИФО (доза облучения до 140 Дж·см$^{-2}$), ЭХП не приводят к изменению фазового состава приповерхностного слоя ТЭ материалов. При этом МП и ИФО приводят к рекристаллизации приповерхностных слоев образцов (до нескольких мкм в случае МП, до нескольких десятков мкм в случае ИФО), повышая их твердость (таблица).

Таблица – механические свойства поверхности образцов Bi_2Te_3-Sb_2Te_3 и Bi_2Te_3-Bi_2Se_3 и слоя металлизации на их поверхности

Вид испытания	Наноиндентирование поверхности материалов				Испытание на сдвиг слоя металлизации Mo/Ni	
Измеряемая величина	твердость, ГПа				адгезия, МПа	
Нагрузка на индентор, мН	10	200	10	200	-	
Тип твердого раствора	Bi_2Te_3-Sb_2Te_3		Bi_2Te_3-Bi_2Se_3		Bi_2Te_3-Sb_2Te_3	Bi_2Te_3-Bi_2Se_3
Без обработки	1,3	1,0	1,1	0,9	1,2-2,1	0,9-1,3
МП	1,5	0,8	1,3	0,7	2,3-2,7	4,2-5,6
МП+ЭХП	1,0	0,7	1,0	0,6	1,2-3,7	1,9-2,3
МП + ИФО	1,1	1,0	1,3	0,9	2,3-3,9	4,4-5,5

Установлено, что наиболее эффективными в повышении адгезии слоев металлизации на поверхности твердого раствора Bi_2Te_3-Sb_2Te_3 является ИФО, на поверхности твердого раствора Bi_2Te_3-Bi_2Se_3 – МП и МП+ИФО (таблица).

Литература

1. Бублик В.Т. Влияние условий выращивания слит-ков твердых растворов $Bi_2Te_{2,7}Se_{0,3}$ на анизотропию физических свойств / В.Т. Бублик А.И. Воронин, Е.А. Выговская, В.Ф. Пономарев, Н.Ю. Табачкова // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники.– 2010. – №1. – С. 58-62.

2. Simkin A.V Effect of contact surface condition on the adhesion strength of interconnect layers of thermoelements based on extruded bismuth telluride / Simkin A.V., Biryukov A.V., Repnikov N.I., Ivanov O.N. // Journal of Thermoelectricity, 2012.- N 2.- P.76-82.

УДК 621.315.5:629.7.064-56

ТАНДЕМНЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТ - GaAs

Д.С. Саранин[1], М.Н. Орлова[2], С.Ю. Юрчук[3], О.И. Рабинович[4], П.А. Гостищев[5], А.В. Паничкин[6], М.П. Коновалов[7], Ю.В. Осипов[7], С.И. Диденко[9]
[1]Кан. физ.-мат. наук, доцент, rawork2008@mail.ru
[2]Кан. физ.-мат. наук, доцент., rawork2008@mail.ru
[3]Кан. физ.-мат. наук, доцент, rawork2008@mail.ru
[4]Кан. физ.-мат. наук, доцент, rawork2008@mail.ru
[5] Аспирант, rawork2008@mail.ru
Кан. техн. наук, доцент, rawork2008@mail.ru
[7]Кан. физ.-мат. наук, доцент, rawork2008@mail.ru
[8]Кан. физ.-мат. наук, доцент, rawork2008@mail.ru
[9]Кан. физ.-мат. наук, доцент, rawork2008@mail.ru
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Ленинский пр-т, д. 4, Москва, Россия

Аннотация: в работе рассмотрены тандемные солнечные элементы на основе p-i-n GaAs и перовскитной $CH_3NH_3PbI_3$ подъячеек, включенных как последовательно, так и параллельно [1-3]. При экранировании подъячейки GaAs пленкой MAPbI3 наилучшее значение эффективности составило чуть более 20 %.

Ключевые слова: перовскитная фотовольтаика, GaAs, солнечный элемент, моделирование.

Проведено моделирование и сравнение характеристик тандемных структур, соединенных немонолитно (рис. 1).

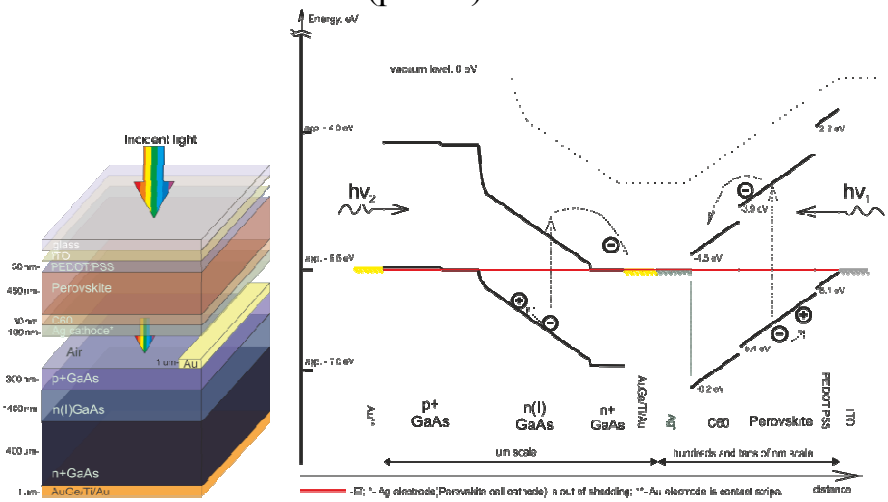


Рис. 1. Схемы тандемных устройств (тандем GaAs-перовскит в режиме короткого замыкания)

Экспериментальные ВАХ характеристики получены с помощью Keithley 2400SMU при освещении образцов солнечным симулятором Thermo Oriel ABA.

Для измерения внешней квантовой эффективности использовали систему QE X6. Параметры структур ($R_{пос}$, $R_{шунт}$, n (коэффициент неидеальности), J_o темновой ток (ток насыщения)) получали с помощью многомерной оптимизации функции разности экспериментальной и теоретической характеристик. Ниже приведенное уравнение использовалось в качестве базового для построения теоретических характеристик:

$$J = J_0 \left\{ \exp\left[\frac{q(U - J \cdot R_{пос})}{n \cdot k \cdot T} \right] - 1 \right\} + \frac{U - J \cdot R_{пос}}{R_{шунт.}} - J_Ф$$

Проведен анализ влияния параметров отдельных подъячеек на характеристики тандема. На рисунке 2 представлены теоретические и экспериментальные ВАХ с параллельным и последовательным подключением.

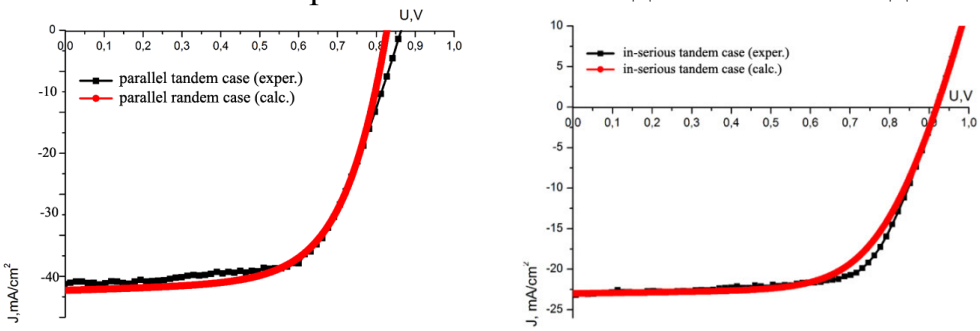


Рис. 2. Теоретические и экспериментальные ВАХ с параллельным и последовательным подключениями.

Показано, что технологии GaAs и перовскита являются наиболее перспективными для применений тонкопленочной технологии металлоорганических полупроводников. Когда фототок подъячеек не сбалансирован, а значения $U_{х.х.}$ близки, параллельное соединение предпочтительнее. При экранировании подъячейки GaAs пленкой MAPbI3 получена общая эффективность более 20 %, и достигнут ток $J_{к.з.}$ - 41 мА/см^2 с высокими значениями $U_{х.х.}$ и коэффициента заполнения FF.

Литература

1. Ashurov N.R. State and prospects of solar cells based on perovkites / N.R. Ashurov, B.L. Oksengendler, A.A. Zakhidov // Applied solar energy.– 2016.– № 52 (1).– С. 5-15.

2. Orlova M.N. Film growth based on an organic basis for photovoltaic p-cells / M.N. Orlova, S.I. Didenko, O.I. Rabinovich, D.S. Saranin // Journal of nano and electronic physics.– 2015.–№ 7 (1).– С. 010131-010134.

3. Saranin D. Solar cell manufacturing method with the structure of the bulk heterojunction based on organic semiconductors with a direct architecture / D.S. Saranin, M.N. Orlova, S.I. Didenko, O.I Rabinovich // Materials Science Forum.– 2016.–№ 845.– С. 224-227.

УДК 621.1.016.4 (03)

ТЕПЛООБМЕН ПРИ ЛАМИНРАНОМ ТЕЧЕНИИ НЬЮТОНОВСКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ПЛОСКОМ ПОРИСТОМ КАНАЛЕ ПРИ СИММЕТРИЧНЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПЕРВОГО РОДА

В.И. Ряжских[1], Д.А. Коновалов[2], И.Г. Дроздов[3], Н.Н. Кожухов[4], Д.П. Шматов[5]
[1]Д-р техн. наук, профессор, ryazhskih_vi@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, dmikonovalov@yandex.ru
[3]Д-р техн. наук, профессор, drozdov_ig@mail.ru
[4]Канд. техн. наук, доцент, k0zhukhov@yandex.ru
[5]Канд. техн. наук, доцент, shmdm@ya.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. Получено точное аналитическое решение задачи о теплообмене в пористом плоском канале при ламинарном течении вязкого несжимаемого теплоносителя с граничными условиями первого рода, в предположении, что течение является однонаправленным, фазовые переходы отсутствуют, а теплофизические свойства постоянны. Модель построена на основе уравнений Шумана в виде начально-краевой задачи для системы параболических уравнений относительно локальных температур теплоносителя и пористой матрицы. Найдено соотношение для локального числа Нуссельта и условие достижимости компактности теплопередающих систем с пористыми наполнителями.

Ключевые слова: пористая среда, теплообмен, плоский канал, число Нуссельта, условие компактности

Пористые наполнители проточных каналов теплопередающих систем различного предметного назначения существенно интенсифицируют теплопередачу [1], что обуславливает их более компактную конструкцию. Однако количественная оценка возможной степени компактности невозможна без анализа явлений теплопереноса в пористых средах на основе фундаментального подхода, использующего классические представления о сопряженном тепломассообмене [2].

В работе рассматривается теплообмен в плоском параллельном канале при движении вязкого несжимаемого теплоносителя в ламинарном режиме с разнотемпературными граничными условиями первого рода на «смоченных» поверхностях. Физическая модель пористых сред принята стандартной согласно [3]. Фазовые переходы отсутствуют. Течение теплоносителя однонаправленное, ламинарное в режиме идеального вытеснения[4], инерционными эффектами пренебрегаем. Обоснованность таких допущений экспериментально подтверждена в [5].

Изложенные выше соображения позволили воспользоваться представлением уравнений энергии в форме Шуманна [6] для плоского слоя в предположении, что диффузия теплоты в поперечном направлении потоку теплоносителя существенно больше, чем в аксиальном.

$$\frac{\partial T_f(X,Y)}{\partial X}=\frac{1}{\varepsilon Pe}\frac{\partial^2 T_f(X,Y)}{\partial Y^2}+6\left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right)\frac{Nu_p\,\mathrm{Re}}{\mathrm{Pr}\,\mathrm{Re}_p^2}\left[T_s(X,Y)-T_f(X,Y)\right];$$

$$\frac{\partial^2 T_s(X,Y)}{\partial Y^2}=6(1-\varepsilon)Bi_p\left(\frac{\mathrm{Re}}{\mathrm{Re}_p}\right)^2\left[T_s(X,Y)-T_f(X,Y)\right];$$

$$T_f(0,Y)=1;\ T_f(X,0)=T_s(X,0)=0;\ T_f(X,1)=T_s(X,1)=0.$$

Расшифровка обозначений приведена в [4].

Последовательным применением одностороннего интегрального преобразования Лапласа и конечно-интегрального синус-преобразования Фурье получено точное решение исходной системы:

$$T_f(X,Y)=2\sum_{n=1}^{\infty}\exp\left[-\left(A\pi^2n^2+B-\frac{BC}{C+\pi^2n^2}\right)X\right]\sin(\pi nY);$$

$$T_s(X,Y)=2\sum_{n=1}^{\infty}\frac{C}{C+\pi^2n^2}\exp\left[-\left(A\pi^2n^2+B-\frac{BC}{C+\pi^2n^2}\right)X\right]\sin(\pi nY),$$

где $A=\dfrac{1}{\varepsilon Pe}$; $B=6\left(\dfrac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right)\dfrac{Nu_p\,\mathrm{Re}}{\mathrm{Pr}\,\mathrm{Re}_p^2}$; $C=6(1-\varepsilon)Bi_p\left(\dfrac{\mathrm{Re}}{\mathrm{Re}_p}\right)^2$.

Проведенный анализ показал, что использование пористого наполнителя всегда приводит к эффективному теплообмену. При этом для повышения компактности необходимо увеличение комплекса $B\pi^2/\left(C+\pi^2\right)$, который определяет теплофизические свойства системы, а также скорость подачи теплоносителя.

Литература

1. Delavar M.A., Azimi M. I Using porous for heat transfer enhancement in heat exchangers: review // J. of Eng. Science and Technology Review. – 2013. – v. 6. – № 1. – pp. 14-16.
2. Vafai K. Handbook of porous media. – NY: CRC Press Taylor & Francis Group, 2005. – 742 p.
3. Bear J., Bachmat Y. . Introduction to modeling of transport phenomena in porous media .– Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991. – 553 p. // Int. J. Heat and Mass Transfer. – 1994. - v. 37. – №6. – pp. 939 – 954.
4. Анализ математической модели теплосъема с плоской поверхности ламинарно движущимся хладагентом через сопряженную пористую среду / В.И. Ряжских, Д.А. Коновалов, М.И. Слюсарев, И.Г. Дроздов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математическое моделирование и программирование». 2016. Т.9. №3. С. 68 – 81.
5. Izadpanah M.R., Muller – Steinhagen H., Vamilahmad: M. Experimental and theoretical studies of convective heat transfer in a cylindrical porous medium // Int. V. of Heat and Fluid Flow. – 1998. – V. 19. - № - pp. 629-635.
6. Gamal A.A., Furmanski P. Problems of modeling flow and heat transfer in porous media // Biuletyn Instytutu Techniki Cieplnej Politechniki Warszawskiej. – 1997. – № 85. – pp. 55-88.

УДК: 536.423.1

ТЕПЛООБМЕН ПРИ ПЛЁНОЧНОМ КИПЕНИИ НЕДОГРЕТЫХ СМЕСЕЙ ВОДА-ЭТАНОЛ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

В.А. Рязанцев[1], М.М. Виноградов[2], А.Р. Забиров[3], П.К. Канин[4], В.В. Ягов[5]
[1]Магистр, zorro-001@yandex.ru
[2]Магистр, demon_d@inbox.ru
[3]Канд. 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»

Аннотация. В данной работе представлены экспериментальные результаты по охлаждению шара из нержавеющей стали в бинарной смеси вода-этанол при различных давлениях. Для расчета КТО на основе первичных термограмм охлаждения была использована программа Rteta, разработанная на кафедре ИТФ. В результате экспериментов было выявлено, что с увеличением давления повышается интенсивность теплоотдачи, а также температура перехода к интенсивному режиму охлаждения.

Ключевые слова: плёночное кипение, термограмма, коэффициент теплоотдачи, недогретая вода.

Интенсификация процесса кипения при высоких температурах поверхностей является важной прикладной задачей. Как известно, существуют три режима кипения: пузырьковый, переходный и пленочный. Характерной особенностью пленочного режима кипения является остутствие контакта жидкости с горячей поверхностью. Пузырьковое кипение, напротив, относится к одному из самых эффективных процессов, позволяющих отводить огромные тепловые потоки при невысоких температурных напорах [1]. Однако при высоких температурах стенки, как правило, наблюдается пленочное кипение, которое характеризуется низкими значениями КТО. Как впервые показано английскими исследователями, и позднее в работах МЭИ [2], при недогревах воды до температуры насыщения более 30К, охлаждение высокотемпературных тел отличается большими коэффициентами теплоотдачи, совершенно несвойственными для пленочного режима.

Существование необычного режима, наблюдаемого на воде, подтолкнуло к проведению комплекса исследований по изучению пленочного кипения. Для этого была создана экспериментальная установка, позволяющая изучать процессы охлаждения высокотемпературных поверхностей в различных жидкостях и разных степенях недогрева.

Данная работа посвящена исследованию влияния недогрева, давления, концентрации и температуры жидкости на интенсивность теплоотдачи при нестационарном пленочном кипении водных растворов этанола различной концентрации (от 91 до 60%). В экспериментах использовался шар из нержавеющей стали диаметром 39мм, оснащенный тремя термопарами. Давление варьировалось от 0.1 до 0.7 МПа. Температура жидкости изменялась от 10ºС до 50ºС.

Результаты экспериментов продемонстрировали сильное влияние давления за счет изменения величины недогрева до температуры насыщения на характер охлаждения образца. С увеличением величины недогрева растет как интенсивность теплоотдачи при устойчивом пленочном кипении, так и температура перехода к интенсивному режиму охлаждения. При некоторых условиях, эта температура превышает критическую температуру смеси.

Результаты эксперимента приведены на рис.

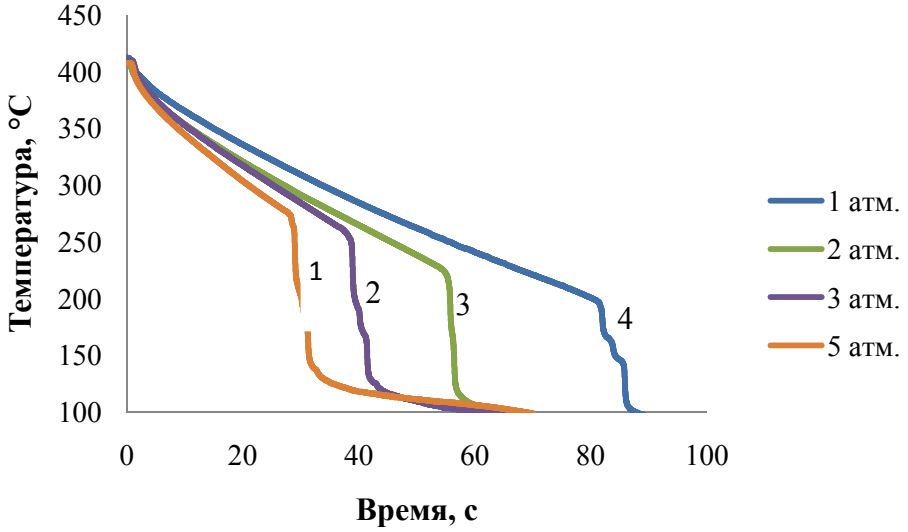


Рис. Процесс охлаждения шара из нержавеющей стали в смеси с температурой 50ºС и концентрацией 60% при различных давлениях:1 – 5 атм., 2 – 3 атм., 3 – 2 атм., 4 – 1 атм.

На графике видно, что при увеличении давления процесс охлаждения протекает быстрее, вследствие повышения температуры недогрева. Так при атмосферном давлении процесс охлаждения продолжался около 90 секунд, а для давления в 5 атмосфер, время охлаждения уменьшается втрое.

Работа выполнена на кафедре инженерной теплофизики им. В.А. Кириллина НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант №17-79-20402).

Литература

1. В.В. Ягов. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях. М.:Издательский дом МЭИ, 2014. 542 с.

2. V.V. Yagov, A.R. Zabirov, O.N. Kaban’kov, M.V. Minko. Heat transfer during cooling of high temperature spheres in subcooled water at different pressures. International Journal of Heat and Mass Transfer 110 (2017): 219-230.

УДК: 536.24

ТЕПЛООТДАЧА ПЛАСТИНЧАТОЙ НАСАДКИ В РЕГЕНЕРАТИВНОМ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕ

Ю.А. Кирсанов[1], Д.В. Макарушкин[2]
[1]Д-р техн. наук, доцент, kirsanov-yury@mail.ru
[2]Аспирант, atpp.danila@mail.ru
ФГБУН ФИЦ КазНЦ РАН

Аннотация. Описана лабораторная установка с регенеративным воздухоподогревателем для исследования теплоотдачи пакета параллельных пластин в кратковременных процессах. Результаты измерений средней теплоотдачи нескольких видов насадки при разной частоте регенерации обобщены критериальным уравнением теплоотдачи. Полученное критериальное уравнение использовано для теплового расчета регенератора РВВ-54 м в составе парогенератора ТГМ-84 Б. Сделана оценка экономического эффекта.

Ключевые слова: регенеративный воздухоподогреватель, частота регенерации, теплоотдача, критериальное уравнение, парогенератор.

Сложность измерения коэффициента теплоотдачи насадки, вращающейся вместе с ротором регенеративного воздухоподогревателя (РВП), является причиной, по которой тепловые расчеты РВП производят по критериальным уравнениям теплоотдачи, полученным в стационарных условиях [1]. Целью работы является исследование средней за период теплоотдачи пакета пластин, применяемого в качестве насадки РВП, при разной частоте регенерации.

Исследования теплоотдачи проводились на стенде, состоящем из нагнетателей воздуха, воздуховодов с расходомерами, электрического нагревателя на одном из воздуховодов, рабочего участка – РВП переключающегося типа, блока перемещения рабочего участка, системы автоматического управления и автоматизированной системы измерения.

Обработка результатов прямых измерений производилась по методике, описанной ранее [2]. Значения средних за период чисел Нуссельта, полученных в отдельных опытах (около 200) с пакетами гладких пластин нескольких видов, были обобщены критериальным уравнением регрессии:

$$\mathrm{Nu} = 1{,}06\left(\mathrm{Re}/10^3\right)^{0{,}14}\left(\mathrm{Fo}/10^3\right)^{-0{,}069}\mathrm{Nu}_{\mathrm{st}}. \qquad (1)$$

Здесь Nu_{st} – число Нуссельта в стационарных условиях [3]; $\mathrm{Re} = w_f d_{\acute{y}}/\nu_f$ – число Рейнольдса; w_f – средняя скорость теплоносителя, м/с; $d_{\acute{y}}$ – эквивалентный гидравлический диаметр межпластинных каналов, м; $\mathrm{Fo} = 4a_w\tau_p/\delta_w^2$ – число Фурье; a_w – коэффициент температуропроводности материала насадки, м^2/с; τ_p – длительность рабочего периода, с; δ_w – толщина пластины, м.

Полученное уравнение (1) использовано для теплового расчета регенератора РВВ-54 м, работающего в составе котла ТГМ-84 Б, при сжигании мазута-100. Базовыми значениями Nu_{st} в этом случае служили числа Нуссельта, рассчитанные по критериальным уравнениям, рекомендованным для

штатной насадки регенератора РВВ-54 м [4]. Тепловой расчет котла с двумя параллельно установленными РВП выполнен по известной методике [5].

Расчеты показали, что с учетом влияния на теплоотдачу насадки в РВП частоты регенерации действительное значение минимальной температуры насадки в холодной части РВВ-54 м ниже, чем это предсказывают аналогичные расчеты, полученные при расчете теплоотдачи по базовым значениям Nu_{st}. Повышение точности теплового расчета РВП и оценки минимальной температуры насадки позволяет принять адекватные меры, предотвращающие сернокислотную коррозию в аппарате. Экономический эффект от предотвращения сернокислотной коррозии составляет, по скромным оценкам, более $21 \cdot 10^6$ руб/год на один котел ТГМ-84 Б.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан по научному проекту № 18-48-160012 р_а.

Литература

1. Воздухоподогреватели котельных установок / Добряков Т.С., Мигай В.К., Назаренко В.С., Надыров И.И., Федоров И.И. – Л.: Энергия, 1977. 184 с.

2. Кирсанов Ю.А., Юдахин А.Е., Макарушкин Д.В., Кирсанов А.Ю. Методика исследования теплоотдачи в регенеративном воздухоподогревателе // Труды Академэнерго. 2018. № 2. С. 29-44.

3. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 367 с.

4. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). Издание 3-е, переработанное и дополненное. – СПб.: Изд. НПО ЦКТИ, 1998. 256 с.

5. Кирсанов, Ю.А. Циклические тепловые процессы и теория теплопроводности в регенеративных воздухоподогревателях – М.: Физматлит, 2007. 240 с.

УДК 621.315.592

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРУКТУР SiGe, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Ю.М. Кузнецов[1], М.В. Дорохин[2], Е.А. Ланцев[3], А.А. Попов[4]
[1]Аспирант, yurakz94@list.ru
[2]Д-р физ.-мат. наук, зав. лаборатории НИФТИ ННГУ
[3]Аспирант, elancev@nifti.unn.ru
[4]Аспирант, feel-host@yandex.ru
НИФТИ ННГУ «Нижегородский физико-технический университет»
ННГУ «Нижегородский государственный университет им. Лобачевского»

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследования зависимости термоэлектрических параметров SiGeструктур, полученных методом электроимпульсного плазменного спекания, от концентрации легирующей примеси при одинаковом размере зёрен в структуре. Приведены температурные зависимости факторов термоэлектрической добротностиZT.

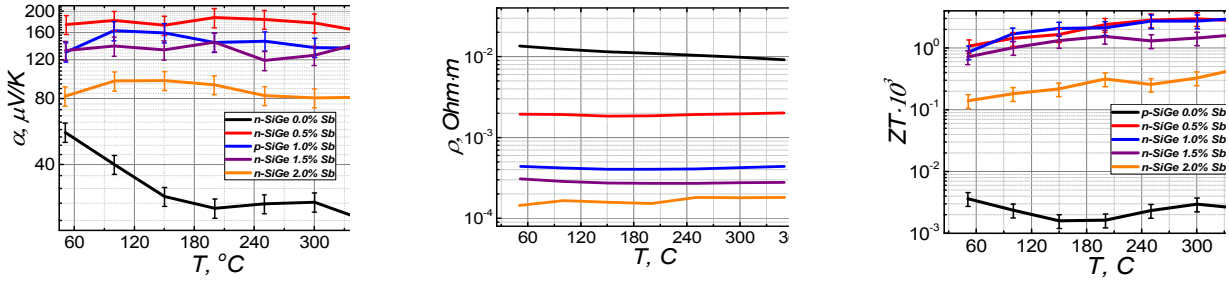
Ключевые слова: термоэлектрик, электроимпульсное спекание, коэффициент Зеебека, фактор мощности, термоэлектрическая добротность.

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 напряжение.

Полупроводниковый материал на основе Si и Ge является широко известным высокотемпературным термоэлектриком [1]. Современные тенденции технологии термоэлектриков связаны с созданием материалов с ультрамелкозернистой поликристаллической структурой, которая обеспечивает низкие значения теплопроводности при сохранении высоких коэффициента Зеебека и электропроводности [2-3]. Также, в отличие от монокристаллов, показатели эффективности поликристаллических термоэлектриков определяются размерами зерна и свойствами границ зёрен. Контроль указанных параметров обеспечит управление свойствами термоэлектрических преобразователей энергии.

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 управления параметрами поликристаллической структуры. Для исследования были получены структуры с различным содержанием легирующей примеси, но одинакового стехиометрического состава. Состав структур был одинаковым и составил $Si_{0.65}Ge_{0.35}$. Такой состав, согласно [4], характеризуется низким коэффициентом теплопроводности (около 20 Вт/м·К).Коэффициент Зеебека измерялся с помощью методики попеременного нагрева двух графитовых

столиков, на которых закреплён образец [5]. Удельное сопротивление измерялось с помощью четырёхзондовой схемы. Величина коэффициента теплопроводности была получена с помощью метода стационарного теплового потока [6].



а б в

Рис. Температурные зависимости: а – коэффициента Зеебека, б – удельного сопротивления, в – фактора термоэлектрической добротности, исследуемых структур. Уровни легирования указаны на первом графике

В работе показано, что с ростом концентрации легирующей примеси (сурьмы) происходит уменьшение удельного сопротивления и величины коэффициента Зеебека. Установлено, что фактор добротности, численно равный произведению этих коэффициентов, достигает максимума при концентрации легирующий примеси на уровне 1.5%. Дальнейшее увеличение концентрации приводит к резкому уменьшению коэффициента термоэлектрической добротности за счёт резкого уменьшения коэффициента Зеебека, что предположительно связано с коалесценцией сурьмы в объёме структуры.Нужно как-то сравнить с литературными данными. Данный результат соответствует известным классическим модельным представлениям[1], но формирование мелкозернистой структуры позволяет несколько снизить коэффициент теплопроводности, значит подбор оптимальной концентрации позволит повысить ZT.

Структуры были получены при поддержке гранта РНФ (проект 17-79-20173). Исследования эффекта Холла проведены при поддержке гранта РФФИ (№18-37-00358)

Литература

1. D.M. Rowe / Termoelectrichandbookmacrotonano /.-954p (2006)
2. L. Hicks, M. Dresselhaus. Phys. Rev. B 47, 16 631 (1993).
3. Д.А. Овсянников Транспортные свойства нанокомпозитных термоэлектрических материалов на основе SiиGe / ФТТ, т.57, вып. 3, (2015)
4. Schaffler F. / Semicond. Sci. Technol. // Schaffler F // 12, 1515-1549 (1997)
5. И.В. Ерофееваидр.,ФТП, т. 51, вып. 11, (2017)
6. ПлатуновЕ.С. / Теплофизические измерения и приборы // Машиностроение. – Ленинград. – 256 (1986)

УДК 666.3-187

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГИРОВАННЫХ КЕРАМИК $Ca_3Co_4O_9$, ИЗМЕРЕННЫЕ СПОСОБОМ ХАРМАНА

А.К. Федотов[1], В.А. Алехнович[2], А.С. Федотов[3], М.В. Бушинкий[4], В.В. Федотова[5]
[1]Гл. науч. сотр., д-р физ.-мат. наук, профессор, fedotov@bsu.by
[1]НИИ ядерных проблем Белорусского государственного университета, Беларусь
[2]Науч. сотр., ava@hmti.ac.by
[2]Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАНБ, Беларусь
[3]fedotov.alehandro@gmail.com
[3]Белорусский государственный университет, Беларусь, аспирант
[4]Канд. физ.-мат. наук, зав. лаб., fedotova@physics.by
[4]НПЦ НАНБ по материаловедению, Беларусь
[5]Канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., fedotova@physics.by
[5]НПЦ НАНБ по материаловедению, Беларусь

Аннотация. В данной работе усовершенствованным способом Хармана исследованы влияние легированных Fe и Y на структуру, импеданс и температурные зависимости проводимости, коэффициента Зеебека, теплопроводности и термоэлектрической добротности ZT образцов кобальтитовых керамик, Показано, что легирование и увеличение давления при синтезе усиливает ZT (на 80-100%) из-за уменьшения пористости и размеров зерен образцов.

Ключевые слова: кобальтиты, керамики, легирование, термоэлектрическая добротность

В связи с необходимостью поиска более чистого способа преобразования тепла в электричество в последнее время большое внимание посвящено созданию термоэлектрических материалов (ТЭМ) для разработки эффективных твердотельные термоэлектрические преобразователи (ТТЭП), которые используют эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона [1]. ТТЭП имеют ряд преимуществ перед традиционными электрическими генераторами из-за относительной простоты конструкции, отсутствия движущихся частей, бесшумной работы, высокой надежности, возможности миниатюризации без потери эффективности и т.д. Однако для широкого промышленного применения ТТЭП должны значительно увеличить свою термоэлектрическую добротность ZT. Это особенно важно для приложений «дальнего космоса», которые требуют не только повышения эффективности ТЭМ, но и снижения весовых характеристик ТТЭП. В данной работе были исследованы структура, импеданс, коэффициент Зеебека, проводимость, теплопроводность и ZT синтезированых на основе керамических технологий кобальтитов, которые были измерены усовершенствованным способом Хармана. Изучение влияния типов легирования и режимов синтеза на структуру и свойства образцов позволило описать на качественном уровне факторы, влияющие на ZT исследуемых кобальтитов и проанализировать возможные подходы к его дальнейшему увеличению.

Поликристаллические образцы $Ca_3Co_{3,9}Fe_{0,1}O_9$ и $(Ca_{2,9}Y_{0,1})Co_{3,9}Fe_{0,1}O_9$,были синтезировали по стандартной двухстадийной керамической технологией с использованием в качестве исходных реагентов карбонат $CaCO_3$ и оксиды Y_2O_3

и Fe_2O_3 с чистотой ОСЧ. Компактирование порошков в таблетки перед синтезом осуществлялось при двух давлениях – P = 0,2 и 6,0 Гпа. Технологические режимы синтеза описаны в работе [2].

Полученные образцы керамик были подвергнуты исследованию структуры и химического состава с использованием с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) LEO 1455VP и рентгеновского дифрактометра DRON-4 для рентгеновского дифракционного анализа. LEO 1455VP был оснащен специальным микрозондовым анализатором с энергодисперсионным детектором Si: Li Rontec, позволяющим выполнять рентгеновский микроанализ для проверки стехиометрии образцов с точностью ~ 1%. Для термоэлектрической характеризации использовалась автоматизированная измерительная система, которая позволила изучить температурные зависимости термоэлектрической добротности ZT(T), коэффициента Зеебека α(T), коэффициента теплопроводности λ(T) и электропроводности σ(T) методом Хармана в диапазоне 300-700 К [3].

Исследования показали отсутствие различий в зависимостях ZT(T), α(T), σ(T) и λ(T) между образцами с различным легированием при P = 0,2 ГПа при компактировании таблеток перед спеканием. Увеличение P до 6 ГПа при компактировании порошков оказалось главным критическим фактором, наряду с легированием, который сильно влияет на свойства исследуемых образцов. Такие P приводили к увеличению σ и λ в 2-4 раза и 2-3 раза, соответственно, тогда как α(T) практически не изменялось. Зависимости ZT(T), α(T) и λ(T) оказались близки к линейным независимо от P. В то же время кривые σ(T) являются нелинейными и немонотонными, свидетельствуя о том, что после приложения P = 6 ГПа все образцы приобретают полупроводниковые свойства. Анализ показывает, что отношение σ/λ после уплотнения при высоком давлении увеличивалось в 2 раза, что приводило к ZT росту ZT также в 2 раза. Влияние легирования и увеличения давления компактирования на рост σ/λ и ZT объяснен формированием более мелкозернистой структуры и снижением пористости керамик.

Литература

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

2. Fedotov A.S.. Thermoelectric properties of $Ca_3Co_4O_9$ –based ceramics doped with Fe and/or Y. / A.S. Fedotov, A.K. Fedotov, A.V. Mazanik, I.A. Svito, A.M. Saad, I.O. Troyanchuk, M.V. Bushinski, V.V. Fedotova, P. Zukowski and T.N. Koltunowicz // Acta Physica Polonica A. - 2014. – Vol. 125. – P. 1344-1347.

3. Harman, T.C. Measurement of thermal conductivity by utilization of the Peltier effect / T.C. Harman, J.H. Cahn, M.J. Logan // J. Appl. Phys. – 1959. – Vol. 30. – P. 1351–1359.

УДК: 537.9

ТОНКИЕ ПЛЕНКИ Cu_2SnS_3 ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УСТРОЙСТВАХ ФОТОВОЛЬТАИКИ

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»

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследования свойств тонких пленок соединения Cu_2SnS_3 для применения в устройствах солнечных элементов. Плёнки получены напылением металлического прекурсора с последующим реактивным отжигом в парах серы. Методом рентгеноспектрального микроанализа показано, что стехиометрический состав плёнки соответствует соединению Cu_2SnS_3. Методом рентгеновской дифракции установлено, что Cu_2SnS_3 кристаллизуется в тетрагональной структуре пространственной группы симметрии I-42m. Оптическая ширина запрещенной зоны полупроводниковой пленки равна 0,96 эВ для прямозонных переходов. Удельное сопротивление пленок имеет порядок 10^{-2} Ом·м.

Ключевые слова: солнечные элементы, тонкие пленки, сульфиды.

Наибольшего успеха в тонкопленочной технологии солнечных элементов (СЭ) с точки зрения максимального КПД ~ 23% удалось достичь с использованием многокомпонентного соединения типа халькопирита $Cu(In,Ga)(Se,S)_2$. Однако высокая себестоимость СЭ на основе данного соединения ограничивает возможность их широкого использования. Замена In и Ga на более дешевые Zn и Sn позволила создать СЭ с фотоактивным слоем из кестерита типа $Cu_2ZnSn(Se,S)_4$, при этом максимальный КПД таких преобразователей не превышает 13 % ввиду сложности технологии и нестабильности пятикомпонентной системы. Соединения ZnS и Cu_2SnS_3 выпадают в качестве вторичных фаз в составе пленки $Cu_2ZnSn(Se,S)_4$, что не позволяет достичь кристаллического совершенства тонких слоев этого соединения. При этом тройное соединение Cu_2SnS_3 само по себе обладает высоким коэффициентом поглощения света в видимом диапазоне длин волн и шириной запрещенной зоны, близкой к оптимальной для использования в СЭ [1].

В данной работе тонкие (толщиной до 1 мкм) пленки Cu_2SnS_3 изготовлены на стеклянной подложке путем термического напыления металлического прекурсора из сплава Cu_2Sn с последующим реактивным отжигом в парах серы. Металлы сплавлялись в кварцевой отпаянной вакуумированной ампуле при температуре выше температуры плавления меди ~ 1150°C в течение 1 часа. Затем производилось термическое напыление сплава на подложку, при этом стехиометрический состав металлической плёнки сохраняется благодаря сопоставимым давлениям паров Cu и Sn при температуре испарителя. Данный

факт контролировался рентгеноспектральным микроанализом на электронном микроскопе JSM-6380LV JEOL с системой микроанализа INCA 250 на базе ЦКП ВГУ. Исходное соотношение Cu:Sn = 1,9÷2,0 в металлической плёнке после обработки в парах серы (при температуре подложки 400°C и давлении паров серы ~10^{-2} мм.рт.ст. в течение 35 минут) смещалось в сторону обогащения медью Cu:Sn = 2,1÷2,2 за счёт известного из литературы явления испарения с поверхности летучего моносульфида олова SnS [2]. Рентгено-фазовый анализ пленки показывает присутствие соединения халькозина Cu_2S (неиндицированный пик на рис.)

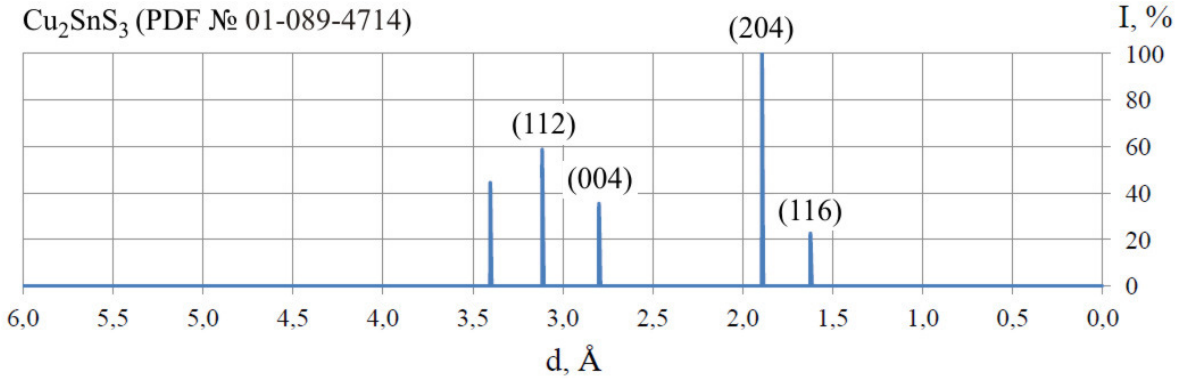


Рис. Рентгенограмма пленки Cu_2SnS_3. Индицированные пики соответствуют соединению Cu_2SnS_3, неиндицированный пик – Cu_2S

Удельное сопротивление пленок имеет порядок 10^{-2} Ом·м, что вероятно обусловлено наличием фазы Cu_2S. По краю собственного поглощения определена оптическая ширина запрещенной зоны, которая имеет значение 0,96 эВ для прямозонных переходов, что соответствует литературным данным для соединения Cu_2SnS_3 [3].

Таким образом, представленная двухстадийная технология изготовления тонких пленок соединения Cu_2SnS_3 может быть использована для формирования фотоактивных слоев СЭ. Варьирование состава металлического прекурсора и технологических параметров реактивного отжига в парах серы позволит получить однородную по фазовому составу пленку Cu_2SnS_3.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-32-00971 - мол_а.

Литература

1. Lokhande A.C. Development of Cu_2SnS_3 (CTS) thin film solar cells by physical techniques: A status review / A.C. Lokhande et al. // Solar Energy Materials @ Solar Cells - 2016. - V. 153. - P. 84–107.

2. He M. Fabrication of sputtered deposited Cu_2SnS_3 (CTS) thin-film solar cell with power convertion efficiency of 2,39% / M. He et al. // Journal of Alloys and Compounds - 2017. - V. 701. - P. 901–908.

3. Nakashima M. Cu_2SnS_3 thin-film solar cells fabricated by sulfurization from NaF/Cu/Sn stacked precursor / M. Nakashmia, J. Fujimoto, T. Yamaguchi, and M. Izaki // Applied Physics Express - 2015. - V. 8(4). - P. 042303.

УДК 621.039; 504.055

УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД

А.Л. Суздалева[1], С.В. Горюнова[2], Н.В. Озерова[3], Е.В. Федорова[4], А.М. Боровкова[5], М.С. Ануфриков[6]

[1]Д-р биол. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»), Москва, Российская Федерация, suzdalevaal@yandex.ru

[2]Д-р биол. наук, профессор, ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет», Москва, Российская Федерация, svgor@inbox.ru

[3]Канд. техн. наук, доцент, НИУ «МЭИ», ozerovanat@rambler.ru

[4]Канд. мед. наук, доцент, НИУ «МЭИ», fev2012@list.ru

[5]Канд. техн. наук, доцент, НИУ «МЭИ», borovkovaam@mpei.ru

[6]Студент, НИУ «МЭИ», makarovaaaaaa@bk.ru

Аннотация. Работа многих тепловых и атомных электростанций сопровождается поступлением в водные объекты потоков нагретых вод, для обозначения которых предложен термин техногенные термальные воды. Рассмотрены возможные способы использования этих вод для улучшения экологического состояния водных объектов и условий жизнедеятельности населения.

Ключевые слова: водоем-охладитель, тепловое загрязнение, техническая мелиорация водоемов, социально-экологический кризис.

Работа тепловых и атомных электростанций сопряжена с выработкой большого количества тепла, которое необходимо постоянно отводить. На многих станциях создаются специальные водоемы-охладители. Сбрасываемые по системе технического водоснабжения воды, которые можно обозначить как техногенные термальные, проходят через акваторию водоема-охладителя, охлаждаются и могут вновь использоваться.

Повышение температуры воды до 40°C и выше вызывает гибель большинства видов водных организмов, поэтому искусственный подогрев вод рассматривается как негативное явление – тепловое загрязнение. Вместе с тем, сброс в водные объекты техногенных термальных вод с более низкой температурой стимулируют рост и развитие растений и животных, обеспечивает сохранение биоразнообразия водных экосистем и способствует улучшению качества вод. По этим причинам проблемы, связанные с образованием техногенных термальных вод, могут решаться в двух направлениях. Первое – традиционное направление – соответствует господствующей в настоящее время ограничительной парадигме природоохранной деятельности и заключается в усилении мер по контролю за тепловым загрязнением водных объектов. Второе направление – это создание условий, при которых техногенные термальные воды будут оказывать управляемое позитивное воздействие. Что подразумевает активное участие человека в формировании экологической ситуации, разработку и внедрение в окружающую среду специальных инженерно-технических устройств. Такой

методологический подход должен получить название – креативная парадигма природоохранной деятельности [1].

На современном этапе существует как минимум две категории задач, для решения которых можно использовать техногенные термальные воды. Первой является техническая мелиорация водоемов, которая предполагает использование побочных эффектов работы системы технического водоснабжения для улучшения качества водной среды. Умеренный подогрев вод, их аэрация и перемешивание в водоотводящих каналах интенсифицируют процессы самоочищения. Постоянная циркуляция вод препятствует образованию в водных объектах экологически неблагополучных зон вблизи внешних источников загрязнения, а правильно организованное перемещение не позволяет образовываться зонам стагнации. По этим причинам качество вод в водоемах-охладителях нередко значительно выше, чем в источниках их наполнения и подпитки.

Вторая категория задач заключается в предотвращении развития социально-экологических кризисов, которые возникают в результате дисбаланса между ростом народонаселения и количеством ресурсов окружающей среды. Такие явления постепенно приобретают глобальный масштаб. Наибольшую угрозу в настоящее время представляют мировые кризисы: продовольственный, водопотребления и перенаселения (демографический). В решении этих проблем заметную роль также может сыграть использование техногенных термальных вод. Повышение температуры воды до 25-28°С обычно вызывает ускорение в 2-3 раза роста и развития водных организмов. Рыбоводство и аквакультура на термальных водах, благодаря этому, способны давать значительное количество дополнительной пищевой продукции. Кроме того, отводимое от энергоблоков тепло может быть использовано для промышленного опреснения морских вод [2], что обеспечит не только нужды бытового потребления в регионах размещения электростанций, но и получение сельскохозяйственной продукции на участках пустынь, где такая деятельность и создание благоприятных условий для жизни людей ранее были невозможны. Это, помимо прочего, снижает напряженность демографической ситуации и позволяет рассматривать использование термальных вод объектов энергетики как комплексное решение проблем основных социально-экологических кризисов.

Литература

1. Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Биотехносфера: экология и безопасность жизнедеятельности. – М.: МГУП, 2017. – 245 с.

2. Барак А., Кочетков Л.А., Кринс М.Дж., Халид М. Опреснение морской воды с помощью ядерной энергии: опыт, потребности и перспективы. Обзор демонстрационных установок и последних исследований // Бюллетень МАГАТЭ. – 1990. – № 3. – С. 48-54.

УДК: 536.3

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕНА ПЕРЕДАЧУ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИНФРАКРАСНЫМИ СВЕТОВОДОВАМИ

А.С. Шмыгалев[1], А.А. Лашова[2], А.С. Корсаков[3], Б.П. Жилкин[4]
[1]Мл. науч. сотр., a.s.shmygalev@urfu.ru
[2]Аспирант, a.a.lashova@urfu.ru
[3]Д-р техн. наук, доцент a.s.korsakov@urfu.ru
[4]Д-р физ.-мат. наук, профессорborис.zhilkin@gmail.com
ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Аннотация. В данной работе представлены результаты экспериментального исследования влияния геометрических характеристик (длина, диаметр, радиус изгиба) инфракрасных световодов на передачу теплового излучения по ним. Полученные данные могут быть использованы при проектировании оптоволоконных приборов, предназначенных для контроля температуры и тепловых полей различных энергетических установок.

Ключевые слова: передача теплового излучения, инфракрасные световоды, влияние геометрических характеристик.

Применение инфракрасных световодов на основе твердых растворов галогенидов серебра [1] для диагностики теплового состояния различных объектов [2] требует знания не только их качественных характеристик, но и учета факторов, влияющих на передачу по ним теплового излучения.В связи с этим необходимо количественно оценивать потери при изменении геометрических характеристикоптического волокна, таких как диаметр, длина и радиус изгиба. При этом выявленные закономерности могут быть использованы для проектирования оптоволоконных систем, предназначенных для дистанционного измерения температуры и оценки теплового состоянияразличных энергетических агрегатов.

Экспериментальные исследования влияния геометрических характеристик световодов на передачу теплого излучения по ним были выполнены на экспериментальной установке, реализующей метод инфракрасной термографии, схема которой представлена на рисунке.

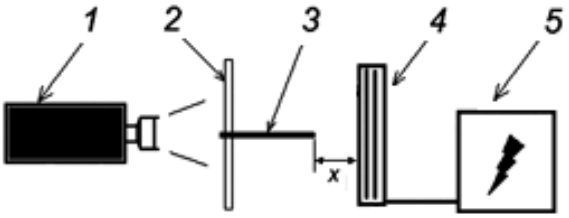


Рис. Схема экспериментальной установки: 1 – тепловизор, 2 – защитный экран, 3 – световод, 4 – элемент Пельтье, 5 – источник питания.

В опытах использовался тепловизор NEC TH-9100 (1), работающий в длинноволновом спектральном диапазоне 8,0– 14,0 мкм.Источником теплового излучения служил элемент Пельтье (4). Изменение величины напряжения, подаваемого на этот элемент с помощью источника постоянного тока (5), позволяло

проводить измерения в температурном диапазоне от 310 до 400 К. Для исследования были выбраны инфракрасные световодысостава $AgCl_{0,75}Br_{0,25}$с различными диаметрами (0,5, 1,12, 1,75 мм) и длинами(50, 100, 150, 200 мм),прозрачныев диапазонедлин волн от 2,0 до 25,0 мкм без окон поглощения [1]. Для минимизации влияния излучений окружающего фона образцы световодов (3) помещались в защитную фторопластовуюоболочку, а по периметру передающего торца устанавливался защитный экран (2). Обработка полученных экспериментальных данных производилась в соответствии с теорией радиационного теплообмена по формуле:

$$\theta = \frac{(T_s)^4 - (T_f)^4}{(T_w)^4 - (T_f)^4} \cdot 100\%,$$

где θ – доля пропускания, %;T_w, – температура источника излучения, К;T_s – температура регистрируемая тепловизором, К;T_f– температура фона, К.

Полученные данные показывают, что доля пропущенного световодом теплового излучения не зависит от его диаметра при прочих равных параметрах. При увеличении длины световода наблюдалосьуменьшение доли пропускания теплового излучения и увеличениепотерь, связанных с частичным поглощением и рассеиванием излучения материалом волокна.Так при длине световода 50мм передавалось97 % тепловогоизлучения, в то время как при длине 200мм – 88 %.Исследование зависимости доли переданного световодом теплового излучения отего радиуса изгиба показало, что с увеличением последнего в ряду значений 28, 3,6, 2 и 1,38 мм возрастают потери, связанные с выходом излучения в области перегиба вследствие нарушения закона полного внутреннего отражения, которые достигают максимума (95 %) при критическом радиусе изгиба (1,38). При этом сравнение экспериментальнополученной зависимости 100% – θот радиуса изгиба с теоретической, рассчитаннойпо методике [3], показало одинаковый характер изменения кривых, что говорит о возможности прогнозирования количественной величины потерь излучения при различных радиусах изгиба и их учета.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-73-10063).

Литература

1. $AgCl_xBr_{1-x}$ and $AgCl_xBr_yI_{1-x-y}$ crystals for IR engineering and optical fiber cables / L.V. Zhukova, N.V. Primerov, A.S. Korsakov, A.I. Chazov // Inorganic Materials – 2008. – Vol. 44. – P. 1372-1377.

2. Transmission of IR light by light guides made of silver halide solid solutions/ A. S. Shmygalev, B. P. Zhilkin, V. I. Terekhovandet. al. // Technical Physics Letters. – 2016. – Vol.42, № 9. – P. 883-885.

3. Оптические устройства в радиотехнике: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В. Н. Ушакова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Радиотехника, 2009. – 264 с.

УДК 539.374

ЧАСТОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕРЫ ДИССИПАЦИИ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОГО НАСЛЕДСТВЕННО-УПРУГОГО ВИБРАТОРА ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

А.П. Бырдин[1], А.А. Сидоренко[2]
[1]Канд. физ.-мат. наук, доцент
[2]Канд. техн. наук, доцент, sidorenko6302@mail.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В работе получена частотная зависимость энергетических потерь при колебаниях нелинейно-наследственного вибратора при стационарном возбуждении. Для слабосингулярных ядер наследственности установлено наличие ряда максимумов и минимумов частотной зависимости внутреннего трения.

Ключевые слова: колебания, диссипация энергии, нелинейная вязкоупругость.

Построим частотную зависимость меры диссипации нелинейного наследственно – упругого вибратора, уравнение движения которого имеет вид

$$\ddot{u}(t)+\omega_0^2\sum_{n=0}^{\infty}\int_0^{\infty}\cdots\int V_{(n)}(t_1,...,t_{(n)})\prod_{k=1}^{n}u(t-t_k)dt_k=P\sin\omega t, \qquad (1)$$

где $(n)=2n+1$, все величины в (1) безразмерны, $u(t)$ – перемещение, $t=\beta\tau$, τ - время, β^{-1} - время релаксации; $\omega=\beta^{-1}\Omega$, Ω - частота вынуждающей силы, ω_0 - частота колебаний соответствующей упругой системы; $V_n(t_1,...,t_{(n)})$ - ядра наследственности, симметричные относительно перестановок аргументов и удовлетворяющие условию причинности. Требуется также, чтобы ядро $V_1(t)$ аддитивно содержало δ – функцию Дирака [1].

Решение уравнения (1) построим методом рядов Вольтерра, развитым в [2]. После преобразований получим

$$u(t)=-i\frac{P}{2}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{\pi P^2}{2}\right)^n\sum_{m=0}^{2n+1}(-1)^{n+m}\hat{C}_{(n)}^{m}W_{(n)}(t_1,...,t_n)\cdot e^{i\omega((n)-2m)t}, \qquad (2)$$

где $W_{(n)}(t_1,...,t_n)$ - ядра интегралов, представляющих решение уравнения (1), $\hat{C}_n^m$ - оператор, сопоставляющий функции W_n фурье-образ с аргументами ω (в числе m) и $-\omega$ (в числе $n-m$). Последняя сумма берется по перестановкам аргументов из групп ω и $-\omega$. Фурье-образы W_n^* выражаются через V_k^* из рекуррентных соотношений, аналогичных представленным в [2].

В качестве меры диссипации энергии возьмем внутреннее трение – отношение величины энергетических потерь за цикл колебаний к средней упругой накопленной энергии. Предполагая сепарабельность ядер $V_n(t_1,...,t_{(n)})$, амплитуду P достаточно малой, ограничимся в решении (2) двумя первыми гармониками. Получим:

$$Q^{-1}(\omega) = -2K_1^{-2}\,\mathrm{Im}\left[V_1^*(\omega) - \alpha_3 V_1^*(\omega) V_1^{0*}(\omega)\right] * \left\{(\omega^2 + \omega_0^2)\cdot\right.$$

$$\left.\cdot\left[1 - 2\alpha_3 K_0^2\,\mathrm{Re}\left(V_1^*(\omega) + \alpha_3^2\left(1 + \frac{K_3^2}{K_1^2}\right)\right)\right] - \frac{8}{9}\left(\alpha_3\omega_0 K_0^3\right)^2\right\}^{-1},$$

где $\alpha_3 = \frac{3}{4}a_3 P^2$, $K_0 = \left|V_1^{0*}(\omega)\right|$, $K_n = \left|V_1^*(n\omega)\right|$, $V_1^{0*}(\omega) = \omega^2 + V_1^*(\omega)$, a_3 - параметр сепарабельности ядра V_3.

В ряде исследований, связывающих вид частотной зависимости Q^{-1} с физическими механизмами релаксации, отмечалось, что для описания экспериментальных данных следует привлекать слабосингулярные функции наследственности – весовые функции Ржаницына и Работнова.

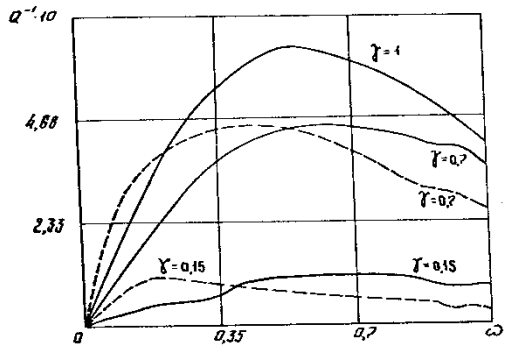


Рис. 1

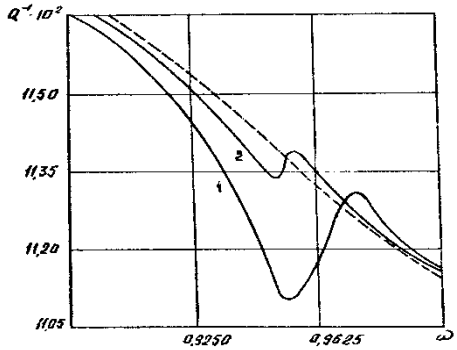


Рис. 2

На рис. 1 приведены зависимости $Q^{-1}(\omega)$ для различных значений параметра сингулярности γ и определенных значениях дефекта модуля v и амплитуды P. Сплошные линии соответствуют выбору ядра Ржаницына, штриховые – выбору ядра Работнова. Рисунки иллюстрируют характерное поведение величины Q^{-1} с отчетливым максимумом, зависящим от величины γ. С уменьшением γ потери также уменьшаются. Видно, что ядро Работнова более пригодно для описания пика низкочастотных потерь. При малых ω характерна почти линейная зависимость $Q^{-1}(\omega)$. Рис. 2 иллюстрирует провалы Q^{-1} в случае ядра Ржаницына при различных значениях амплитуд P.

Таким образом, энергетические потери в материалах с нелинейно-наследственной реологией обнаруживают как частотную, так и амплитудную зависимость и характеризуются наличием максимумов и минимумов для определенных значений частот внешнего возмущения.

Литература

1. Ильюшин А.А., Победря Б.Е. Основы математической теории термовязко-упругости // М.: Наука, 1970. – 280 с.

2. Бырдин А.П., Розовский М.Н. О волнах деформации в нелинейной наследственно-упругой среде // Изв. АН СССР. Механика твердого тела, 1984, №4. – с. 100-104.

УДК: 53.03

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВКЛАДА КОНТАКТНЫХ ТЕПЛОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ В ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНЫХ ПАСТ

Ю.П. Лебедев[1], И.Ю. Кобяков[2]
[1]Кан. тех. наук, ведущий инженер, rw3qpz@list.ru
[2]Магистр, инженер, kobyakov.vania@yandex.ru
АО «РИФ»

Аннотация. В данной работе представлена оценка вклада контактных тепловых сопротивлений в коэффициент теплопередачи теплопроводных паст.

Ключевые слова: теплопроводные пасты, коэффициент теплопередачи, контактные тепловые сопротивления.

Производители теплопроводных паст и герметиков декларируют величину объемной теплопроводности, по величине которой обычно проводят конструкторские расчеты тепловых узлов. Однако, попытки сравнения эффективности тонких слоев паст с различной теплопроводностью дают противоречивые результаты. Известные нам производители паст, выдавая высокие значения теплопроводности (3 и более Вт/м·К) паст, по-видимому, не озадачиваются коэффициентом теплопередачи, обеспечиваемым тонкими слоями пастам.

При проведении сравнительных испытаний диэлектрических теплопроводных паст мы столкнулись с различной степенью смачивания ими поверхности различных контактируемых материалов. Причем, пасты, имеющие высокую теплопроводность, как правило, имеют высокую вязкость, требуют больших усилий при нанесении на поверхность и хуже смачивают контактируемые поверхности.

Было предположено, что при оптимальных толщинах слоев паст вклад контактных тепловых сопротивлений становится значительным. Сделать его оценку и являлось целью настоящей работы.

Выделение контактной составляющей теплового сопротивления было предложено по данным результатов измерений теплового сопротивления на многослойной структуре, состоящей из последовательности слоев теплопроводной пасты и материалов, с которыми она должна контактировать.

В случае, когда площадь боковой поверхности образца невелика по сравнению с сечением прохождения теплового потока, достаточно стабильные результаты даёт методика оценки теплопроводности путем измерения перепада температур, создаваемых им на тепловом сопротивлении образца.

При равенстве контактных сопротивлений [1] можно записать:

$$n \cdot R_k + (n-1) \cdot R_n = R_1 \qquad (1)$$

$$m \cdot R_k + (m-1) \cdot R_n = R_2, \quad (2)$$

откуда

$$R_k = \frac{(m-1) \cdot R_1 - (n-1) \cdot R_2}{m-n}, \quad (3)$$

где n – количество слоев пасты в первой структуре, R_k – тепловое сопротивление слоя пасты, R_n – тепловое сопротивление подложки из выбранного материала, R_1 – тепловое сопротивление первой структуры, m – количество слоев пасты во второй структуре, R_2 – тепловое сопротивление второй структуры.

В случае, когда n = 3 (2 подложки) и m = 4 (3 подложки), формула (3) выглядит следующим образом:

$$R_k = 3 \cdot R_1 - 2 \cdot R_2. \quad (4)$$

Поскольку

$$R_k = \frac{1}{\lambda_{эф}} \cdot \frac{\Delta x}{S}, \quad (5)$$

где $\lambda_{эф}$ – эффективный коэффициент теплопроводности слоя пасты, Δx – толщина слоя пасты, S– сечение теплового потока.

Находим

$$\lambda_{эф} = \frac{\Delta x}{R_k \cdot S} \quad (6)$$

и, если известен объемный коэффициент теплопроводности пасты $\lambda_{об}$, имеем возможность сравнения коэффициентов теплопроводности.

При этом легко найти контактную составляющую теплового сопротивления слоя ΔR. Поскольку тепловое сопротивление равного по толщине слоя пасты с $\lambda_{об}$

$$R_k^{об} = \frac{1}{\lambda_{об}} \cdot \frac{\Delta x}{S}, \quad (7)$$

то с учетом того, что каждый слой пасты имеет по 2 контактных поверхности,

$$\Delta R = \frac{R_k - R_k^{об}}{2}. \quad (8)$$

Практика анализа параметров паст показала, что во многих случаях в достаточно тонких слоях контактное тепловое сопротивление становится определяющим в величине коэффициента теплопередачи теплопроводной прослойки.

Литература

1. Меснянкин С.Ю. Современный взгляд на проблемы теплового контактирования твердых тел / С.Ю. Меснянкин, А.Г. Викулов, Д.Г. Викулов // УФН. - 2009. - Т. 179. - № 9. - С. 945-970.

УДК 544.65+ 661.961

ЭЛЕКТРОЛИТ ДЛЯ ГИДРОННОГО ХИМИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ТОКА С АЛЮМИНИЕВЫМ АНОДОМ КАК ГЕНЕРАТОРА ВОДОРОДА

Н.С. Окорокова[1], К.В. Пушкин[2], С.Д. Севрук[3], Е.В. Суворова[4], А.А. Фармаковская[5]
[1]Канд. техн. наук, ok.nadezhda@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, konstantin-val@yandex.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, sds46@yandex.ru
[4]lelya-suvorova@yandex.ru
[5]Канд. хим. наук, профессор, a.a.farmakovskaya@gmail.com
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» МАИ

Аннотация. В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований электрохимических характеристик различных анодных и катодных материалов гидронного химического источника тока с алюминиевым анодом в различных электролитах и показано, что для подавления коррозии алюминиевого анода, как альтернативу станнат-иону, в щелочной электролит целесообразно вводить только органические ингибиторы.

Ключевые слова: химический источник тока, алюминиевый анод, металлические катоды, станнат-ионы, ингибиторы коррозии, генератор водорода, энергетическая установка.

Приоритетным направлением мировой экономики является развитие водородной энергетики, обусловленное экологическим и энергетическим кризисами настоящего времен. Среди автономных энергетических установок, использующих водород как горючее, наиболее энергоэффективными являются кислород-водородные топливные элементы (O_2/H_2 ТЭ), которые способны достигать самых высоких среди всех известных энергоустановок КПД (до 94%). Для горючего ТЭ – водорода – главной проблемой является сложность его хранения и транспортировки. С учетом всех характеристик из всех известных способов хранения водорода наибольший интерес представляет «связанное» в составе некоторых молекул, например, воды, что позволяет получать его по мере необходимости, восстанавливая активными металлами в ходе реакции их взаимодействия с водой.

Ряд проблем связанных с получением водорода данным способом решается нами путем создания гидронного химического источника тока (ХИТ) – электрохимической ячейки, состоящей из алюминиевого анода, катода из инертного материала, например, никеля или молибдена, и электролита между ними. Расходуемыми веществами в гидронном ХИТ являются алюминий (алюминиевый анод) и вода, а продуктами реакции являются водород, гидроксид алюминия $Al(OH)_3$, и электроэнергия [1].

Нами были проведены экспериментальные исследования электрохимических параметров гидронного ХИТ: вольтамперных характеристик (ВАХ) электродов (анодов из различных алюминиевых сплавов, катодов из инертных металлов в различных электролитах) и скорости коррозии алюминиевого анода в них. По результатам совместной оценки полученных

поляризационных и коррозионных характеристик, было найдено, что лучшей композицией рабочих компонентов для гидронного ХИТ является электролит 4М NaOH + 0,06М Na_2SnO_2. молибденовый катод и анод из сплава Al-In. Близким комплексом свойств обладает протекторный сплав АП4Н. Для солевого электролита лучшей композицией рабочих тел для гидронного ХИТ является катод из стали Ст.3 и анод из протекторного сплава АП4Н [1].

Однако, наши дальнейшие исследования показали, что добавка станнат-иона SnO_3^{2-}, в значительной мере ухудшает ВАХ любых катодных материалов гидронного ХИТ. Для объяснения этого явления были проведены эксперименты по изучению пленки на катодах, образующейся в процессе работы ХИТ. Проведены исследования структуры получающегося на электроде покрытия путем рентгеноструктурного анализа и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Установлено, что на поверхности катода в процессе разряда ХИТ образуется оловянное покрытие с высокой степенью пористости (~50%), особенно при длительном и/или многократном использовании катода, что, по-видимому, и обуславливает, во-первых, ухудшение ВАХ, и, во-вторых, разницу в ВАХ катодов из различных металлов за счет выделения водорода, как на поверхности подложки (основного материала), так и на поверхности покрытия.

Таким образом, нами показано, что использование добавок станнат-ионов к щелочному электролиту гидронного ХИТ нежелательно, так как это приводит к ухудшению характеристик катодов. Поэтому для ингибирования процесса коррозии алюминиевого анода и повышения тем самым коэффициента его полезного использования необходимо вводить в щелочной электролит гидронного ХИТ добавки органических ингибиторов.

Предварительные эксперименты с рядом органических ингибиторов показали, что, при введении в 4М NaOH тартрат-иона (аниона винной кислоты) рабочий диапазон плотностей тока гидронного ХИТ достигает 2000 А/м^2, что примерно в 4 раза превосходит диапазон при применении ранее предлагавшегося электролита 4М NaOH + 0,06М Na_2SnO_3.

Работа выполнена в рамках стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (Конкурс СП-2016, № СП-2785.2016.1).

Литература

1. Pushkin K.V., Controlled hydrogen generator and additional source of electrical current for independent oxygen-hydrogen power plants (Conference Paper), 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, ICAS 2014; St. Petersburg; Russian Federation; 7 September 2014 до 12 September 2014

УДК 691

ЭНЕГОЭФФЕКТИВНЫЕ КАРБОНИЗИРОВАННЫЕ ГИПСОВЫЕ КОМПОЗИТЫ

В.Б. Петропавловская[1], М.Ю. Завадько[2], К.С. Петропавловский[3], Т.Б. Новиченкова[4], А.Ф. Бурьянов[5]

[1]Тверской государственный технический университет, канд. техн. наук, профессор, e-mail: victoriapetrop@gmail.com

[2]Тверской государственный технический университет, магистрант, e-mail: 79043517876@yandex.ru

[3]Московский государственный строительный университет, инженер, e-mail: raikiri@inbox.ru

[4]Тверской государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент, e-mail: tanovi.69@mail.ru

[5]Московский государственный строительный университет, д-р техн. наук, профессор e-mail: rga-service@mail.ru

Аннотация: рассмотрена карбонизация как возможный способ повышения прочности и ускорения твердения гипсовых композитов. Доказана возможность применения карбонизации для создания энергоэффективных и биопозитовных композитов.

Ключевые слова: гипсовые композиты, карбонизация, энергоэффективные материалы

Материалы, подвергнутые карбонизации, обладают повышенными прочностными характеристиками [1,2], дают существенное повышение сейсмостойкости [3], являются не только безопасными, но положительно влияют на здоровье человека [4]. Карбонизация способствует повышению прочности готовых изделий при минимальных энергозатратах [5].

Естественная же карбонизация в меньшей степени влияет на прочностные характеристики [6, 7]. Набор прочности таких изделий растянут во времени, ввиду меньшей концентрации углекислого газа. Однако, применение такого вида карбонизации для производства строительных материалов положительно влияет на окружающую среду, способствует утилизации газа из атмосферы. В этом случае углекислый газ выступает как своеобразная добавка-ускоритель. Материалы, прошедшие карбонизацию, являются биопозитивными, т.к. продолжают поглощать углекислый газ в помещении уже в процессе эксплуатации [8].

При проведении исследований в качестве исходных материалов применялся высокопрочный гипс Г-16 Самарского гипсового комбината и отход производства базальтовых волокон Тверской области. Для затворения гипсового вяжущего использовался насыщенный раствор извести. Образцы, затворенные насыщенным раствором извести, выдерживались в среде углекислого газа в течение 6 дней. Количество отхода производства принималось в количестве 10 % от массы гипсового вяжущего.

В ходе исследований выявлено, что прочность образцов, подвергшихся карбонизации, превышает прочность контрольных образцов более чем на 32 % (рис. 1).

В первые 7 суток происходит наиболее интенсивное твердение композита и прочность достигает 23,97 МПа, в следующие 14 суток прочность увеличивается еще на 7 единиц, далее прирост прочности незначителен (рис. 2).

Исследования показали, что применение карбонизации в качестве энергоэффективного способа повышения прочности гипсовых композитов, содержащих в своем составе известь, является возможным.

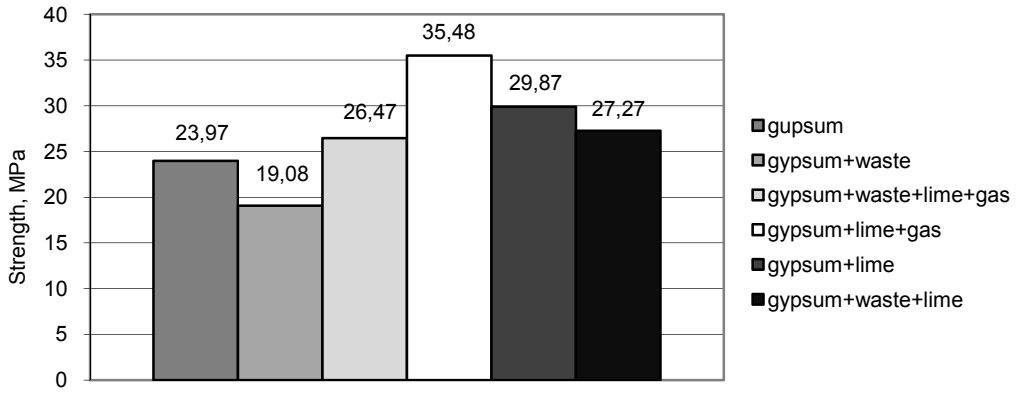


Рис.1. Прочность на сжатие композитов различного состава

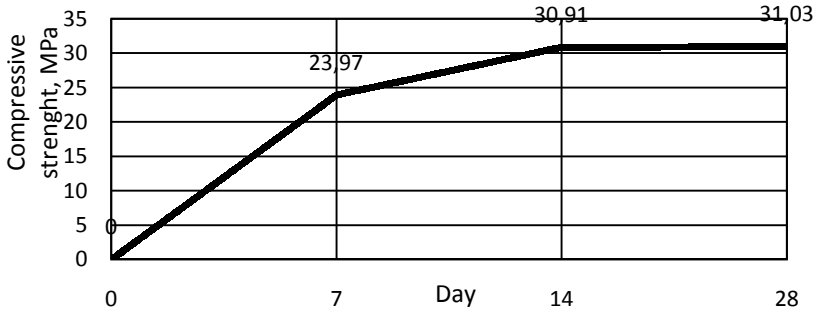


Рис. 2. Скорость набора прочности образцов, прошедших карбонизацию

Литература

1. Lei Wang, Tiffany L.K. Yeung, Abbe Y.T. Lau, Daniel C.W. Tsang, Chi-Sun Poon. Recycling contaminated sediment into eco-friendly paving blocks by a combination of binary cement and carbon dioxide curing // Journal of Cleaner Production 164 (2017).

2. Морозов, А. В. Карбонизация как фактор улучшения прочности железобетона/А. В. Морозов, И. А. Богомолов, Д. Д. Соколов, Р. И. Темирканов, Л. К. Григорьева // Наука и бизнес: пути развития. 2017. № 3. С. 22-24.

3. Батаев, Д. К. Изменение сейсмостойкости мелкозернистого ячеистого бетона при карбонизации / Д. К. Батаев, К. Х. Мажиев, М. А. Газиев, Р. Р. Салгириев, Х. Н. Мажиев, А. Х. Мажиева // Сборник трудов Международной научно-технической конференции им. Леонардо да Винчи. 2014. Т. 2. С. 18-27.

4. IPCC Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. / Contribution of working group II to the fifth

assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2014.

5. Вахрушев, А. А. Разработка строительных стеновых изделий на основе извести способом принудительной карбонизации / Вахрушев А. А. // Сборник материалов XIX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных. ФГБОУ ВО НИУ МГСУ, 2016. С. 789-792.

6. Murakami, T. Characterization of lime carbonates in plasters from Teotihuacan, Mexico: preliminary results of cathodoluminescence and carbon isotope analyses/Murakami T., Hodgins G., Simon Arleyn W.//Journal of Archaeological Science. -2013. -Volume 40, Issue 2. Pp. 960-970.

7. Известь и карбонатное твердение - следующая ступень эволюции производства строительных материалов / Строительные материалы. 2017. № 8. С. 13-18.

8. Монкман, С. Использование углекислого газа в качестве добавки ускорителя / С. Монкман, М. Макдональд и др.// Цемент и его применение. 2017. № 1. С. 82-89.

УДК 544.65+ 661.961

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА БАЗЕ ГИДРОННОГО ХИМИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ТОКА

Н.С. Окорокова[1], К.В. Пушкин[2], С.Д. Севрук[3], Е.В. Суворова[4], А.А. Фармаковская[5]
[1]Канд. техн. наук, ok.nadezhda@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, konstantin-val@yandex.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент, sds46@yandex.ru
[4]lelya-suvorova@yandex.ru
[5]Канд. хим. наук, профессор, a.a.farmakovskaya@gmail.com
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» МАИ

Аннотация. В данной работе представлены результаты расчетов энергетических характеристик комбинированной энергетической установки (ЭУ) на базе гидронного химического источника тока (ХИТ) с алюминиевым анодом, как генератора водорода для кислород-водородного электрохимического генератора (O_2/H_2 ЭХГ) по вольтамперным характеристикам (ВАХ) источников. Показано, что применение гидронного ХИТ как генератора водорода для O_2/H_2 ЭХГ снижает удельные массовые характеристики системы хранения водорода и повышает суммарные энергетические характеристики комбинированной ЭУ "Гидронный ХИТ + O_2/H_2 ЭХГ" при работе на номинальном токе ЭХГ (70 А) от 20-30% при применении в гидронном ХИТ катодов из чистого никеля (Н-0), до 40-50% при применении катодов с каталитическим покрытием MoS_2. При этом гидронный ХИТ на протяжении всего времени работы обеспечивает O_2/H_2 ЭХГ водородом в полном объёме.

Ключевые слова: химический источник тока, алюминиевый анод, генератор водорода, кислород-водородный электрохимический генератор, комбинированная энергетическая установка, мощность, удельная энергия.

Активное потребление человечеством нефти и газа на протяжении XX века привело к значительным негативным последствиям для окружающей среды, таким как смог в крупных городах, парниковый эффект, экологические катастрофы в результате проливов нефти из-за аварий танкеров при транспортировке горючего и многое другое. Поэтому, ввиду ряда преимуществ в качестве альтернативы рассматривается использование водорода как энергоносителя.

Среди автономных энергетических установок (ЭУ), использующих водород как горючее, наиболее энергоэффективными являются кислород-водородные топливные элементы (O_2/H_2 ТЭ), которые способны достигать самых высоких среди всех известных энергоустановок КПД (до 94%). В работе [1] было показано, что совместное применение гидронного ХИТ совместно с O_2/H_2 ТЭ способно образовать комбинированную ЭУ, состоящую из двух источников тока – гидронного ХИТ и O_2/H_2 ТЭ (O_2/H_2 электрохимического генератора – ЭХГ) где гидронный ХИТ является одновременно и источником водорода для O_2/H_2 ЭХГ и дополнительным источником тока.

В настоящей работе были рассчитаны энергетические характеристики комбинированной ЭУ с учётом функционирования источников при последовательной схеме подключения источников.

Оценочный расчёт был проведён для O_2/H_2 ЭХГ мощностью 3 кВт (сила тока 70А, напряжение 43В, 72 элемента в батарее) в течение 24 часов. Данные по характеристикам O_2/H_2 ЭХГ взяты из его технической документации.

Уравнение ВАХ ЭХГ аппроксимируется уравнением

$$U = -56 \cdot 10^{-4} \cdot I_{ЭХГ}^{3} + 18{,}79 \cdot 10^{-2} \cdot I_{ЭХГ}^{2} + 56{,}39 \cdot I_{ЭХГ} + 12{,}53 \qquad (1)$$

где $I_{ЭХГ}$ – ток разряда ЭХГ.

ВАХ гидронного ХИТ рассчитывалась для источника с анодом А995, электролитом 4М КОН + 0,08М тартрат-ион. В качестве катодов рассматривались два электрода: из никеля марки Н-0 и никелевый катод с экспериментальным каталитическим покрытием дисульфида молибдена - $Ni+MoS_2$. Величина межэлектродного зазора ячейки принята равной δ=3мм. В расчётах учтено изменение межэлектродного зазора с течением времени работы и определялось как алгебраическая сумма ВАХ катода, анода и потерь напряжения в межэлектродном зазоре по уравнению

$$U = \varphi_к - \varphi_a - \frac{\delta}{\sigma} \cdot j \ , \qquad (2)$$

где, $\varphi_к$, φ_a – потенциалы электродов, σ – удельная электропроводность электролита; δ – ширина межэлектродного зазора.

С учётом ВАХ рабочих компонентов гидронного ХИТ допустимая плотность тока гидронного ХИТ при номинальном токе разряда O_2/H_2 ЭХГ (70 А) принята равной $j_{гидр}$=1200 А/м^2. При выборе плотности тока гидронного ХИТ учитывалось условие, что он должен работать в режиме источника тока, при номинальной мощности O_2/H_2 ЭХГ (3 кВт).

Результаты расчётной оценки энергетических характеристик комбинированной ЭУ "Гидронный ХИТ + O_2/H_2 ЭХГ" показали, что гидронный ХИТ на протяжении всего времени работы O_2/H_2 ЭХГ увеличивает его ВАХ и мощностную характеристику на 30% в начале работы и на 20% в конце 24-часового ресурса при использовании в гидронном ХИТ катодов из чистого никеля, и на 50% в начале работы и на 40% в конце 24-часового ресурса при использовании в гидронном ХИТ катодов с каталитическим покрытием MoS_2. При этом гидронный ХИТ на протяжении всего времени работы обеспечивает O_2/H_2 ЭХГ водородом в полном объёме.

Работа выполнена в рамках стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (Конкурс СП-2016, № СП-2785.2016.1).

Литература

1. Pushkin K.V., Controlled hydrogen generator and additional source of electrical current for independent oxygen-hydrogen power plants (Conference Paper), 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, ICAS 2014; St. Petersburg; Russian Federation; 7 September 2014 до 12 September 2014.

УДК 622: 621.311: 652.26

ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ – ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИННОВАЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

.

А.В. Ляхомский[1], Е.Н. Перфильева[2], С.В. Петухов[3]
[1]Д-р техн. наук, профессор, lav5723807@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент, mggu.eegp@mail.ru
ФГАУО ВО «Научно-исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва
[3]Главный энергетик АО «Сибирская угольная энергетическая компания», г.Москва, petukhovsv@suek.ru

Аннотация. В данной работе обосновывается организационно-технологический инновационный аспект повышения энергоэффективности на основе энергетического менеджмента. Приведены положения, методы и способы реализации систем энергетического менеджмента на основе цифровых, информационно-коммуникационных технологий, обеспечивающих непрерывное повышение энергоэффективности.

Ключевые слова: процесс потребления энергетических ресурсов; энергоэффективность, система энергетического менеджмента, автоматизированный программно-аналитический комплекс по управлению энергетическими ресурсами.

Повышение энергоэффективности обеспечивает конкурентоспособность, устойчивое развитие экономики, снижение отрицательного воздействия на окружающую среду.

Решение задач повышения энергоэффективности, изложенных в государственных законодательных и программных документах [1-3], как показывают оценки экспертного сообщества, проходит по инерционному сценарию.

Затраты на энергетические ресурсы (ЭР) составляют значительную часть в себестоимости продукции промышленных предприятий. Так на предприятиях минерально-сырьевого комплекса указанные затраты достигают 20-25%, а для некоторых предприятий и выше, в себестоимости продукции.

В этой связи для устойчивого повышения энергоэффективности требуется инновационный сценарий, который может быть обеспечен с применением методов способов, энергетического менеджмента,информационного-коммуникационных технологий Общие требования к энергетическому менеджменту изложеныв ГОСТ Р ИСО 50001-2012. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению [4].

В основе устойчивого повышения энергоэффективности лежит системное управление ЭР, основывающиеся на представлении процесса энергопотребления «человеко-машинным»эргатическим процессом.

Эргатический процесс энергопотребления характеризуется как техно-технологической, компонентной, обусловленной потреблением ЭР в машинах, оборудованиях, зданиях и др., так и управленческой компонентой, обусловленной, действиями персонала, участвующего в процессе

энергопотребления (от персонала, управляющего энергопотребляющими объектами, до руководства предприятия).

Функционирование системы энергетического менеджмента должно опираться на инновационную среду, включающую

– регулятивныетребования и положения, гармонизированныек условиям деятельности предприятия, изложенные в локальных нормативных актах, охватывающих как техно-технологическую, так и управленческую компоненты процесса энергопотребления;

– информационно-коммуникационные технологии, автоматизированообеспечивающие задание, мониторинг, моделирование, анализ выполнения показателей энергоэффективности производственных процессов и позволяющие объединить всех участников процесса энергопотребления на базе единой информационно-аналитической платформы.

Кафедрой «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» Горного института совместно с малым инновационным предприятием ООО «СервоЭнергоКрат» при НИТУ «МИСиС» разработаны и внедрены в ряде организаций и на предприятиях Сибирской угольной энергетической компании системы энергетического менеджмента.

Энергетический менеджмент, реализуемый на базе разработанных и внедренных систем энергетического менеджмента, обеспечивает значительное улучшение существующего процесса потребления энергетических ресурсов путем его цифровизации, развития информационно-коммуникационной среды с целью экономического роста, снижения отрицательного влияния на окружающую среду и является комбинированной организационно-технологической инновацией.

Литература

1. Государственная программа Российской Федерации "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года", – М.: Минэнерго РФ, 2010.

2. Государственная программа «Энергоэффективность и развитие энергетики». – М., 2014.

3. Долгосрочная программа развития угольной промышленности России на период до 2030 года. – М., 2014.

4. ГОСТ Р ИСО 50001-2012. Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению

УДК: 681.5

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РОБОТА “РМ-01”

В.А. Медведев
Канд. техн. наук, доцент, va.medved60@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
г. Воронеж, Российская Федерация

Аннотация. В данной работе представлены результаты моделирования, разработки и экспериментального исследования энергосберегающей системы управления робота “РМ-01”. Разработанная система управления состоит из нижнего и верхнего уровней и обеспечивает воспроизведение заданных траекторий робота при снижении потерь электроэнергии относительно базовой системы управления более чем в два раза.

Ключевые слова: робот, манипулятор, динамическая модель, нижний уровень управления, верхний уровень управления.

Системы управления манипуляторами (в частности, устройство управления “Сфера-36” в составе робота “РМ-01”), разработанные в 80-е годы прошлого века, содержали большое количество микросхем малой и средней степени интеграции и поэтому имели большие габариты, потребляли значительное количество электроэнергии, были сложны в наладке и ремонте. Микропроцессорные системы управления позволяют решить эти проблемы. Создание энергосберегающей системы управления робота “РМ-01” связано с разработкой динамической модели манипулятора, алгоритмов и программ интерполяции траектории между опорными точками, а также аппаратной реализацией нижнего и верхнего уровней управления. Звенья манипулятора при моделировании представлялись твердыми телами, описываемыми множествами кинематических и динамических параметров[1]. Динамическая модель манипулятора формировалась по методу Ньютона-Эйлера с учетом динамических, гравитационных сил, а также сил, обусловленных взаимовлиянием координат[2]. Динамические модели электроприводов, перемещающих звенья манипулятора, формировались в матричной форме [3]. Нижний уровень энергосберегающей системы построен на основе шести модулей управления координатами, каждый из которых имеет в своем составе PIC-микроконтроллер и широтно-импульсный преобразователь энергии, обеспечивая непосредственное цифровое управление двигателем постоянного тока. Микроконтроллер каждой координаты выполняет функции сравнивающего устройства, корректирующего устройства, устройства для обработки информации с импульсного датчика скорости и потенциометрического датчика положения. Он позволяет реализовать позиционное и контурное управление манипулятором, задаваемое верхним уровнем управления. Функциональные возможности энергосберегающей системы управления манипулятором: управление двигателями координат по интерфейсу RS-485 или с помощью дискретных и аналоговых сигналов; стабилизация скорости вращения каждого

двигателя на требуемом уровне; отработка заданной траектории движения с использованием сигналов датчиков положения. На первом этапе исследований оценивалось влияние структуры и параметров модулей управления координатами на показатели функционирования электроприводов. В режиме стабилизации скорости наилучшие статические и динамические характеристики получены при организации обратной связи по сигналам импульсного датчика. При вращении координат манипулятора в вертикальном направлении и изменении моментов, обусловленных силами гравитации, от максимального значения до нуля достигалась стабилизация их скоростей на требуемых уровнях при определенных настройках ПИД - регуляторов. На втором этапе проводились исследования в режиме отработки заданной траектории. Сигналы задания обобщенных координат манипулятора формировались на основе алгоритма интерполяции [4] верхним уровнем в виде персонального компьютера с платами ввода-вывода. В соответствии с требованиями к траектории манипулятора, состоящей из одиннадцати участков, формировался массив заданных значений обобщенных координат в опорных точках. Расчет сигналов задания перемещений координат между опорными точками осуществлялся на каждом участке по методу кубических сплайнов [5, 6], с помощью разработанной программы интерполяции. После формирования требуемой траектории выдача задающих воздействий на следящие электроприводы осуществлялась в режиме реального времени. Результаты экспериментальных исследований показывают, что энергосберегающая система управления обеспечивает воспроизведение заданных траекторий робота в условиях действия динамических эффектов, связанных с ускоренным движением звеньев и взаимовлиянием координат, а также гравитационных сил. При этом потери энергии внутри системы управления не превышают 456 Вт, в то время как в базовой системе “Сфера-36” они составляли 950 Вт.

Литература

1. Медведев В.А. Моделирование роботов и РТС: учеб. пособие / В.А. Медведев. – Воронеж: ГОУ ВПО «Воронеж. гос. техн. ун-т», 2010. – 106 с.

2. В.А. Медведев, А.А. Новиков Моделирование динамики манипулятора с произвольной кинематической схемой / Анализ и проектирование средств роботизации и автоматизации: межвуз. сб. науч. трудов. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 1999. – С. 139-142.

3. Медведев В.А. Моделирование и исследование роботов и РТС: учеб. пособие /– Воронеж.гос. техн. ун-т, 2005. – 104 с.

4. А.И. Шиянов, В.А. Медведев, А.И. Семенов, М.Р. Калядин. Контурное управление манипулятором с угловой системой координат/Электричество. – 1998. – № 5. – С. 40-42.

5. Медведев В.А. Управление роботами и РТС: учеб. пособие / – Воронеж: ГОУ ВПО «Воронеж. гос. техн. ун-т», 2010. – 228 с.

6. В.А. Медведев, А.И. Шиянов. Управление роботами: учеб. пособие для студентов вузов / В.А. Медведев, А.И. Шиянов. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2003. – 187 с.

УДК: 608.26(665.8)

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С ТУРБУЛИЗАТОРАМИ

А.В. Муравьев[1], И.Г. Дроздов[2], А.М. Наумов[3], А.А. Надеев[4], Ю. А. Воробьева[5]
[1]Канд. техн. наук, nix2001@yandex.ru
[2]Д-р техн. наук, профессор, rd-vgtu@mail.ru
[3] Д-р техн. наук, профессор, naumov@ccgeu.ru
[4] Канд. техн. наук, alekn85@mail.ru
[5] Канд. техн. наук, cccp38@vgasu.vrn.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В данной работе рассмотрены меры по уменьшению количества отложений в теплообменных трубках и увеличению интенсивности теплообмена за счет использования кольцевых насечек-турбулизаторов в трубках кожухотрубных теплообменных аппаратов.

Ключевые слова: турбулизатор, отложения, карбонат кальция, энергосбережение, отложения, осадок, интенсификация, кожухотрубный теплообменный аппарат.

В последнее время возрос интерес к способу снижения количества отложений на поверхностях теплообмена за счет использования искусственной турбулизации потока теплоносителя. Суть данного метода сводится к тому, что по всей длине трубки на её наружной поверхности через определенные интервалы производится накатка кольцевых турбулизаторов [1]. За счет использования дополнительных канавок по длине трубки образуются завихрения потока, которые разрушают пристеночный ламинарный подслой. Это способствует уменьшению образования отложений за счет предотвращения закрепления осадка на поверхности теплообмена и улучшению их уноса потоком теплоносителя. Кроме того, усложнение геометрии поверхности трубок приводит к увеличению поверхности теплообмена.

В данной работе рассматривается экспериментальное исследование трубок с кольцевыми турбулизаторами, определение оптимального шага, глубины канавки турбулизатора, влияние скорости теплоносителей и влияние металла на процесс образования отложений [2]. Проведены экспериментальные исследования по выявлению самых оптимальных параметров турбулизаторов. Для исследований был использован кожухотрубный теплообменный аппарат (ТОА). Трубки с турбулизаторами имели следующие характеристики: 1) $t = 2$, $m = 1$; 2) $t = 4$, $m = 0{,}5$; 3) $t = 4$, $m = 1$; 4) $t = 4$, $m = 2$; 5) $t = 8$, $m = 1$ (t – шаг канавки, мм., m – глубина канавки, мм.)

Характеристики трубок представлены на рис. 1

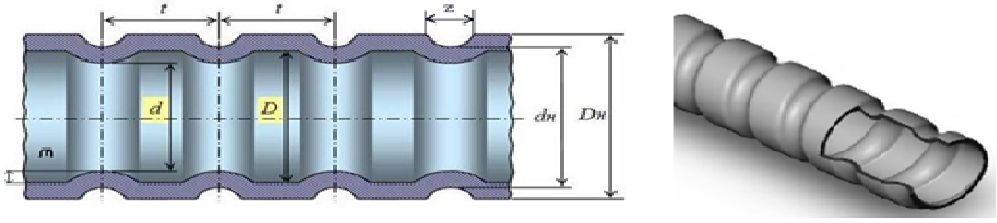


Рис. 1. Характеристики турбулизаторов

Результаты исследований локального распределения отложений представлены на Рис. 2

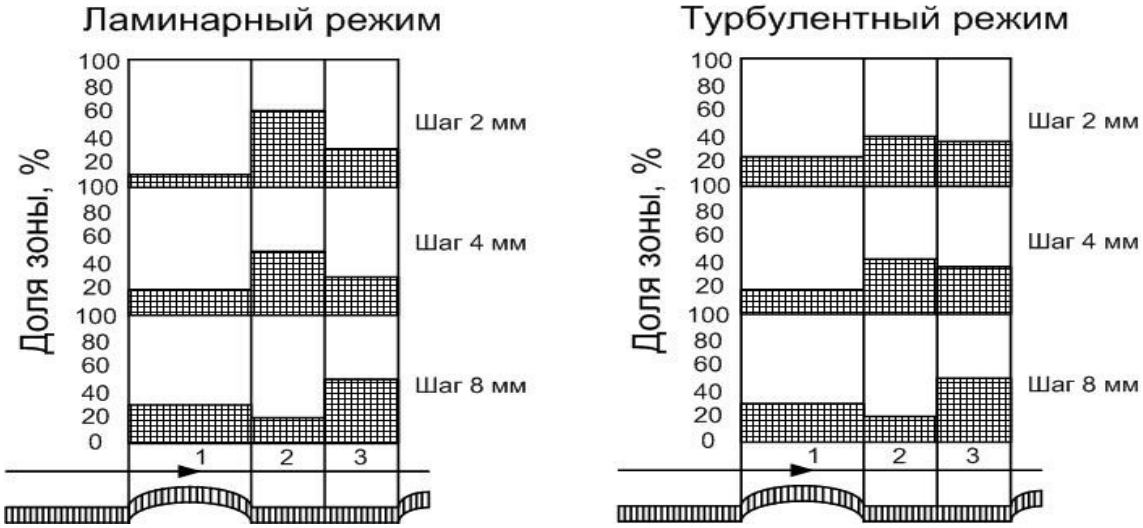


Рис. 2. Процентное содержание отложений

Результаты эксперимента показали, что применение трубок с турбулизаторами в теплообменнике, работающим в ламинарном режиме, не эффективно, т.к. трубки были подвержен большему обрастанию отложений на внутренней поверхности теплообмена. Трубки с турбулизаторами при турбулентном режиме работы теплообменника, показали обратный эффект – произошло уменьшение количества отложений. Так минимальное значения формирование осадка в виде отложений наблюдалось у труб с турбулизаторами в соотношении m/d = $4 \cdot 10^3$ - $14 \cdot 10^3$. В образце количество отложений было наименьшим при соотношении $d/D = 0,75$ и $t/D = 0,25$. Таким образом, эксперимент подтвердил теоретические исследования в области тепломассопереноса, что в трубках с турбулизаторами отложений значительно меньше, чем в гладких трубах, но только при условии турбулентного движении теплоносителя. Использование накатанных труб в теплообменниках увеличивает ресурс работы установки, увеличивает теплоотдачу, теплопередачу и приводит к увеличению интенсификации теплообмена [3]. При этом стоимость накатки одной трубки составляет 2 - 4 % от ее стоимости.

Литература

1. Копылов А.С. Водоподготовка в энергетике. М.:Издательство МАИ, - 2003. – 310 с.
2. Дрейцер Г.А. Исследование солеотложений при течении воды с повышенной карбонатной жесткостью в каналах с дискретными турбулизаторами. //Теплоэнергетика. 1996. №3. С.30-35.
3. Ключков Е.Р. Исследование процесса образования отложений на твэлах водоохлаждаемых реакторов.// Теплоэнергетика. 1996. №12. С. 52-54.

УДК: 621.3

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ СОВРЕМЕННОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Д.А. Тонн[1], В.А. Трубецкой[2], А.К. Муконин[3]
[1]Канд. техн. наук, доцент tonnda@yandex.ru
[2]Канд. техн. наук, доцент trubetskoy.v@inbox.ru
[3]Канд. техн. наук, доцент mukonin_ak@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В данной работе представлен краткий обзор энергосберегающих технологий применяемых в современном промышленном электроприводе.

Ключевые слова: электропривод, снижение потерь, переходные режимы, динамические энергетические показатели.

На современном промышленном предприятии должна проводиться политика по экономии электроэнергии и других ресурсов, что актуально для технологических линий, станков и электроустановок с электроприводом (ЭП), так как более половины всей вырабатываемой в мире электроэнергии потребляется электродвигателями в ЭП различных машин, механизмов, транспортных средств. Электрическую энергию, необходимую для совершения полезной работы, ЭП потребляет из силовой сети, что сопровождается потерями во всех его элементах. Протекание токов в силовой цепи, в цепи возбуждения двигателя вызывает потери электрической энергии, а изменения магнитного потока являются причиной потерь в магнитной цепи двигателя, обусловленных вихревыми токами и гистерезисом. Механические потери двигателя, в механической части ЭП возникаю из-за сил трения и сопротивления движению. Решать задачи энергосбережения необходимо как при эксплуатации ЭП, так и на этапе их расчета и проектирования. Необходимость оценки потерь энергии ЭП связана с выбором двигателей по мощности при проектировании, определением их загрузки по нагреву. Задача правильного выбора двигателей ЭП, обладающих достаточной мощностью и перегрузочной способностью актуальна. Занижение необходимой мощности двигателя снижают его надежность, вызывают ускоренный износ изоляции. Завышение необходимой мощности двигателя приводят к возникновению издержек, связанных с нерациональным использованием дорогостоящего оборудования, ухудшением энергетических показателей недогруженных двигателей и увеличением динамических нагрузок механизмов [1]. В процессе эксплуатации ЭП значительные потери энергии наблюдаются в переходных режимах (ПР): при пуске, в импульсных режимах работы, при частых реверсах, при различных видах электрического торможения, при обеспечении высокой точности позиционирования. На величину этих потерь влияет ряд параметров: продолжительность ПР, начальная и конечная частоты вращения, величина статической нагрузки, характер её изменения, моменты инерции вращающихся частей. Потери энергии в ПР могут быть снижены за счет применения двигателей с меньшими моментами инерции ротора и управлением этими

режимами с помощью средств автоматики. Снизить момент инерции можно уменьшением диаметра ротора, при этом для сохранения требуемой величины мощности требуется увеличение длины активной части машины, что применяется в краново-металлургических двигателях, предназначенных для работы в повторно-кратковременных режимах. Эффективным средством снижения потерь является пуск при постепенном повышении напряжения питания, что реализуется для двигателя в системе с регулируемым преобразователем: для асинхронных двигателей это устройства плавного пуска («софт-стартеры») или преобразователи частоты, а для двигателей постоянного тока — тиристорные устройства управления. Динамические энергетические показатели — динамический КПД и динамический коэффициент мощности в ПР имеют большое значение при проектировании и эксплуатации ЭП. Эти показатели определяют габариты, стоимость и целесообразность регулирования ЭП. Определение энергетических показателей в динамических режимах ЭП с учетом несинусоидальности, несимметрии, нелинейностей параметров является актуальной проблемой современной электромеханики. Средний за период коэффициент мощности определяется как отношение средней активной мощности и средней полной мощности. В ПР КПД всегда ниже, чем в установившемся. Габариты машины, работающей в ПР, больше, чем машины, эксплуатируемой в установившихся режимах. Энергия, расходуемая на торможение двигателя, равна кинетической энергии, запасенной в механической части ЭП, её расход зависит от реализованного способа торможения. Наиболее выгодным с энергетической точки зрения является рекуперативное торможение. Если ЭП работает с переменной нагрузкой, то в периоды её снижения КПД двигателя понижается. Для создания энергосберегающего эффекта в этом случае необходимо снижение напряжения, подводимого к двигателю в периоды его работы с нагрузкой ниже номинальной. Это достигается при работе двигателя в системе с регулируемым преобразователем и наличии в нем обратной связи, а так же изменением схемы соединения обмоток асинхронных двигателей. Не маловажное значение имеет рациональный выбор пускорегулирующей аппаратуры. Если ЭП не подвержен частым регулировкам, то применение дорогостоящего пускорегулирующее оборудование может оказаться неоправданными, а расходы, связанные с потерями энергии в ПР — незначительными. При интенсивной эксплуатации электропривода в ПР применение пускорегулирующих устройств оправдано. Применение в ЭП двигателей с большим номинальным напряжением позволяет снизить потери. Решению проблемы энергосбережения способствует применение синхронных ЭП, синхронных компенсаторов, силовых конденсаторных установок, которые создают в питающей сети токи, опережающие по фазе напряжение, что ведет к повышению коэффициент мощности на данном участке сети.

Литература

1. Васильев, В. Ю. Электропривод. Энергетика электропривода: учебник /– М., 2015. – 268 с.

УДК: 621.3

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НАМОТОЧНОГО СТАНКА

А.М. Литвиненко[1], Е.Р. Евтушенко[2], Д.С. Баранов[3]
[1]Д-р техн. наук, профессор, eayts@yandex.ru
[2]Студент, kardinallektor@gmail.com
[3]Аспирант, den.baranov.1993@bk.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В данной работе представлена технология, позволяющая уменьшить процент брака выпускаемой на намоточных станках продукции. И уменьшить энергозатраты при производстве.

Ключевые слова: электрическая катушка, намоточный станок, натяжение, сверхтонкий провод, электропривод, энергосбережение.

Современную электротехнику невозможно представить без трансформаторов, электромагнитных реле, соленоидов. Основой данных устройств является электрическая катушка. Добротность этого электрокомпонента напрямую зависит от качества, равномерности, соответствия пределам упругой деформации намотанного провода [2]. Для создания электрических катушек в производственных масштабах используются намоточные станки. Из совершенствования является приоритетной задачей, поскольку передовые прецизионные устройства требуют высококачественную намотку сверхтонкого провода [3].

Одной из доминирующих проблем является высокий процент брака – 50 % из-за неточного контроля растяжения сверхтонкого провода при намотке, что приводит к частым разрывам.

Статья направлен на уменьшение процента брака и уменьшение энергозатрат при производстве.

На рис. 1 изображена модель намоточного станка.

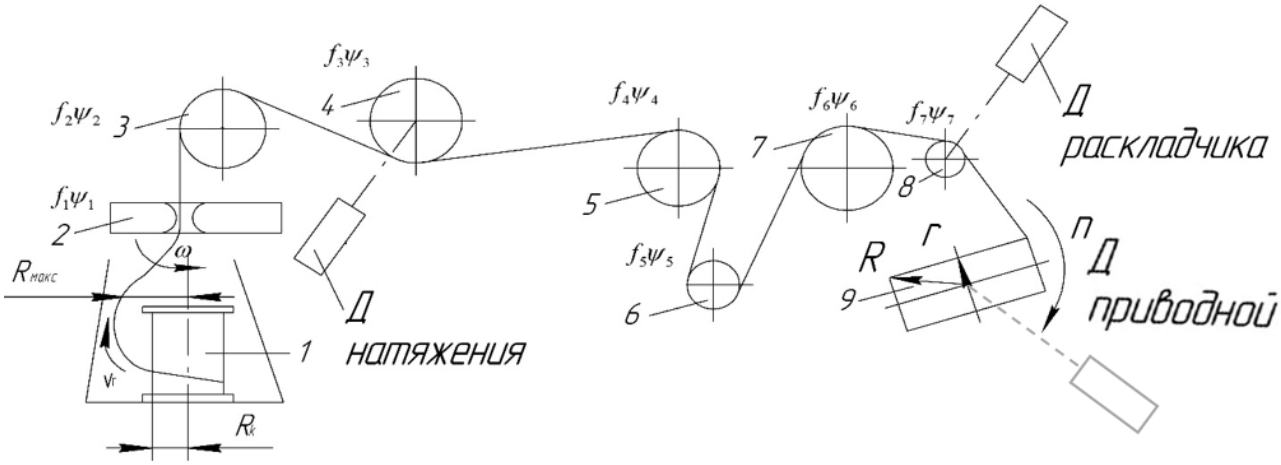


Рис. 1. Модель намоточного станка

Для достижения поставленной цели было проведено моделирование трех систем управления электроприводом: 1) на прямоугольном каркасе; 3) на прямоугольном каркасе с использованием компенсатора, подключенного к приводному двигателю. Компенсатор выполнен на основе датчика поворота катушки и инвертора, который соединен с двигателем намотки [1].

Результаты исследования продемонстрированы на рис. 2.

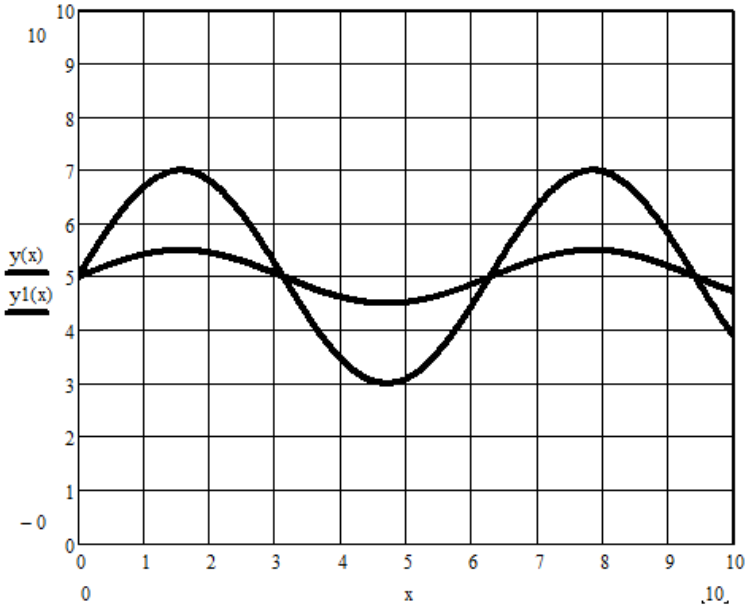


Рис.2. Сравнение натяжения с компенсатором и без него

Как видно из рис. 2 – стабилизация позволяет обеспечить уменьшение натяжения почти в 3 раза, что в свою очередь уменьшает энергопотребление, обеспечивает энергосбережение, а при заданном повышенном уровне натяжения увеличивает производительность. Данные положения были проверены экспериментально на реальном электроприводе намоточного станка модели СНП-0,1-150В «Пульсар», что позволило уменьшить процент брака в 2 раза.

Литература

1. Козлов Е. М. Конструирование и расчет обмоточных приспособлений электрических машин. М., «Энергия», 1968: с. 37 – 49.

2. Жуков В. А. Технология производства радиоаппаратуры, М. – Л., Госэнергопроиздат, 1969. с. 67 – 106.

3. Пешков И. Б. Эмалированные провода М. – Л., «Энергия», 1968: с. 44

4. Локтаев В.С., Пути повышения производительности труда при изготовлении намоток. В кн.: Снижение трудоемкости изделий в приборостроении. Под ред. А.Н. Гаврилова. М. – Л., «Энергия», 1969: с.

5. Shmelev V. Sbitnev S. Space-phase modeling of electromechanical Processary Motion Machines. 2D Model realization// Except from the proceedings of the COMSOL user conference 2006. Prague. pp. 8 – 13.

УДК: 621.9

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭФФЕКТ РАЦИОНАЛЬНОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА В КАНАЛАХ ПЛАСТИНЧАТО-РЕБРИСТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В.Я. Васильев[1], С.А.Никифорова[2]
[1]Д-р техн. наук, профессор, vasiliev-vy@mail.ru
[2]Аспирант, 93anatolna@mail.ru
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»

Аннотация. Пластинчато-ребристые теплообменники привлекают техническими достоинствами. Замена гладких каналов их поверхностей рассечёнными, даже с интуитивно выбранными параметрами всегда в какой-то (неполной) мере улучшает характеристики поверхностей. Результаты систематических исследований процессов рациональной интенсификации теплообмена в рассечённых каналах с различными профилями сечений открывает научный подход к созданию энергосберегающих поверхностей теплообменников.

Ключевые слова: пластинчато-ребристый, теплообменник, компактность, интенсификация, рациональная, энергосберегающая.

Если возможности уменьшения эквивалентного диаметра канала поверхности теплообмена (ПТ), повышения скорости теплоносителя, величины разности температур в теплообменном аппарате (ТА), значения коэффициента теплопроводности металла рёбер и разделяющей потоки стенки канала и уменьшения её толщины уже исчерпаны, то повышения теплопроизводительности ТА можно достичь только за счёт интенсификации теплообмена.

Интенсификация теплоотдачи неразрывно связана с дополнительной затратой энергии на преодоление возрастающих гидравлических сопротивлений движущимися рабочими средами.

Часто способы искусственной турбулизации потока для интенсификации теплообмена, как в круглых, так и в некруглых каналах выбирались интуитивно. Когда искусственная турбулизация охватывает весь поток или значительную его часть (волнистые каналы, постановка проволок в канале, большие диафрагмы, шайбы, спирали, сегментные и пропеллерообразные завихрители, ленточные спиральные турбулизаторы, сильно отогнутые в канал рёбра и т.д.) рост значений относительной гидравлической $\zeta_{\text{турб}}/\zeta_{\text{гл}}$ характеристики канала существенно опережает рост его относительной тепловой $\mathrm{Nu}_{\text{турб}}/\mathrm{Nu}_{\text{гл}}$ характеристики и оценка интенсификации теплоотдачи по отношению к гладким каналам выражается неравенством $[(\mathrm{Nu}_{\text{турб}}/\mathrm{Nu}_{\text{гл}}) < (\zeta_{\text{турб}}/\zeta_{\text{гл}})]_{\mathrm{Re}_i=\mathrm{idem}}$. Если же места вихревых отрывов потока расположены сравнительно нечасто по потоку в узком пристеночном слое, имеет место желательное неравенство $[(\mathrm{Nu}_{\text{турб}}/\mathrm{Nu}_{\text{гл}}) \geq (\zeta_{\text{турб}}/\zeta_{\text{гл}})]_{\mathrm{Re}_i=\mathrm{idem}}$. Этот метод рациональной интенсификации конвективного теплообмена (РИКТ) позволяет весьма значительно (в несколько раз) уменьшить ПТ с прежними или

меньшими затратами энергии на привод вентилятора на циркуляцию теплоносителя [1].

В различных областях техники широкое применение получили пластинчато-ребристые ТА благодаря меньшей массе и большей компактности, чем аналогов других типов, поскольку ПТ выполняется из тонких металлических листов. В некруглых каналах этих поверхностей несложно (и с большой результативностью) интенсифицировать теплообмен искусственной турбулизацией теплоносителя способом рассечения длинных гладких каналов [2].

Эффект трансформации ТА с двумя гладкоканальными прямоугольными и треугольными каналами после их замены аналогами с рассечёнными каналами (с оценками РИКТ, для примера равными двум) демонстрирует рисунок.

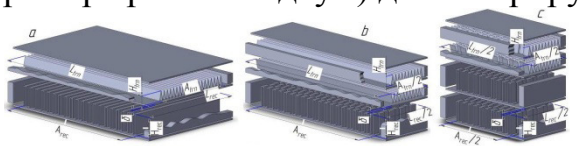


Рис. Трансформация поверхностей теплообменного аппарата – а после замены гладкоканальных поверхностей с прямоугольными – b и треугольными – с каналами аналогами с рассечёнными каналами

В итоге при неизменных энергетических затратах имеем сердцевину пластинчато-ребристого теплообменного аппарата с уменьшенными в 2 раза длиной каналов, поверхностью теплообмена и массой.

Систематическое экспериментальное исследование интенсификации теплообмена в прямоугольных рассечённых каналах позволило установить неизвестный факт реализации процесса РИКТ $[(\mathrm{Nu}_{\text{турб}}/\mathrm{Nu}_{\text{гл}}) = (\zeta_{\text{турб}}/\zeta_{\text{гл}})]_{\mathrm{Re_i=idem}}$ с высоким значением максимальной оценки роста безразмерного коэффициента теплоотдачи критерия $\mathrm{Nu}_{\text{турб}}$ Нуссельта – $[(\mathrm{Nu}_{\text{турб}}/\mathrm{Nu}_{\text{гл}})']^{\mathrm{MAX}}_{\mathrm{Re}'_{\mathrm{x}}=4,4\cdot10^3} = 2{,}78$ и диапазоны значений текущих оценок $[(\mathrm{Nu}_{\text{турб}}/\mathrm{Nu}_{\text{гл}})'']_{\mathrm{Re}''_{\mathrm{i}}=(0,6...4,4)\cdot10^3} = 2{,}11...2{,}78$ процессов РИКТ в широком диапазоне изменения значений режимного критерия $\mathrm{Re}''_{\mathrm{i}}$ Рейнольдса. Результаты исследования определяют возможность уменьшения до 2,78 раза объёма и массы ТА с исследованными рассечёнными ТП по сравнению с гладкоканальными при неизменных затратах энергии.

Литература

1. Vasilev V., Zhatkin A. Promising rational enhancement of heat exchange by section of long smooth ducts of plate-fin surfaces with purposes of creation of highly effective compact heat exchangers // The 24th IIR International Congress of Refrigeration (Yokohama, August 16–22, 2015). Japan, 2015. 8 p.

2. Vasilev V. Ya., Nikiforova S. A. Thermo-aerodynamic efficiency of non-circular ducts with vortex enhancement of heat exchange in different types of compact heat exchangers // 2018 Journal of Physics: Conference Series. 980 012021.

УДК 631.365

ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРОГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ

Н.В. Мозговой[1], М.А. Терещенко[2], Л.Н. Звягина[3]
[1]Д-р техн. наук, профессор, nv_moz@mail.ru
[2]Канд. техн. наук, mcclay@mail.ru
[3]Канд. пед. наук, zvyagina.l@list.ru
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. Описывается экспериментальное исследование парогенератора на основе аппарата пульсирующего горения с камерой сгорания вихревого типа, аэродинамическим клапаном и резонатором Гельмгольца. Приведена количественная оценка процесса образования и выбросов окислов азота. Существенное снижение оксидов азота объясняется неравновесностью процессов горения из-за крайне незначительного времени пребывания компонентов топлива в зоне высоких температур.

Ключевые слова: пульсирующее горение, выбросы оксидов азота, неравновесность, высокие температуры, экологичный парогенератор.

Целью настоящей работы является экспериментальная оценка энергетических характеристик и экологических показателей парогенераторов на основе аппаратов пульсирующего горения (АПГ). Парогенератор представляет собой АПГ с камерой сгорания вихревого типа с аэродинамическим клапаном и резонатором Гельмгольца. Парообразование и перегрев пара происходит при прохождении воды последовательно через рубашки охлаждения: аэродинамического клапана, камеры сгорания вихревого типа и резонатора Гельмгольца. Представлены результаты исследований такого парогенератора мощностью от 300 до 400 кВт, которые подтверждают высокие энергетические и экологические характеристики аппарата. Произведен расчет выбросов оксидов азота. Показано существенное снижение концентрации «термических» оксидов азота из-за неравновесности процессов в АПГ [1].

Исследования проводились при разных расходах углеводородного топлива от $7{,}68\times10^{-3}$ до $13{,}32\times10^{-3}$ кг/с, что соответствовало развиваемой мощности от 310 до 410 кВт [2]. Давление в рубашке охлаждения изменялось за счет установки дроссельных шайб различного диаметра. Парообразование и перегрев пара происходит при прохождении воды последовательно через рубашки охлаждения: аэродинамического клапана, камеры сгорания вихревого типа и резонатора Гельмгольца.

Экологические показатели парогенератора определяются главным образом количеством выбросов оксидов азота. Механизм образования оксидов азота при горении структурируют на следующие основные группы: «быстрые», «термические» и «топливные» [3].

Скорость образования «быстрых» оксидов азота на порядок превышает «термические», при этом отмечается слабая зависимость от температуры в камере сгорания и значительная зависимость от соотношения: топливо-воздух.

«Термический» путь образования NO по механизму Я.Б. Зельдовича

вносит основной вклад в загрязнение окружающей среды выбросами окислов азота при горении топлива в традиционных горелочных устройствах[4].

В наших исследованиях отмечено, что действительный выход «термических» оксидов азота на несколько порядков ниже равновесных [Таблица]. Это объясняется малым временем пребывания компонентов топлива в области высоких температур [5], поскольку период колебания в резонаторе не превышает 0,02 с, а время пребывания в зоне максимальных температур еще меньше.

Таблица

Параметр	Обозначение и размерность	Расчет	Эксперимент
Температура в камере сгорания	Т, К	1614	1313
Коэффициент избытка окислителя	α	1,74	1,67
Концентрация «термических» окислов азота (в равновесном состоянии)	C_{NO}, г/м^3	3,7	-
Концентрация «термических» окислов азота в условиях пульсирующего горения	C_{NO}, г/м^3	0,00013	-
Концентрация «быстрых» окислов азота рассчитанная по аппроксимационной формуле	$C_{NO(быстр)}$, г/м^3	0,02138	-
Сумма NO	NO, г/м^3	0,02151	0±0,033

Топливные» оксиды азота образуются при сжигании топлива, в котором содержится химически связанный азот. Учитывая, что доля превращения такого азота в оксиды не превышает 0,2-0,3, а также то обстоятельство, что в углеводородном топливе в качестве примесей содержится не более 0,007 % азота, данным механизмом можно пренебречь.Сравнительный анализ позволяет оценить преимущества данного парогенератора на основе АПГ с точки зрения его производительности и экологичности перед парогенераторами других типов.

Литература

1. Терещенко М.А., Мозговой Н.В. Экспериментальное исследование парогенератора на основе пульсирующего горения и оценка его экологичности / Теплоэнергетика № 6, Москва, 2009. С.69-72.

2. Быченок В.И., Мозговой Н.В. Термогидроакустическая устойчивость автоколебательных процессов в аппаратах пульсирующего горения с аэродинамическим клапаном /Вестник ТГТУ.-Т.10, №4, 2004. С.887-895.

3. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1988. С.312: ил.

4. Ковалев С.Д., Назаров И.П., Простов В.Н. Исследование образования окиси азота в турбулентном пламени / В кн.: Окислы азота в продуктах сгорания топлив: Сб. науч. тр. – Киев: Наук. думка., 1981, С. 60 – 63.

5. Терещенко М.А. Мозговой Н.В. Влияние процессов пульсации в камере сгорания аппаратов пульсирующего горения на выход оксидов азота Вестник ВГТУ. Т.4. №7.. С.73-76.

УДК 691.33.67.09.33

ЯВНЫЕ РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБВОДНЕННЫХ СИСТЕМ ТЕХНОГЕННОГО КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ И ИЗВЕСТНЯКОВОЙ КАМЕННОЙ МУКИ

Д.Н. Коротких[1], Ю.В. Погорелова[2]
[1]Д-р. техн. наук, *korotkih@vgasu.vrn.ru*
[2]Аспирант, *pyv.vrn@mail.ru*
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. Рассматривается проблема снижения себестоимости производства самоуплотняющихся бетонов. Обосновывается концепция применения отходов производства нитроаммофоски ОАО «Минудобрения» г. Россошь в качестве компонента самоуплотняющихся бетонов.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, техногенный карбонат кальция, ресурсосбережение, реология.

Введение. В последние годы проявляется интерес к самоуплотняющемуся бетону. Этот материал применяется на строительстве отдельных объектов. Проблема широкого внедрения самоуплотняющихся бетонных смесей заключается в их высокой стоимости, обусловленной применением природных минеральных наполнителей, использованием дорогостоящих высокоэффективных суперпластификаторов (гиперпластификаторов) и фракционированных заполнителей[1-5].

Таким образом, экономическая эффективность применения самоуплотняющихся бетонных смесей (особенно бетонов рядовой прочности) нивелируется повышением себестоимости бетонной смеси в сравнении с традиционными бетонами и усложнением технологии производства.

В связи с этим актуальны исследования, направленные на снижение их себестоимости.

Существует несколько способов решения данной проблемы:

- сокращение расхода цемента, как дорогостоящего компонента;
- выбор рациональной химической добавки, исходя из свойств смеси;
- замена дорогого наполнителя на более дешевый.

Данный вопрос целесообразно рассматривать в контексте с классификацией СУБ:

1) порошкового типа – смеси с низким водовяжущим отношением и высоким содержание дисперсных материалов для повышения пластической вязкости;

2) бетоны с модификаторами вязкости – бетонные смеси, содержащие своем составе добавки на основе полимеров;

3) комбинированного типа – бетоны порошкового типа с небольшой добавкой модификатора вязкости.

Одним из способов экономии природных ресурсов (ресурсосбережения), а также снижения себестоимости производства бетонных смесей является замена природного наполнителя на отходы промышленного производства.

Мировая практика показывает, что использование промышленных отходов позволяет на 10 – 30 % снизить затраты на изготовление строительной продукции по сравнению с ее производством из природного сырья. В связи с изложенным в статье рассматривается возможная замена природного сырья - известняковой муки на минеральный наполнитель (порошкового типа) конверсионный мел - отход производства химических удобрений АО «Минудобрения» г. Россошь.

Материалы и методы. При проведении экспериментов для приготовления паст в качестве минеральных наполнителей были использованы техногенный карбонат кальция - отход производства химических удобрений АО «Минудобрения» г. Россошь и известняковая каменная мука производства ООО «ВЗМП» г. Воронеж.

Так эти два вида сырья отличаются между собой способом получения, а именно первый является результатом протекания обменных реакций, процессов перекристаллизации при получении такого минерального удобрения как нитроаммофоска, второй же продукт механических преобразований природного сырья - различного рода известняков.

В работе исследовалось влияние различного рода добавок на реологию обводненных систем.

Виды используемых добавок:

- Полиарилы (Polyheed 4030, производство BASF)
- Поликарбоксилаты (Glenium 430, производство BASF)
- Лигносульфонаты (Centrament P 40, производство MC Bauchemie)
- Нафталинсульфонаты (Muraplast FK 48, производство MC Bauchemie)

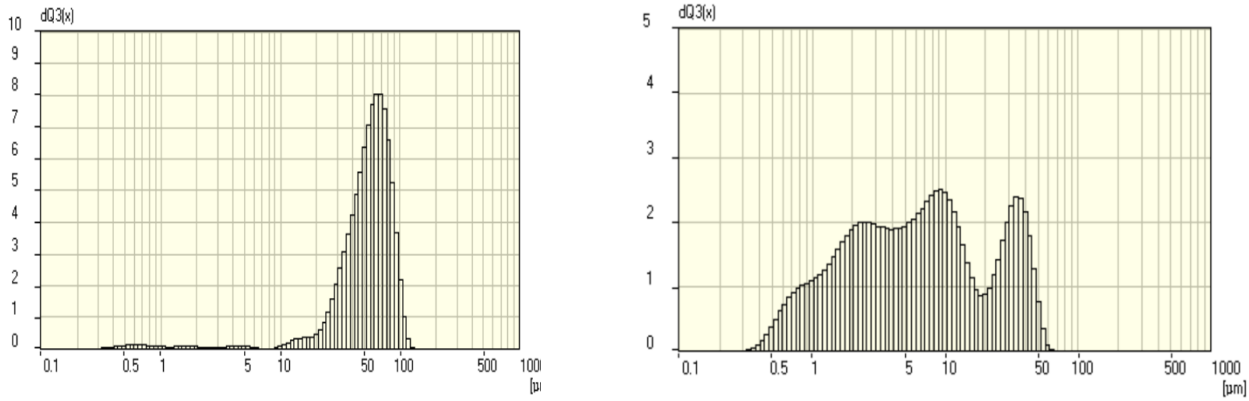
Экспериментальные исследования выполнены с помощью стандартных и специальных методов.

Для определения дисперсных параметров (размеров частиц и функций распределения частиц по размерам), гранулометрического состава и анализа формы частиц техногенного карбоната кальция и известняковой каменной муки был задействован лазерный анализатор ANALZSETTE 22 Nano Tec.

Исследование реологических характеристик обводненных систем (предельного напряжения сдвига и величины «эффективной» вязкости) осуществлялось с использованием вискозиметра ротационного типа РВ-8.

Результаты экспериментальных исследований

Проведен дисперсный анализ техногенного карбоната кальция и известняковой муки, представленный на следующих интегральных гистограммах. Данные исследования проведены на лазерный анализатор ANALZSETTE 22 Nano Tec в Центре коллективного пользования им. профессора Ю.М. Борисова ВГТУ (сайт: http://ckp-vrn.ru).



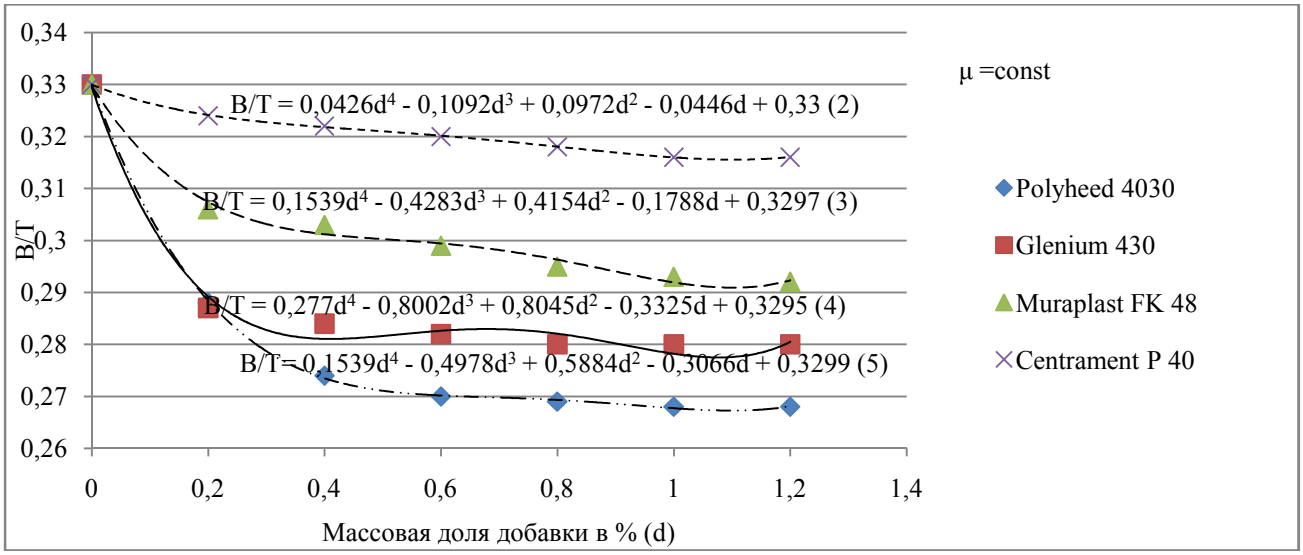
а) б)

Рис. Интегральные гистограммы распределения размера частиц исследуемых порошков а) техногенного карбоната кальция; б) известняковой муки

Конверсионный карбонат кальция представлен тонкодисперсным порошком со средним размером зерна ~60 мкм, для известняковой каменной муки этот показатель ~10мкм. Таким образом их можно отнести к мелким наполнителям (ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия.).

Учитывая специфику размера частиц техногенного карбоната кальция, определенную при дисперсном анализе, а также его близкий к мономинеральному состав, соответствующий природному сырью была предположена возможность его применения в качестве минерального наполнителя в составе самоуплотняющихся бетонных смесей.

Благодаря проведенному эксперименту были получены следующего вида зависимости для исследуемых систем.



Литература

1. Okamura H. Mix Design for Self-Compacting Concrete / H. Okamura, K. Ozawa // Concrete Library of JSCE. – 1995. – № 25. – P. 107-120.

2. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use // SCC European Project Group, May 2005. – 63 p.

3. Collepardi M. Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC / M. Collepardi //Proceedings of the Workshop on New Technologies and Materials in Civil Engineering. – Milan, Italy, 2003. – P. 1-8.

4. Collepardi M. Self-Compacting concrete: what is new? / M. Collepardi // Proceedings of Seventh CANMET/ACI Intern. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures In Concrete (20-24 October 2003). – Berlin, Germany. – P. 1-16.

5. Influence of Amorphous Colloidal Silica on the Properties of Self-Compacting Concretes / M. Collepardi, J.J. Ogoumah Olagot, U. Skarp, R. Troli // Challenges in Concrete Construction – Innovations and Developments in Concrete Materials and Construction : Proceedings of the Intern. Conf. (9-11 September 2002). – Dundee, Scotland, UK. – P. 473-483.

Научное издание

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Материалы

Международной научно-практической конференции

(г. Воронеж, 6-8 декабря 2018 г.)

ФГБОУ ВО “Воронежский государственный технический университет”

394026 Воронеж, Московский просп., 14