

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ

Сборник

материалов докладов и сообщений
студенческой научно-практической конференции
22 мая 2025 года



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ

*Сборник материалов докладов и сообщений
студенческой научно-практической конференции
22 мая 2025 года*

Севастополь
2025

УДК 621.31(063)+504.06(063)
ББК 20.1я73
С568

Редакционная коллегия:

Ф.А. Губарев – д-р техн. наук, профессор кафедры ЭСКТВИ
В.Е. Губин – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой ЭСКТВИ
М.Р. Найдук – зам. директора ИЯЭиП по учебной и научной работе
К.Б. Матузаев – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой ЯЭУ
А.А. Скидан – канд. техн. наук, профессор кафедры ЯЭУ
В.М. Завьялов – д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой ЭСАС
Е.А. Магдыч – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой ХиХТ
Г.В. Кучерик – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой РЭиЭБ

С568 **Современные проблемы энергетики и экологии:** сборник материалов докладов и сообщений студенческой научно-практической конференции 22 мая 2025 года / Редакционная коллегия: В.Е. Губин [и др.]; под общей редакцией Ю. А. Омельчук. – Севастополь: СевГУ, 2025. – 196 с.: ил. – Текст: электронный.

Представлены материалы докладов и сообщений студенческой научно-практической конференции студенческого научного общества Института ядерной энергии и промышленности, которая состоялась в мае 2025 года. Сборник предназначен для всех интересующихся проблемами энергетики и экологии.

УДК 621.31(063)+504.06(063)
ББК 20.1я73

Рекомендован к изданию на заседании кафедры ЭСКТВИ, протокол № 7/25 от 28 мая 2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА	6
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ	7
Д.А. Калашник, М.А. Жучков, Д.А. Лагутин	7
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 10/6/0,4 КВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗОНАХ КРЫМА И СЕВАСТОПОЛЯ	12
Е.П. Кузнецов, Д.В. Баранов, Н.М. Шайтор	12
ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ НЕАВТОМАТИЧЕСКИХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ В СЕТИ 10 КВ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММЕ GEOPROJECT	16
Р.Р. Махмутов	16
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯРКОСТИ ГОРЕНИЯ	20
Д.С. Чимирис, Р.Д. Гончаров, Л.Ю. Давыдова, Ф.А. Губарев	20
ВИДЫ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ	25
Ю.Р. Бондаренко, А.Д. Кузьменко	25
РЕГУЛИРОВАНИЕ ПЕРЕТОКОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕТИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФАЗОПОВОРОТНОГО КОМПЛЕКСА	30
С.А. Ситников, Н.М. Шайтор, И.А. Ситников	30
ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ	34
Б.А. Андреев, М.М. Захаров, А.А. Лавренчук, М.Ю. Сперанский	34
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ РЕГУЛИРУЕМЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	38
М.В. Пухальский	38
СОЛНЕЧНЫЕ УСТАНОВКИ	41
Е.М. Скрипник, В.В. Кувшинов	41
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ДЕМОНСТРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ «ЛЕСТНИЦА ИАКОВА»	47
Н.Д. Кульментьев, И.И. Ковалев, М.В. Фадеев.	47
ПЛАЗМЕННЫЙ СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ	52
И.С. Колесников, И.А. Лапшин, А.А. Лавренчук, М.Ю. Сперанский, Ф.А. Губарев	52
КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УСЛОВИЯ ИНИЦИАЦИИ И УСТОЙЧИВОСТИ ГОРЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ	55
К.И. Стеценко, П.Д. Залевский, В.Д. Мелентьев	55
РАЗМЕЩЕНИЕ СЕКЦИОНИРУЮЩИХ ЛИНЕЙНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ В СЕТИ 10 КВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	58
Н.А. Годов	58

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ НА ЭНЕРГОСИСТЕМУ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ	62
А.А. Потоцкий, И.А. Пятаков, А.С. Сверчков	62
ВЫЯВЛЕНИЕ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ	67
Пантюхова Н.Н., Углова М.Б., Гайдук С.В.	67
СОЛНЕЧНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ	76
Я.А.Раскосов, Р.В Павлика, Р.У. Хатипов, М.А. Хиясединов	76
РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕТОВОДОВ	81
Я.А. Раскосов, А.И. Струков, Б.А. Якимович	81
ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА ПО ЮГУ РОССИИ	85
А.И. Струков, Я.А. Раскосов, В.В. Кувшинов	85
ТРЕХКОМПОНЕНТНАЯ ЛАЗЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАССЕЯНИЯ СВЕТА НА ТОНКИХ ПЛЕНКАХ	89
М.Р. Мыкал, А. Г. Сухоруков, Д. С. Чимириш, Б. С. Мельниченко, В.А. Нурзай, Ф.А. Губарев	89
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ И ПОЛУПРОВОДНИКОВ	95
Е.В. Мирошниченко, О.В. Матузаева, П.А. Корпач, А.С. Хоружий, А.В. Кунчев	95
ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЧРП НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ	101
К.А. Дворецкий, Ю.А. Майорова	101
ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	104
ЯДЕРНЫЕ РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ	105
М. А. Дягилев, А. Н. Фролова	105
ТРАНСПОРТИРОВКА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ К МЕСТУ ЗАХОРОНЕНИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, БЕЗОПАСНОСТЬ И МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ	111
С.А. Полехин, И.А. Линьков, Д.М. Ретунский, А.В. Губин	111
МИРОВОЙ ОПЫТ В ОБРАЩЕНИИ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ	117
А.В. Никоненко, Д.В. Котлов, М.В. Буренков	117
РОЛЬ ГАЗООХЛАЖДАЕМЫХ РЕАКТОРОВ В РАЗВИТИИ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЕЁ РАЗВИТИЯ.	123
Н.Д. Рыжов, А.В. Ковалев	123
АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОТКРЫТОГО И ЗАКРЫТОГО ЯДЕРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЦИКЛОВ	128
Павлова И.А., Губин А.В.	128
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ И СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ	133
И.А. Лапшин, И.С. Колесников, А.В. Губин	133
ИНЖЕНЕРНЫЕ НАУКИ	139
РАЗВИТИЕ АНАЭРОБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОДВОДНЫХ ЛОДОК	140
Р.И. Алехин, В.В. Матковский	140

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И МЕХАНИЗМОВ В МАШИННОМ ОТДЕЛЕНИИ	145
Я.В. Оводов, К.А. Остролуцкий	145
ОСОБЕННОСТИ ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВЫХ КОМПЛЕКСОВ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ	148
М.В. Киселев, А.Н. Гулевич	148
АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	156
Г.Б. Григоренко, А.В. Губин	156
АЛЕКСАНДР СТЕПАНОВИЧ ПОПОВ И СЕВАСТОПОЛЬ: ОТ ИСКРОВОГО ТЕЛЕГРАФА К БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ	161
А.Н. Хакимов	161
ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ	164
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ВОЛЬФРАМА НА УДАРНУЮ ПРОЧНОСТЬ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ КАОЛИНОВОЙ ГЛИНЫ	165
А.А. Кушнер	165
ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ ГЛЮКОНАТА НАТРИЯ С ИОНАМИ ЖЕЛЕЗА И МЕДИ	169
Д.Н. Подгорная, Э.В. Ткаченко	169
ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД Г. ЯЛТА	172
А.Н. Синельник, С.А. Федорова	172
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МИЦЕЛЛООБРАЗОВАНИЯ ЛАУРИЛСУЛЬФАТА НАТРИЯ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИМ И СТАЛАГМОМЕТРИЧЕСКИМ (МЕТОД СЧЕТА КАПЕЛЬ) МЕТОДАМИ	176
М.Е. Миронова, О.В. Ведищева	176
ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ПЕСКА, ЗАГРЯЗНЕННОГО МАЗУТОМ РЕАГЕНТОМ ФЕНТОНА	180
С.Д. Кустова, О.В. Ворник	180
ИЗУЧЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ГЛЮКОНАТА НАТРИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ОТ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ	185
Р.А. Чобанян, Э.В. Ткаченко	185
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО WO_3 ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ	188
З.П. Бастаева, С.А. Федорова	188
ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ	192
ОТКЛИК СРЕДИЗЕМНОМОРСКОЙ МИДИИ <i>MYTILUS GALLOPROVINCIALIS</i> LAMARCK, 1819 НА НЕФТЯНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ	193
С.В. Мороз	193

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Д.А. Калашник, М.А. Жучков, Д.А. Лагутин

На сегодняшний день область применения электричества широка и включает в себя многие отрасли хозяйства и промышленности. Разумеется, что без понимания того, как устроено электрическое поле, а в частности, электростатическое невозможно обойтись в электротехнике, электротехнических материалах, элементах релейной защиты и автоматики и т.д. В данной работе предложен один из вариантов моделирования электростатического поля, основанный на методе слабопроводящей пластины

Введение

Электрический заряд создает в окружающем пространстве поле – особую форму материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между электрическими зарядами. Электрический заряд – физическое свойство элементарной заряженной частицы оказывать силовое воздействие на другую заряженную частицу. Пространство, в котором есть электрическое поле, является областью проявления электрических сил. *Электростатическое поле* каждой точке характеризуется значениями *напряженности* и *потенциала* φ , которые являются силовой и энергетической характеристиками поля в данной точке.

Электрическое поле можно изобразить графически с помощью силовых линий. *Силовая линия* – это линия, касательная к которой в каждой точке совпадает с вектором напряженности электрического поля. Силовые линии не пересекаются, так как напряженность поля в каждой точке имеет одно определенное направление. Силовые линии всегда незамкнуты: начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных зарядах (или на бесконечности). Эти линии имеют определенную густоту, которая зависит от напряженности, то есть густота линий тем больше, чем больше напряженность, то есть напряженность поля прямо пропорциональна количеству силовых линий, проходящих через площадку единичной площади, расположенную перпендикулярно линиям. Для графического изображения поля можно использовать либо силовые линии, либо эквипотенциальные поверхности. *Эквипотенциальной поверхностью* называют геометрическое место точек одинакового потенциала.

На рис. 1 показаны силовые (сплошные) и эквипотенциальные (пунктирные) линии электростатического поля, созданного заряженной плоскостью и заряженной сферой. Эквипотенциальные линии изображены в сечении эквипотенциальных поверхностей плоскостью чертежа. Эквипотенциальные поверхности проводят с одинаковым шагом $\Delta\varphi$. Как и силовые линии, они не пересекаются, так как каждой точке поля соответствует только одно значение φ .

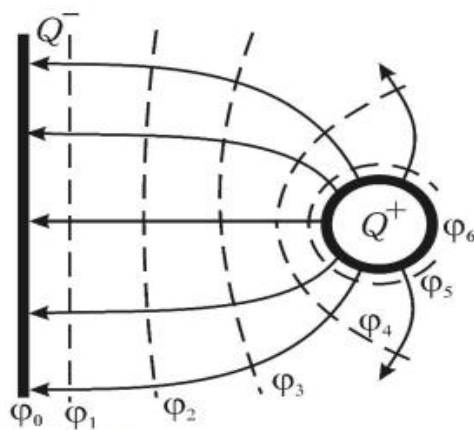


Рис. 1. Картина эквипотенциальных
и силовых линий

Перемещение заряда вдоль эквипотенциальной поверхности не требует совершения работы: $A = q \cdot \Delta\varphi = 0$, так как $\Delta\varphi = 0$. С другой стороны элементарная работа dA на силу F на элементарном перемещении dl

$$A = \int_1^2 F \cdot dl \cdot \cos\alpha, \quad (1)$$

откуда следует, что при $F \neq 0$ и $dl \neq 0$ величина $\cos\alpha = 0$.

Это означает, что действующая на заряд сила перпендикулярна перемещению вдоль поверхности равного потенциала. Следовательно, силовые линии перпендикулярны любой эквипотенциальной поверхности.

Связь потенциала с напряженностью поля в данной точке выражается соотношением:

$$\vec{E} = -\text{grad } \varphi \quad (2)$$

$$\text{grad } \varphi = \frac{d\varphi}{dx} \vec{i} + \frac{d\varphi}{dy} \vec{j} + \frac{d\varphi}{dz} \vec{k} \quad (3)$$

Градиент функции $\varphi(x, y, z)$ есть вектор, направленный в сторону максимального возрастания этой функции, модуль которого равен производной функции φ по тому же направлению:

$$\text{grad } \varphi = \frac{d\varphi}{dn} \vec{n}, \quad (4)$$

где $\vec{n}$ – единичная нормаль к эквипотенциальной поверхности.

Таким образом, из выражений связи потенциала с напряженностью и градиента потенциала следует, что *вектор напряженности* электростатического поля в каждой точке численно равен скорости изменения потенциала вдоль силовой линии и направлен в сторону убывания потенциала:

$$\vec{E} = \frac{d\varphi}{dn} \vec{n} \quad (5)$$

Цель работы

Построение картины силовых линий и эквипотенциальных поверхностей исследуемого электростатического поля, определение напряженностей исследуемой точки поля

Метод исследования поля

При конструировании многих электронных приборов требуется изучение электростатического поля в пространстве, заключенном между электродами. Изучить поле – это значит определить в каждой его точке значения E и φ . Теоретический расчет E и φ возможен лишь в случае создания полей электродами простой конфигурации. Сложные электростатические поля исследуют экспериментально. Для изучения полей используют экспериментальные методы их моделирования. Один из них основан на применении слабопроводящей пластины с электродами. Электростатическое поле заменяют электрическим полем, в котором на электроды подают такие же потенциалы, как и в моделируемом поле.

Несмотря на движение заряженных частиц, плотность зарядов на электродах постоянна, так как на место зарядов, уходящих по слабопроводящей пластинке, непрерывно поступают новые заряды. Поэтому электрические заряды электродов создают в пространстве такое же электрическое поле, как и неподвижные заряды той же плотности, а поверхности *электродов* являются *эквипотенциальными поверхностями*. Использование пластины позволяет применять токоизмерительные приборы, более простые и надежные в работе, чем электростатические. При исследовании поля находим положение силовых линий, используя для измерения потенциалов точек поля метод зонда. Электрический зонд представляет собой остроконечный проводник, который помещают в ту точку, где нужно измерить потенциал. В проводящей среде потенциал зонда равен потенциалу исследуемой точки поля. Полученная картина силовых линий исследуемого поля позволяет провести эквипотенциальные поверхности (ортогонально силовым линиям) и вычислить значение напряженности E в любой точке по формуле (5), как среднее значение на участке длины Δn :

$$E \approx - \left| \frac{\Delta \varphi}{\Delta n} \right| = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\Delta n} \quad (6)$$

где φ_1 и φ_2 — потенциалы соседних эквипотенциальных поверхностей, Δn — кратчайшее расстояние между ними (по нормали).

В настоящей работе для изучения электростатического поля используют *метод слабопроводящей пластины*

В этой работе электростатическое поле сложное, которое создается двумя электродами сферической формы, на которые подается одинаковое напряжение

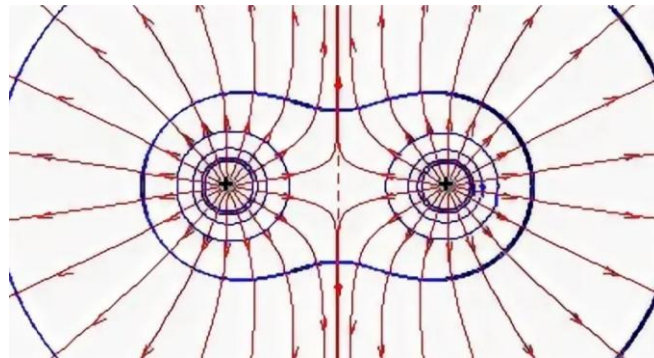


Рис. 2. Теоретическая модель электростатического поля двух одноименных зарядов

Описание установки

Для исследования электростатического поля собирают электрическую цепь по схеме, представленной на рис. 2. Если зонд 3 поместить в произвольную точку пластины 5, то стрелочный вольтметр 1 покажет значение потенциала поля в этой точке. Совокупность точек исследуемого поля с таким же значением потенциала образует силовую линию.

Выполнение измерений

1. На лист миллиметровой бумаги нанесите контуры электродов (в натуральную величину) и координатную сетку, идентичную имеющейся на установке.

2. Соберите электрическую схему, показанную на рис. 3, подключив входы блока моделирования полей согласно рис. 4.

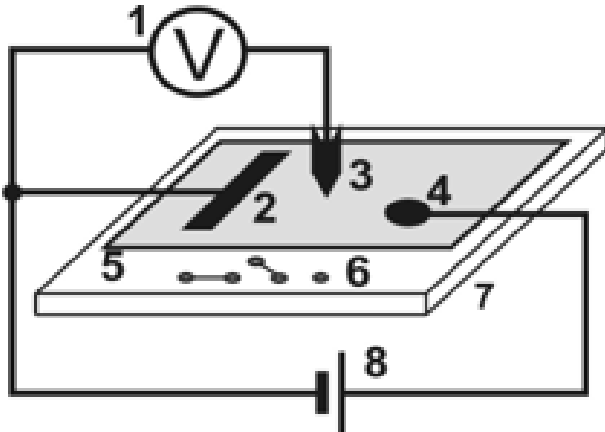


Рис. 3. Электрическая схема исследования электростатического поля:

1 – стрелочный вольтметр;

2, 4 – электроды;

3 – зонд;

5 – слабоводящая пластина;

6 – входы для подключения блока моделирования полей (рис. 3);

7 – блок моделирования полей;

8 – регулируемый источник постоянного напряжения «0...+15 В»

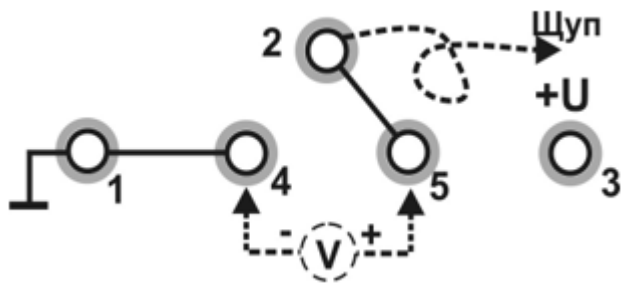


Рис. 4. Входы для подключения блока моделирования полей:

1, 3 – входы для подключения регулируемого источника постоянного напряжения «0...+15В»;

2 – вход для подключения зонда;

4, 5 – входы для подключения стрелочного вольтметра.

3. Включите кнопкой «Сеть» питание блока генераторов напряжения. Нажмите кнопку «Исходная установка».

4. Кнопками установки напряжения «0...+15 В» установите потенциал обоих электродов. Проверьте потенциалы обоих электродов с помощью вольтметра, касаясь их строго перпендикулярно к плоскости слабоводящей пластины

5. Выберите такой шаг измерения потенциала зонда $\Delta\varphi$, чтобы на картине поля можно было построить N эквипотенциальных линий.

$$\Delta\varphi = \frac{\varphi}{N + 1}$$

6. Перемещая зонд по всему полю, определите координаты не менее одиннадцати точек для каждой силовой линии имеющих тоже значение потенциала, и нанесите их на миллиметровку.

7. Соедините точки одинакового потенциала плавной линией. На картине поля укажите значение потенциала данной линии.

8. Проведите измерения по пп. 7, 8 для каждой поверхности равного потенциала φ_i

Выводы

Исследование электростатического поля методом моделирования с использованием слабопроводящей пластины позволило успешно визуализировать распределение потенциала и напряженности электрического поля между электродами сферической формы. Проведенный эксперимент подтвердил теоретические представления о структуре электростатического поля и продемонстрировал возможность эффективного изучения полей сложной конфигурации.

В дальнейшем эта работа может быть использована, чтобы провести экспериментальные работы для студентов технических специальностей, так как тема «Электростатика» как раздел физики изучается во всех технических вузах.

Список использованных источников

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1989. – §§ 13.3, 13.4, 14.1.
2. Калашников С.Г. Электричество. – М.: Наука, 1977. – §§ 8, 9, 13, 19, 20, 62
3. М.К. Авакян. Оптимизация режима питающей сети по напряжению, реактивной мощности и коэффициентам трансформации // Юго-Западный государственный университет – 2015.
4. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина – Главная редакция физико-математической литературы: Изд-во «Наука», 1973

УДК 620.92

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 10/6/0,4 КВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗОНАХ КРЫМА И СЕВАСТОПОЛЯ

Е.П. Кузнецов, Д.В. Баранов, Н.М. Шайтор

Значительная часть сетей 10/6/0,4 кВ предназначена для застроенных сельских территорий и садовых некоммерческих товариществ, которые представляют собой современную форму существовавших ранее земель сельскохозяйственного назначения. В настоящее время они превратились в пригородные зоны с современными жилыми коттеджами, энергоснабжение которых осуществляется в основном от электрических сетей. Как правило, эти сети созданы свыше 20-30 лет назад, морально и физически устарели. Мощность этих сетей обычно является недостаточной для обеспечения энергоснабжения и других потребностей, связанных с использованием современного бытового оборудования. Поэтому актуально проектирование, полная реконструкция сетей или их монтаж «с нуля», с применением современных технологий.

Введение

Как правило, подключение к электросетям современного жилого комплекса требует проведение масштабных работ. Они включают в себя согласование выделения необходимого резерва мощности, а также установку магистральной силовой линии с учетом особенностей местности, в которой проводятся работы. При наличии старых трансформаторных и распределительных подстанций производится их замена на более мощные, обеспечивающие требуемые характеристики электроэнергии для отдельных объектов электропотребления.

Проект электроснабжения предусматривает обновление распределительной сети, с учетом требований надежности и безопасности. Для этого замене подвергаются не только кабельные и воздушные линии, но и вводные распределительные устройства, средства учёта отпущенной электроэнергии, обеспечения защиты от её утечки и ограничения токов короткого замыкания. На завершающем этапе проводится комплексная проверка, которая является основанием для допуска к эксплуатации.

Цель работы

Целью работы является анализ технологий проектирования современных систем электроснабжения с выработкой перспективных эффективных решений для применения в условиях опережающего роста электропотребления в Крыму и в г. Севастополе.

Требования и алгоритмы проектирования электрических сетей 10/6/0,4 кВ

Общие требования к проектированию электрических сетей направлены на повышение эффективности, которая включает в себя надёжность, ремонтпригодность, экономичность и другие показатели. Повышение надёжности достигают за счёт предотвращения поставок подстанций и комплектующих, не соответствующих современным требованиям стандартов и нормативно-технической документации. Снижение потерь, улучшение качества электроэнергии, улучшение эксплуатационной надёжности и безопасности наряду с повышением квалификации персонала так же направлены на повышение эффективности проектируемых электрических сетей [1-2].

Алгоритм проектирования электрических сетей 10/6/0,4 кВ состоит из следующих этапов:

1. Анализ существующей сети энергосистемы объекта с точки зрения загрузки, условий регулирования напряжения, выявления «узких» мест.
2. Определение электрических нагрузок потребителей и составление балансов активной мощности по отдельным подстанциям и энергоузлам, обоснование сооружения новых подстанций и линий электропередачи.
3. Выбор расчётных режимов работы электростанций, если к рассматриваемой сети присоединены электростанции, и определение загрузки проектируемой электрической сети.
4. Электрические расчёты различных режимов работы сети и обоснование схем построения сети на рассматриваемые расчётные уровни.
5. Составление баланса реактивной мощности и выявление условий регулирования напряжения в сети, обоснование пунктов размещения компенсирующих устройств, их типов и мощности.
6. Расчёты токов короткого замыкания в проектируемой сети и установление требований к отключающей способности коммутационной аппаратуры, разработка предложений по ограничению токов короткого замыкания.
7. Выбор и обоснование количества, мощности и мест установки дугогасящих реакторов для компенсации ёмкостных токов.
8. Сводные данные по намеченному объёму развития электрической сети, натуральные и стоимостные показатели, очередность развития.

При проектировании рекомендуется использовать сертифицированные системы автоматизированного проектирования и программно-технические комплексы [3].

Некоторые особенности реализации современных проектов сетей 0,4 кВ

В настоящее время при реализации проектов в сетях до 1000В отказались от использования проходных фарфоровых и стеклянных изоляторов на опорах. Современное оборудование ВЛ до 1000В включает поддерживающие, анкерные, и прокалывающие зажимы (Рис. 1). Анкерные зажимы представляют собой механизм в корпусе, внутри которого установлена подвижная фиксирующая деталь. Провод укладывается в зажим, затем затягивается подвижным механизмом и надёжно фиксируется. Для установки таких зажимов используется специальный кронштейн, крепящийся на опору. Для поддержки кабелей используют поддерживающие зажимы. Их установка производится по всей длине кабеля через определённый интервал. Они представляют собой крюк, с болтовым соединением или без него. Для соединения алюминиевых СИП с медными кабелями для ввода электричества в дом применяют прокалывающие зажимы. Их преимущество в том, что провод не нужно зачищать от изоляции, а также отключать магистральную линию от электричества при выполнении работ. Также для монтажа проводов СИП используют кронштейны для крепления на опоре с одной стороны и на стене дома с другой стороны [4]. При реализации современных проектов используют счетчики энергии, которые относятся к сплит-системам, так как модуль измерения и модуль отображения информации выполнены раздельно. Модуль отображения (дисплей) совмещён с пультом управления и применяется пользователем для контроля текущих показаний. Его включают в работу при наведении на счётчик, расположенный на опоре электропередачи, и нажатии на кнопку «ОК», с расстояния не более 25 метров.

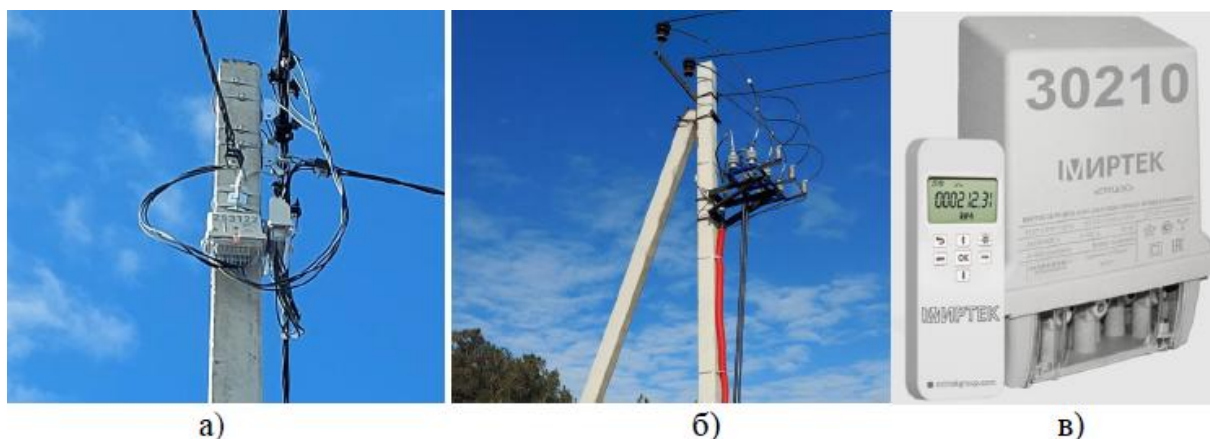


Рис. 1. Элементы воздушных линий электрических сетей 6/0,4 кВ:
 а) опора сети 0,4 кВ с измеряющим модулем, кронштейнами и проколами;
 б) опора сети 6 кВ с проходными изоляторами и разъединителями;
 в) сплит-счетчик с пультом управления и измеряющим модулем

Сам сплит-счетчик (измеряющий модуль) имеет уличное исполнение, гарантирует защиту от хищения электроэнергии, предназначен для крепления на верхушках опор или на проводах. Он может измерять и фиксировать порядка 50-ти параметров и имеет в своем составе средства для передачи данных как на дисплей пульта управления, так и в устройство сбора и передачи информации (УСПД). Это может быть PLC интерфейс для передачи данных по силовой сети в пределах одной трансформаторной подстанции. При дальних передачах и централизованном сборе данных УСПД для расчета платы за энергоресурс используют RF-передачи по радиоканалу [5].

Проектирование электроснабжения автономных и энергодефицитных районов

При отсутствии электрических сетей или при ограничениях поставляемой мощности существует несколько технологий проектирования систем электроснабжения сельских районов. Это возобновляемые источники энергии (ВИЭ), энергосберегающие технологии, аккумуляторные системы хранения энергии, малые локальные электростанции и автоматизация сельских электрических сетей.

К ВИЭ относятся солнечные батареи и ветрогенераторы, которые обеспечивают электроэнергией удалённые или энергодефицитные районы. Энергосберегающие технологии включают в себя установку энергоэффективных приборов, применение технологий «умного дома» и систем управления нагрузкой, которые снижают нагрузку на сеть и уменьшают общие затраты на электроснабжение.

Аккумуляторные системы хранения электроэнергии состоят из современных литий-ионных аккумуляторов, обеспечивающих энергонезависимость в периоды падения выработки ВИЭ. Малые локальные электростанции, которые работают на биомассе или природном газе, могут обеспечить не только электрическую, но и тепловую энергию, что особенно актуально в отапливаемый период.

Для автоматизации электрических сетей применяют цифровые технологии, совершенствуют релейную защиту, используют автоматику повторного включения, включения резерва, секционирования сети. Таким образом, инструментов для эффективного электроснабжения и уменьшения потерь достаточно, однако ограничение вариантов, как правило, связано с финансовыми или юридическими затруднениями [4].

Выводы

Опережающий рост энергопотребления требует периодической модернизации сельских электрических сетей 10/6/0,4 кВ, предусматривающих обоснованный резерв на развитие мощностей. Эффективным средством своевременного обеспечения энергоснабжением и снижения потерь энергии является заблаговременное и профессиональное проектирование, выполненное лицензированной организацией, а также применение цифровых технологий и сплит-систем учёта электрической энергии.

После модернизации с заменой подстанции на более мощную и современную, сельские сети энергоснабжения 10/6/0,4 кВ по надёжности и качеству электроэнергии могут быть сопоставимы с городскими электрическими сетями. Автономные и энергодефицитные районы рекомендуется дополнять типовыми проектами систем распределённой генерации с использованием ВИЭ, с учётом конкретных условий и пропускной способности местных сетей электроснабжения при их наличии.

Список использованных источников

1. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений / Т.В. Анчарова, Е.Д. Стебунова, М.А. Рашевская. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. - 416 с.
2. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: ЭНАС, 2012. - 376 с.
3. Кашкаров, А.П. Автономное электроснабжение частного дома / А.П. Кашкаров. - РнД: Феникс, 2015. - 140 с.
4. Кобец, Б. Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции SmartGrid : моногр. / Б. Б. Кобец, И. О. Волкова. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
5. Оперативное управление в энергосистемах: учеб. пособие/ Е.В. Калентионюк, В.Г. Прокопенко, В.Т. Федин; под общ. ред. В.Т. Федина. - Минск: Выш. шк., 2007. - 351 с.

УДК 621.3.051

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ НЕАВТОМАТИЧЕСКИХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ В СЕТИ 10 КВ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММЕ GEOPROJECT

Р.Р. Махмутов

Введение

Повышение надежности электроснабжения потребителей в сети 10 кВ можно осуществить за счёт правильной установки неавтоматических коммутационных аппаратов. Для этого предлагается модернизация топологии в программном комплексе.

Цель работы

Целью данной работы является повешение надёжности электроснабжения потребителей электроэнергии в сети 10 кВ за счёт:

1. Выбора коммутационных устройств;
2. Расстановки их на геоподложе в программном комплексе GeoProject;
3. Оптимизация их расположения, и достижение эффективных показателей надёжности.

Программный комплекс

Программный комплекс GeoProject (GP), разработанный для использования компанией ТавридаЭлектрик, предназначен для выполнения проектов комплексной модернизации распределительных сетей классов напряжения 10 кВ.

GP позволяет создавать модели существующей сети и выполнять проекты её модернизации, направленные на достижение требуемых параметров надёжности, нагрузочных потерь, качества и доступности электроснабжения.

Таким образом, GP предназначен для моделирования распределительных сетей напряжением 10 кВ с географической привязкой с целью расчета основных параметров сети, необходимых для анализа и прогнозирования надёжности, нагрузочных потерь, качества и доступности электроснабжения.

Основным функционалом GP является:

- построение пространственных характеристик параметров сети;
- определение оптимальных мест расположения делительных аппаратов;
- автоматическое создание резервных схем электроснабжения при возникновении аварии в различных точках сети.

Отрисовка топологии является первым этапом создания модели AS IS (как есть). На этапе отрисовки топологии в модель сети наносятся на карту местности и именуются подстанции, диспетчерские пункты, распределительные пункты, закрытые трансформаторные

подстанции, трансформаторные подстанции наружной установки, опоры и линейные коммутационные аппараты. Между собой объекты соединяются шлейфом, последовательностью анкерных пролетов или кабельной линией.

Существует несколько подходов к модернизации сети. Традиционный подход фокусируется на повышении надежности отдельных элементов, но требует значительных затрат и усложняет управление. Автокластерный подход обеспечивает системную надежность за счет деления сети на автоматизированные кластеры, что улучшает потребительские свойства сети. Этот метод соответствует стратегии «Цифровая трансформация 2030» и использует интеллектуальные технологии для оптимизации работы сети.

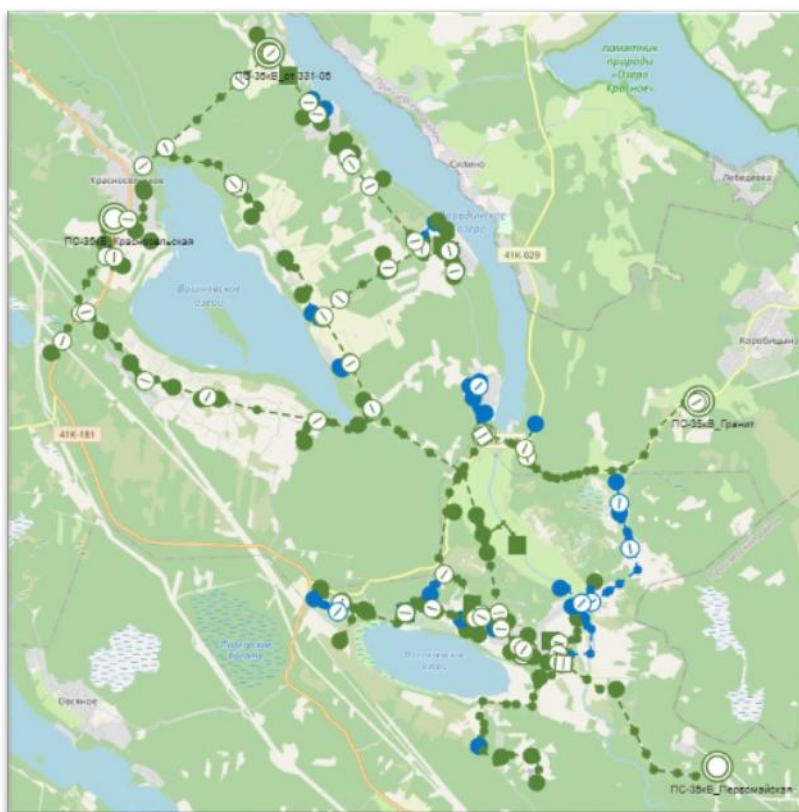
Основные принципы определения оптимальных мест установки неавтоматических коммутационных аппаратов. Наиболее эффективным способом повысить надежность электроснабжения потребителей является линейное секционирование, представляющее собой установку в сети автоматических и неавтоматических КА. После автоматической переконфигурации сети, неавтоматические КА позволяют дополнительно локализовать повреждение на меньшем участке сети, обеспечив питание потребителей неповреждённых участков сети на время ремонта. Расстановка неавтоматических КА осуществляется для каждого участка между автоматическими КА.

Последовательность расстановки неавтоматических коммутационных аппаратов:

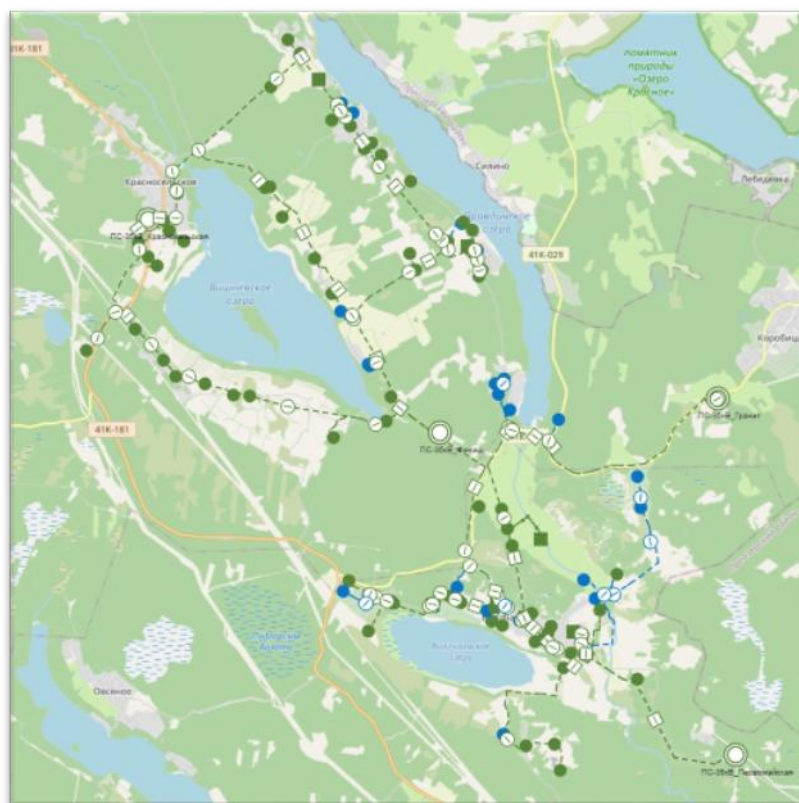
1. Установка неавтоматических коммутационных аппаратов на границах балансовой принадлежности сети с абонентами
2. Установка неавтоматических коммутационных аппаратов на переходах ВЛ-КЛ
3. Определение оптимального количества неавтоматических коммутационных аппаратов на участке между автоматическими коммутационными аппаратами
4. Определение оптимальных мест установки неавтоматических коммутационных аппаратов на участке между автоматическими коммутационными аппаратами

Модернизация распределительной сети с применением неавтоматических коммутационных устройств

В GP была создана модель AS IS и AS TO BE (как будет) для «Рошинский РЭС», и получены основные показатели качества, доступности и надежности для двух сценариев. В качестве модели AS TO BE был использован автокластерный сценарий модернизации. Оба варианта моделей представлены на рисунке 1.



а



б

Рисунок 1 – Модель сети
а) AS IS, б) AS TO BE

С помощью GP получены показатели количества (SAIFI) и длительности (SAIDI) отключений в год, нагрузочные потери (ΔP), недоотпуск электроэнергии (W_{HO}), минимальное напряжение всей сети ($U_{мин}$), максимальный ток нагрузки ($I_{макс\%}$). ПО полученным данным произведён расчёт инвестиций и критерий эффективности.

Полученные ключевые показатели сведены в таблицу, и представлены ниже.

Таблица 1 – Сводная таблица сети AS IS и разработанного сценария.

	AS IS	Автокластерный
SAIFI, откл/год	1,07	0,28
SAIDI, ч/год	1,72	0,36
W_{HO} , кВт*ч/год	8376	2223
ΔP , кВт	138,49	90,97
$U_{мин}$, кВ	9,53	9,6
$I_{макс\%}$, %	35	33
Инвестиции, млн. руб.	-	137,47
Критерий эффективности, млн. руб.	-	5,40

Выводы

Установка неавтоматических КА в сети позволяет локализовать повреждения сети на меньшем участке, чем автоматические КА, а также позволяет изолировать поврежденные участки при длительном ремонте кабельных или абонентских линий.

В результате моделирования сети в программе было определено оптимальное количество КА и их места расположения, что позволило повысить надёжность электроснабжения потребителей.

Список использованных источников

1. Луковкин Д.А., Паспортников М.В. Цифровой район электрических сетей.
2. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года // Распоряжение правительства РФ. Москва, 2020.
3. Справочник по электрическим сетям 0,4–35 кВ и 110–1150 кВ. Том 10.
4. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7 // Подготовлено ОАО «ВНИИЭ».
5. ГОСТ Р 50030.5.1–2005

УДК 551.501.793

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯРКОСТИ ГОРЕНИЯ

Д.С. Чимирис, Р.Д. Гончаров, Л.Ю. Давыдова, Ф.А. Губарев

В работе реализована методика и предложено оборудование для исследования яркости горения образцов горючих материалов на примере нанопорошка алюминия. Показано, что с помощью сконструированной установки возможно оценить изменение яркости горения в режиме реального времени. Результаты работы могут быть востребованы в оптических задачах для изучения яркости горения, для последующего использования в расчетах и анализе физики процессов.

Введение

Высокоэнергетические материалы (ВЭМ) занимают важное место в промышленности и в научных исследованиях. Их горение сопровождается значительным выделением теплоты и высокой яркостью излучения [1]. Процесс горения ВЭМ часто разделяется на этапы, протекание которых имеет свои особенности, в том числе различную интенсивность излучения [2, 3].

Одной из характеристик интенсивности горения является яркость свечения, таким образом исследование яркости свечения имеет важное значение в изучении особенностей протекания процессов. Исследование яркости свечения, как правило, применяется в сочетании с другими методами исследования. Например, в [4] изучались спектры излучения горящих образцов нанопорошка алюминия, необлученного и облученного СВЧ-излучением, а также результаты визуализации поверхности образцов с использованием регистрации в собственном свете и скоростной регистрации с использованием лазерной системы с усилением яркости и скоростной видеокамеры. Исследование яркости являлось дополнительным методом.

Температуры горения высокоэнергетических материалов на основе нано- и микропорошков алюминия достигают 3000 °С [1, 2]. Согласно закону Рэлея-Джинса, наибольшая спектральная яркость соответствует инфракрасному (ИК) диапазону длин волн. В связи с этим, для исследования яркости горения с использованием фотодиодов предпочтительно использовать фотодиоды ИК-диапазона. В Лаборатории физики быстропротекающих процессов в энергетике Института ядерной энергии и промышленности СевГУ имеется в наличии фотодиод ИК-диапазона серии PD24, модель PD24-05-AMP-ТЕС с максимальной чувствительностью 2400 нм.

Цель работы

Целью работы является разработка фотоэлектрического модуля на основе фотодиода ИК-диапазона серии PD24, модель PD24-05-AMP-ТЕС с учётом особенностей его подключения и эксплуатации, и проведение тестовых измерительных экспериментов с образцами горючих материалов для оценки изменения яркости горения в режиме реального времени.

Фотоэлектрический модуль

Фотодетектор PD24-05-AMP-ТЕС состоит из фотодиода, предусилителя, термоэлектрического охладителя (ТЭМ) и термистора для контроля температуры.

Предназначен для детектирования излучения в среднем инфракрасном диапазоне от 1 до 1,5 мкм. Диаметр светочувствительной области составляет 500 мкм. Быстрый отклик делает возможным обнаружение модулированного излучения лазерных диодов и светоизлучающих диодов. Внешний вид фотодиода, функциональная схема и назначение выводов показаны на рисунке 1 [5].

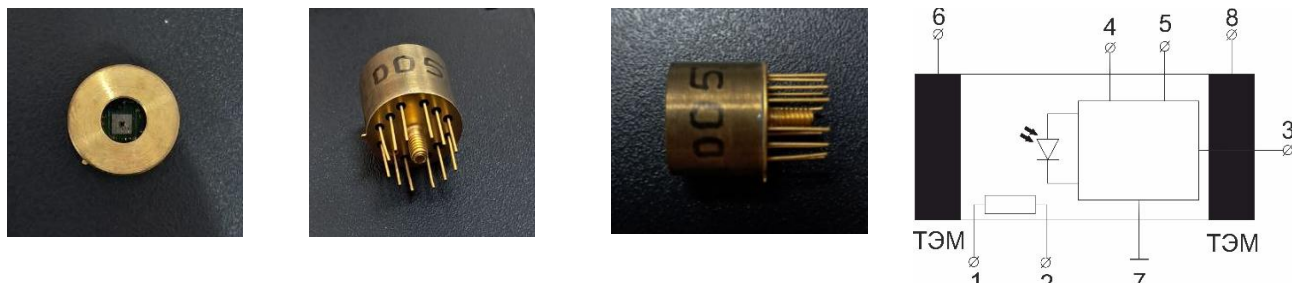


Рис. 1. Фотодетектор PD24-05-AMP-ТЕС. 1,2 – выводы термистора, 3 – выходной сигнал, 4 – питание (+5 В), 5 – питание (0 В), 6,8 – выводы термоэлектрического модуля (ТЭМ), 7 – общий вывод

Таким образом, для функционирования фотодиода его необходимо разместить на печатной плате и подать напряжение питания +5 В, обеспечить отвод тепла от термоэлектрического модуля, закрепленного на теплоотводящем винте. Так как встроенный предусилитель обладает высокой чувствительностью, то для обеспечения защиты от внешних помех всю схему следует поместить в металлический корпус.

На рисунке 2 приведена фотография разработанного фотоэлектрического модуля. В качестве корпуса использовалась стандартная алюминиевая коробка. Корпус имеет отверстие для прохождения света на фотодиод, разъем питания, разъем выхода сигнала. Отвод тепла от фотодиода осуществляется встроенным ТЭМ через теплоотводящий винт и алюминиевую пластину на корпус. Отвод тепла от микросхем питания (стабилизаторы напряжения LM7805 и AMS1084CM-3.3) также осуществляется на корпус.

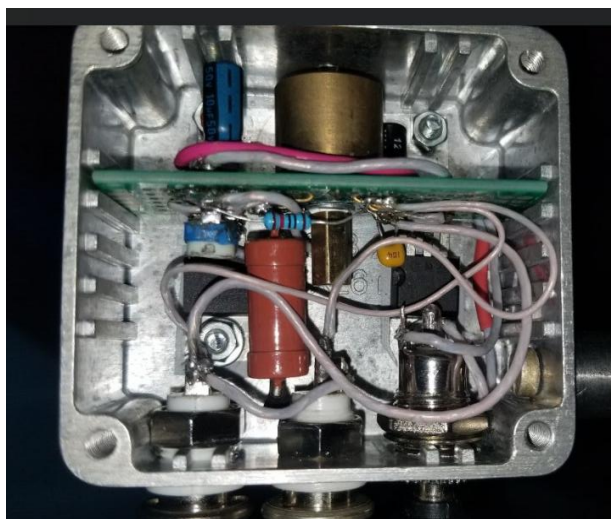


Рис. 2. Фотография термоэлектрического модуля

Лабораторная установка

Лабораторная установка, представленная на рисунке 3, состоит из двух функциональных составляющих: лазер, инициирующий горение, и измерительная часть на основе разработанного фотоэлектрического модуля.

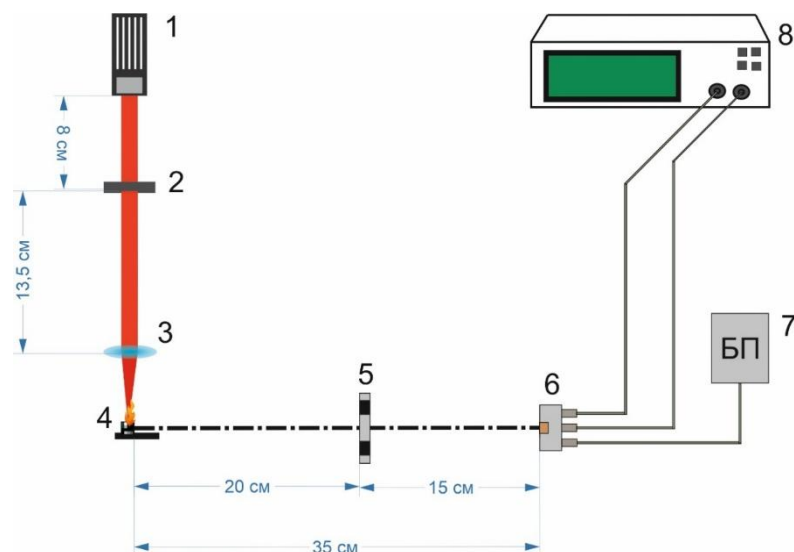


Рис. 3. Схема лабораторной установки для исследования яркости горения: 1 – лазер (Oxlasers 1W 635 nm (модель OX-MD6351F)); 2 – механический затвор; 3 – линза; 4 – объект на предметном столике; 5 – прерыватель; 6 – фотодиодный модуль; 7 – блок питания (Delux ATX-350W P4, мощность: 350 Вт); 8 – цифровой осциллограф (OWON SDS7102V)

Основными элементами инициирующей части являются твердотельный лазер 1, служащий для инициирования процесса горения образца 4, световой поток лазера фокусируется при помощи линзы 3. Для ограничения воздействия лазера на объект используется механический затвор 2. Измерение характера изменения яркости свечения горящих образцов осуществляется разработанным фотодиодным модулем 6. Фотодетектор PD24-05-AMP-ТЕС предназначен для работы с модулированным сигналом с частотой более 150 Гц. Поэтому для корректной работы был сконструирован и изготовлен методом 3D-печати прерыватель 5, вращающийся с частотой 266 Гц.

На рисунке 4 показана фотография экспериментальной установки с горящим материалом – нанопорошком алюминия. Было проведено два эксперимента с образцами размером $20 \times 5 \times 3$ мм, которые помещались на стальной предметный столик.



Рис. 4. Фотография экспериментальной установки с горящим ВЭМ

Для регистрации выходного сигнала фотодетектора PD24-05-AMP-ТЕС в работе применялся цифровой осциллограф OWON SDS7102V с полосой пропускания 100 МГц и частотой дискретизации 1 Гвыб/с, оснащённый 7-дюймовым TFT-дисплеем с разрешением 800×480 пикселей. Прибор предлагает широкий набор функций: FFT-анализ, математические

операции с сигналами, курсорные измерения и автоматическую настройку. В ходе исследования были получены данные с осциллографа, представленные на рисунке 5.

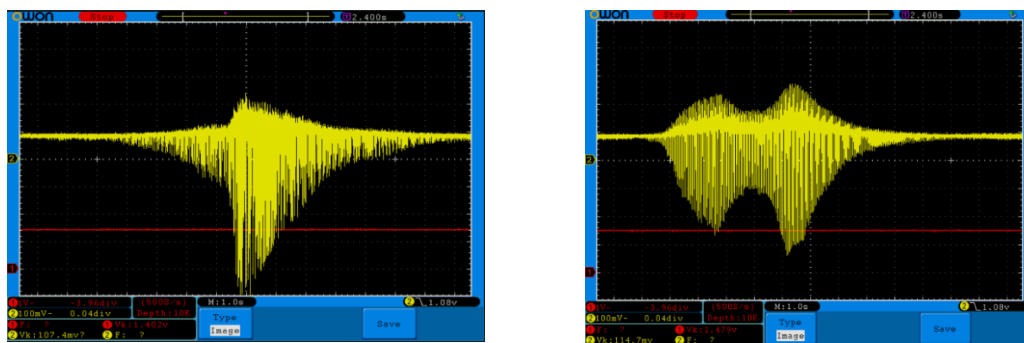


Рис. 5. Осциллограммы сигнала с фотодиодного модуля во время горения двух различных образцов ВЭМ. Желтый канал – сигнал яркости, красный канал – сигнал с термистора

Необходимо отметить, что согласно, технической документации фотодиод формирует инверсный сигнал, поэтому при анализе осциллограмм следует принимать во внимание нижнюю огибающую. Нижняя огибающая осциллограммы соответствует изменению яркости свечения образцов. Как ожидалось, осциллограммы показывают различный характер горения образцов, что соответствует визуальному наблюдению. Значительный разброс в горении нанопорошка алюминия является нормальным, что отмечалось ранее в работе [3].

Температурный режим фотодиода

Важным параметром работы установки является оптимальный температурный режим электронных устройств, в частности, фотоэлектрического модуля. В данном случае контроль температурного нагрева фотодиодного элемента осуществлялся тепловизором модели Fluke TiS20+ согласно методическим рекомендациям [4]. На рисунке 6 представлены изображения температурного поля фотодиодного модуля.

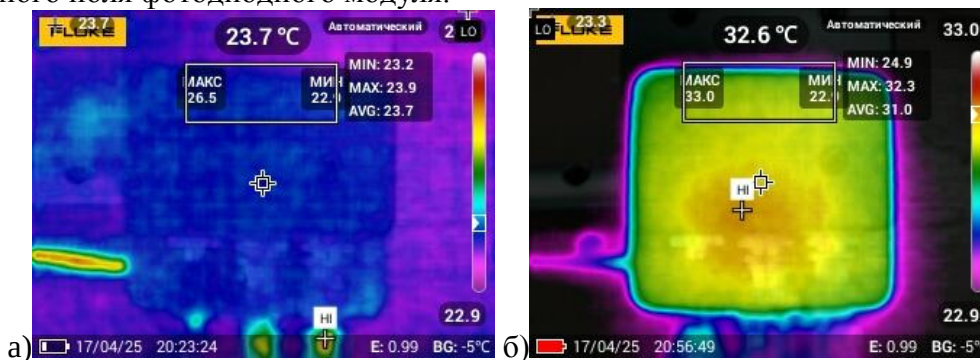


Рис. 6. Данные теплового контроля работы. а – распределение температуры корпуса сразу после включения, б – распределение температуры корпуса в установившемся режиме

Из представленных данных следует, что в установившемся режиме средняя температура корпуса в области крепления фотодиода (выделена прямоугольником) повышается на 7,3 °C после включения и составляет 31 °C. При этом максимум температуры корпуса устанавливается в области микросхем питания (красная область HI на рис. 5(б)). Это означает, что температура задней стенки, на которую выведены радиаторы фотодиода и линейных стабилизаторов напряжения повышается не из-за фотодиода, а из-за нагрева элементов питания. По напряжению термистора (красный канал на рис. 4) рассчитана температура кристалла фотодиода, которая составляет +10 °C, что соответствует требуемому режиму

работы (от 0 до +30 °С). Таким образом за счет отвода тепла термоэлектрическим модулем (элемент Пельтье) температура понижается примерно на 21 °С.

Выводы

В работе предложена методика исследования и лабораторная установка для определения яркости горения в режиме реального времени. Установка имеет устройство лазерного инициирования мощностью 1 Вт на длине волны 635 нм. В качестве горючего материала использовался нанопорошок алюминия, сформованный в образцы размером 20×5×3 мм.

Основная проблема исследования заключалась в отсутствии стандартного фотоэлектрического модуля для оценки яркости излучения. Потребовалось решить инженерную задачу по разработке данного модуля на основе имеющегося фотодиода ИК-диапазона серии PD24, модель PD24-05-AMP-ТЕС. Предлагаемое техническое решение включает компоновку устройства, схему подключения элементов и функциональную схему отвода тепла и должно обеспечить помехозащищенность и оптимальный тепловой режим работы всех элементов. Параметры теплового режима были продиагностированы в ходе экспериментальной части, и по данным тепловизионного контроля с применением Fluke TiS20+ соответствуют оптимальным значениям для установившегося режима работы фотоэлектрического модуля. Но также имела место вторая сложность при реализации исследования – фотодетектор PD24-05-AMP-ТЕС предназначен для работы с модулированным сигналом с частотой более 150 Гц, для решения этой проблемы был изготовлен прерыватель, вращающийся с частотой 266 Гц. Таким образом, основные проблемы, обусловленные конструктивными особенностями элементов, были успешно решены.

Следующим этапом работы являлось проведение тестовых измерительных экспериментов с образцами горючих материалов для оценки изменения яркости горения в режиме реального времени с использованием цифрового осциллографа OWON SDS7102V. В результате получены данные, соответствующие изменению яркости свечения образцов. Следовательно, экспериментальная установка пригодна для исследований, и с использованием представленного в работе оборудования возможно оценить изменение яркости горения в режиме реального времени.

Перспективным представляется реализация комплексного исследования яркости горения различных по своему химическому составу и свойствам горючих веществ для получения более полной картины статистических данных для последующего использования в расчетах и анализе физики процессов горения.

Список использованных источников

1. Громов А.А., Хабас Т.А., Ильин А.П., Попенко Е.М., Коротких А.Г., Архипов В.А., Дитц А.А., Строкова Ю.И., Толбанова Л.О. Горение нанопорошков металлов – Томск.: Дельтаплан, 2008. – 382 с.
2. Ильин А.П., Назаренко О.Б., Коршунов А.В., Роот Л.О. Особенности физико-химических свойств нанопорошков и наноматериалов. Учебное пособие. – Томск, ТПУ, 2012. – 196 с.
3. Li L., Mostovshchikov A.V., Ilyin A.P., Antipov P.A., Shiyarov D.V., Gubarev F.A. Imaging system with brightness amplification for a metal-nanopowder combustion study // Journal of Applied Physics. – 2020. – Vol. 127, Art. No 194503. – P. 194503-1–194503-11.
4. Губарев Ф.А. Приборы и методы исследования теплофизических процессов. Учебное пособие. – Севастополь: СевГУ, 2025. – 183 с.

ВИДЫ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Ю.Р. Бондаренко, А.Д. Кузьменко

Статья анализирует современные накопители электроэнергии: механические, химические и электрические системы, их преимущества и недостатки. Рассматриваются перспективные направления развития, включая новые материалы для батарей, водородные технологии, применение ИИ и инновационные решения (квантовые и космические накопители). Особое внимание уделено экологически устойчивым подходам и будущему автономных энергосистем.

Введение

Современная энергетика сталкивается с необходимостью эффективного накопления электроэнергии из-за роста доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как солнечные и ветровые электростанции, которые обладают непостоянной генерацией. Накопители электроэнергии (НЭ) позволяют сглаживать пики потребления, повышать надежность энергосистем и снижать потери. В данной статье рассматриваются основные виды накопителей, их принципы работы, преимущества и недостатки, а также перспективы развития технологий хранения энергии.

Цель работы

Целью данной работы является анализ современных видов накопителей электроэнергии, их принципов работы, ключевых преимуществ и недостатков, а также оценка перспектив развития технологий хранения энергии для повышения устойчивости энергосистемы.

Основные виды накопителей электроэнергии

Накопитель энергии – это устройство, которое сохраняет и выделяет энергию для использования без преобразования её вида. Все накопители энергии можно разделить по виду энергии, с помощью которого происходит хранение: механические, химические и электрические.

Самым распространённым способом промышленного хранения электроэнергии являются механические системы, в первую очередь — гидроаккумулирующие станции (ГАЭС). ГАЭС использует в своей работе либо комплекс генераторов и насосов, либо обратимые гидроэлектроагрегаты, которые способны работать как в режиме генераторов, так и в режиме насосов. Во время ночного провала энергопотребления ГАЭС получает из энергосети дешёвую электроэнергию и расходует её на перекачку воды в верхний бьеф. Во время утреннего и вечернего пиков энергопотребления ГАЭС сбрасывает воду из верхнего бьефа в нижний, вырабатывает при этом дорогую пиковую электроэнергию, которую отдаёт в энергосеть (генераторный режим).

Преимущества ГАЭС включают высокую эффективность (до 80%), большой срок службы (десяtkи лет), возможность аккумулировать большие объёмы энергии и масштабное

применение на уровне энергосистем. Они особенно эффективны в сочетании с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), такими как солнечные и ветровые станции, так как способны компенсировать суточные колебания генерации и обеспечивать стабильную подачу энергии в сеть. Основные недостатки — высокая стоимость строительства, значительное влияние на окружающую среду и требование специфического рельефа местности (наличие перепада высот и водоёмов).

Также механические системы могут осуществлять аккумуляцию энергии в виде сжатого воздуха. Накопители энергии на сжатом воздухе (CAES) работают на основе преобразования электрической энергии в сжатый воздух, а затем при необходимости — обратно. Этот процесс проходит в два этапа: этап зарядки и этап разрядки. Во время зарядки электродвигатель приводит в действие компрессор, который сжимает окружающий воздух и хранит его в герметичном резервуаре (часто — подземном). При разрядке сжатый воздух выпускается из резервуара, расширяется в турбине и приводит в действие генератор, производящий электроэнергию.

Преимуществами CAES-систем являются возможность длительного хранения энергии, использование недорогих и доступных материалов (воздух, подземные хранилища), а также высокая мощность на выходе. Их можно эффективно использовать совместно с ВИЭ — например, аккумулируя избыточную энергию от ветровых электростанций в ночное время. Однако такие системы обладают сравнительно невысоким КПД (50–70%), значительными потерями тепла, необходимостью для строительства подходящей инфраструктуры и зачастую — применением ископаемого топлива для подогрева воздуха при разрядке, что снижает экологическую эффективность.

Супермаховики — ещё один тип механических накопителей. Это твёрдые тела, которые могут вращаться вокруг своей оси с высокой угловой скоростью. Чем больше масса и радиус маховика, тем больше его момент инерции и тем больше энергии он может хранить при заданной угловой скорости. Чтобы зарядить маховик, необходимо приложить к нему вращающий момент, который увеличивает его угловую скорость. Это делается с помощью электродвигателя, преобразующего электрическую энергию в механическую. Чтобы разрядить маховик, подключается генератор, который преобразует механическую энергию вращения в электрическую и передаёт её в сеть. В составе маховичного накопителя супермаховик работает в паре с мотором-генератором: при подключении к сети мотор-генератор раскручивает супермаховик, а при подключении нагрузки — тормозит, вырабатывая электроэнергию.

Среди преимуществ супермаховиков — высокая мощность на выходе, очень быстрое время отклика (миллисекунды), большой срок службы (до миллиона циклов) и низкие эксплуатационные расходы. Они хорошо подходят для кратковременного сглаживания колебаний напряжения и частоты, особенно в микроэнергетических системах с ВИЭ. Однако их ключевые недостатки — высокая стоимость, ограниченная ёмкость накопления (малая удельная энергия) и потенциальные проблемы безопасности при разрушении маховика на высоких оборотах.

Также распространённым видом накопителей электроэнергии в современном мире являются химические системы, в первую очередь — аккумуляторные батареи. Принцип их действия основан на обратимых электрохимических реакциях, в ходе которых электрическая энергия преобразуется в химическую во время зарядки и наоборот — в процессе разрядки. Наиболее широко применяются литий-ионные аккумуляторы благодаря их высокой энергоёмкости, продолжительному сроку службы, а также высокой эффективности (до 95%). Такие батареи находят применение в бытовой электронике, электромобилях, а также в системах хранения энергии для солнечных и ветровых электростанций.

Среди преимуществ аккумуляторных батарей — компактность, быстрый отклик, высокая энергетическая плотность и относительная простота масштабирования. Однако у них имеются и недостатки: высокая стоимость (особенно литий-ионных систем), ограниченное число циклов

зарядки-разрядки, деградация материалов со временем, а также экологические риски, связанные с утилизацией и добычей редкоземельных металлов.

Другим направлением химического накопления энергии являются топливные элементы. Они преобразуют химическую энергию, содержащуюся в топливе (чаще всего — водороде), непосредственно в электрическую за счёт электрохимических реакций, без промежуточного этапа сгорания. Основным преимуществом топливных элементов является высокая экологическая чистота — при использовании водорода побочным продуктом является лишь вода. Кроме того, они обеспечивают высокую энергетическую эффективность и могут работать непрерывно при постоянной подаче топлива.

Недостатки топливных элементов включают в себя высокую стоимость компонентов (особенно платиновых катализаторов), сложность инфраструктуры для хранения и транспортировки водорода, а также сравнительно низкую плотность энергии на единицу объема по сравнению с традиционными углеводородными источниками.

К электрическим накопителям энергии относятся устройства, которые сохраняют энергию в виде электрического поля или магнитного поля, наиболее распространённые типы — конденсаторы, суперконденсаторы и сверхпроводниковые магнитные накопители энергии (SMES).

Конденсаторы — это устройства, способные быстро накапливать и отдавать энергию за счёт накопления электрического заряда на пластинах, разделённых диэлектриком. Они обладают крайне быстрым временем отклика и высокой удельной мощностью, что делает их особенно полезными в ситуациях, где требуется кратковременное, но мощное энерговыделение. Однако их основной недостаток — крайне низкая удельная энергия, что ограничивает область применения.

Суперконденсаторы (или ионисторы) представляют собой промежуточное звено между традиционными конденсаторами и аккумуляторами. Они обладают значительно большей ёмкостью по сравнению с обычными конденсаторами благодаря использованию электродов с высокой площадью поверхности и пористой структуры. Суперконденсаторы демонстрируют отличную долговечность (до миллиона циклов), высокую мощность и быстрый заряд-разряд, однако по удельной энергии пока уступают аккумуляторам.

Сверхпроводниковые магнитные накопители энергии (SMES) хранят энергию в виде магнитного поля, создаваемого током, протекающим по сверхпроводящей катушке. При этом потери энергии практически отсутствуют из-за нулевого сопротивления в сверхпроводнике. SMES-системы обеспечивают молниеносный отклик и высокую эффективность, что делает их подходящими для стабилизации напряжения и частоты в энергосетях. Главные недостатки — высокая стоимость, необходимость постоянного охлаждения до сверхнизких температур и ограниченный масштаб накопления энергии.

Перспективы развития накопителей электроэнергии

1. От лития к новым материалам: поиск альтернатив

Литий-ионные аккумуляторы доминируют, но их развитие упирается в ограниченные запасы лития, кобальта и никеля. В ближайшие 10–15 лет ожидается переход на новые типы батарей:

Натрий-ионные аккумуляторы — дешевле и доступнее литиевых, уже используются в Китае для стационарных хранилищ.

Твердотельные батареи — обещают вдвое большую энергоёмкость и безопасность (Toyota, QuantumScare планируют коммерциализацию к 2030 г.).

Металл-воздушные (цинк-воздушные, алюминий-ионные) — потенциально более емкие и дешевые, но пока нестабильны.

2. Водород как долгосрочное хранилище

Водородные технологии пока уступают по КПД (~30–40% против 80–90% у Li-ion), но могут стать основой для сезонного хранения энергии:

Зеленый водород (получаемый электролизом на ВИЭ) – ключевое направление ЕС и Китая.

Гибридные системы (водород + батареи) – например, для промышленности и дальнебойных грузоперевозок.

3. Искусственный интеллект и умные сети

Оптимизация работы накопителей – алгоритмы машинного обучения будут прогнозировать спрос и управлять зарядом/разрядом.

Виртуальные электростанции (VPP) – объединение домашних батарей, электромобилей и промышленных хранилищ в единую управляемую сеть.

4. Новые физические принципы накопления

Криогенные системы (жидкий воздух) – пилотные проекты в Великобритании и Австралии.

Суперконденсаторы с графеном – мгновенная зарядка, но пока низкая энергоемкость.

Квантовые батареи (экспериментальные) – теоретически могут заряжаться почти мгновенно.

5. Экология и экономика замкнутого цикла

Переработка аккумуляторов – до 95% материалов можно использовать повторно (Tesla, Redwood Materials).

Биоразлагаемые батареи – разработки на основе органических материалов.

6. Нейроэнергетика: накопители, управляемые ИИ

Современные системы хранения энергии требуют сложного управления для балансировки сетей. В будущем искусственный интеллект сможет:

Предсказывать пики потребления и заранее подготавливать резервы.

Автоматически торговать энергией на рынках (децентрализованные P2P-сети).

Оптимизировать износ батарей, продлевая их срок службы.

7. Распределённые микросети и "энергонет"

Локальные энергосообщества – дома с солнечными панелями и батареями будут объединяться в автономные кластеры, снижая нагрузку на центральные сети.

Блокчейн-энергетика – умные контракты для автоматических расчетов между производителями и потребителями.

8. Накопители нового поколения: от теории к практике

Термальные аккумуляторы – хранение энергии в виде тепла (расплавленная соль, кремний) с КПД до 80%.

Кинетические системы – сверхпроводящие маховики для мгновенного высвобождения энергии.

Биоэлектрохимические накопители – использование бактерий для генерации и хранения энергии (экспериментальные проекты).

9. Космическая энергетика и орбитальные накопители

С развитием космических солнечных электростанций (проекты Японии и Китая) возникнет потребность в:

Орбитальных буферных батареях – для передачи энергии на Землю лазером или СВЧ-излучением.

Лунных энергохранилищах – использование местных ресурсов (например, реголит для производства батарей).

10. Энергия из воздуха: накопители на принципе сверхпроводимости

Сверхпроводящие магнитные накопители (СПН) – уже используются в некоторых сетях (например, в Германии), но в будущем могут стать массовыми благодаря высокотемпературной сверхпроводимости.

Квантовые сверхконденсаторы – если удастся преодолеть ограничения, они смогут хранить гигантские объемы энергии в компактных устройствах.

Вывод

Накопители электроэнергии становятся ключевым элементом устойчивой энергетики, особенно в условиях роста доли возобновляемых источников. Сегодня широко применяются гидроаккумулирующие станции, литий-ионные батареи и сверхпроводниковые накопители, но у всех есть ограничения — от стоимости до экологических рисков.

Будущее этой отрасли связано с развитием новых технологий: натрий-ионных, твердотельных и металл-воздушных аккумуляторов, водородных систем, термальных и криогенных хранилищ. Параллельно с этим растёт роль искусственного интеллекта и «умных сетей», которые позволят оптимизировать использование накопителей, объединять их в виртуальные электростанции и прогнозировать энергопотребление.

Также активно развиваются экологичные и ресурсосберегающие решения — переработка батарей, биоразлагаемые материалы и замкнутые производственные циклы. Всё это формирует основу новой, гибкой и надёжной энергетической системы, способной эффективно справляться с вызовами XXI века.

Список использованных источников

1. Ихсанова А. И., Гайнутдинова А. М. Способы накопления и сохранения различных видов энергии // Аллея науки. 2017 № 5 С. 280–283.
2. Приоритетные направления, ключевые технологии и сценарии развития систем накопления энергии / Л. В. Калимуллин, Д. К. Левченко, Ю. Б. Смирнова, Е. С. Тузикова // Вестник ИГЭУ. 2019 № 1 С. 42–54.
3. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А. А. Макарова, Т. А. Митровой, В. А. Кулагина; ИНЭИ РАН – ЦЭ МШУ СКОЛКОВО. Москва, 2019. – 210 с.
4. Лисогурский И. А., Лисогурская Л. Н. Накопители электрической энергии: Функции и перспективные технологические направления развития // Вестник магистратуры. 2018 № 12-4 (87). – С. 44–45.
5. Felix A. Farret M. Godoy Simoes. Integration of alternative source of energy. USA^ Wiley, 2006. P. 417.
6. Sorensen B. Renewable Energy. Conversion, Transmission and Storage. USA^ Academic Press, 2007. P. 327.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПЕРЕТОКОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕТИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФАЗОПОВОРОТНОГО КОМПЛЕКСА

С.А. Ситников, Н.М. Шайтор, И.А. Ситников

Тенденции к развитию энергетического комплекса вызваны необходимостью наращивания промышленных мощностей для создания конкурентоспособной экономики страны на международном уровне. Строительство новых объектов электросетевого хозяйства, а также объектов генерации приводит к усложнению существующей энергосистемы. Такая система принимает вид многоуровневой и разветвленной структуры, управление которой становится нетривиальной задачей. С одной стороны, необходимо обеспечить экономию ресурсов, с другой – соблюсти системные ограничения, такой принцип управления требует эффективных инструментов. Одним из инструментов управления энергосистемой является фазоповоротный комплекс (ФПК). В статье рассмотрено использование ФПК для регулирования перетоков активной мощности в сети сверхвысокого напряжения, а также дана оценка возможности применения ФПК от устройств противоаварийной автоматики.

Введение

Строительство новых объектов генерации и создание новой электросетевой инфраструктуры приводят к усложнению энергосистемы. Такая система сложной конфигурации требует современных и эффективных подходов к ее управлению.

Основной задачей управления энергосистемой является соблюдение одновременно требований к экономии ресурсов, затраченных на генерацию и транспортировку энергии, а также соблюдению системных ограничений. Под системными ограничениями понимается необходимость ограничения допустимых перетоков активной мощности по электрической сети, а также обеспечение резервов мощности на электростанциях, такие меры связаны с необходимостью сохранения устойчивости и надежности работы энергосистемы во всех режимах ее работы.

В таких условиях, для устойчивого развития системы необходима разработка мер снижающих системные ограничения или инструментов, позволяющих эффективно выполнять такие ограничения. Одним из таких инструментов стал фазоповоротный комплекс, который позволяет регулировать перетоки активной мощности по сети, что открывает новый спектр возможностей.

Постановка проблемы

Фазоповоротный комплекс состоит из параллельного трансформатора, системы управления и последовательного трансформатора. Традиционно, в качестве параллельного трансформатора используется обмотка низкого напряжения автотрансформатора, в цепи которого установлен ФПК. Под системой управления ФПК может пониматься система тиристорного управления или система механических контакторных переключателей (устройство регулирования под нагрузкой (РПН)), которая необходима для непосредственного регулирования фазы напряжения. Последовательный трансформатор представляет собой самостоятельное устройство выполняющее функцию вольтодобавочного трансформатора (ВДТ). [1]

ФПК имеет большой спектр возможных применений: регулирование перетоков активной мощности в сети, повышение устойчивости энергосистемы, повышение пропускной способности сети, снижение потерь в сети и даже использование в противоаварийном управлении. [1,2]

Однако существующие ФПК имеют ряд недостатков, ограничивающих их в применении: узкий диапазон регулирования, слабое быстродействие, ненадежность конструкции. [3,4] Разработки связанные с созданием системы тиристорного управления ФПК позволили увеличить надежность и быстродействие комплекса. Так же ФПК с тиристорным управлением позволяет регулировать фазу напряжения в диапазоне более ± 20 град. эл. без увеличения величины напряжения, что дает возможность расширить диапазон регулирования по активной мощности.

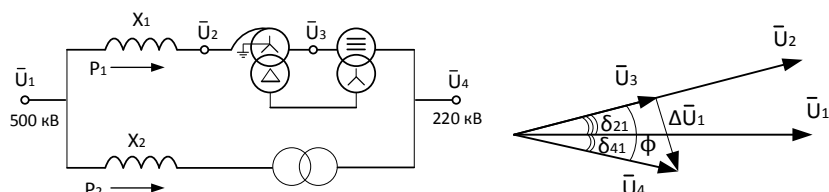


Рис.1. Схема замещения участка сети и векторная диаграмма напряжений

Для описания регулирующего эффекта от использования ФПК рассмотрим простейшую схему. На рис.1 приведена схема замещения сети и векторная диаграмма напряжений при наличии ФПК в верхней ветви схемы. Здесь показаны две параллельные ветви сети одного класса напряжения с индуктивными сопротивлениями X_1 и X_2 . При передаче активных мощностей P_1 и P_2 в направлении, указанном на рис.1, благодаря ФПК происходит опережение вектора напряжения $\bar{U}_4$ относительно $\bar{U}_3$, за счет этого снижается передаваемая мощность P_1 и увеличивается P_2 [4]. На практике такой принцип работы ФПК используют для регулирования перетоков мощности с целью снижения токовой загрузки линий 110–220 кВ и перераспределение мощности по шунтирующим связям. [3,4,5]

Первым проектом по внедрению фазоповоротного комплекса на территории стран СНГ стала установка фазоповоротного трансформатора (ФПТ) на ПС 500 кВ Ульке в объединенной энергосистеме Казахстана в 2009 году. Данное устройство, установленное в цепи автотрансформатора 500/220 кВ, позволило увеличить загрузку ВЛ 500 кВ Житкара – Ульке, тем самым разгрузить сеть 220 кВ, снизить потери в сети и стабилизировать уровни напряжения [5].

Аналогичной конструкции устройство было введено в эксплуатацию в 2019 году на Волжской ГЭС. Установка ФПК на Волжской ГЭС позволило обеспечить выдачу мощности станции за счет перераспределения выдаваемой мощности из сети 220 кВ в сеть 500 кВ. При этом, по расчетам, без ФПК требовалось ограничение выдачи мощности Волжской ГЭС до 700 МВт (~25 % от установленной мощности) в зависимости от сезона и режима нагрузок энергосистемы [4].

В данной статье разберем возможность регулирования перетоков активной мощности по сети 500 кВ за счет ФПК установленного в цепи линии, оценим величину влияния ФПК на прилегающую сеть и разработаем рекомендации по применению ФПК при противоаварийном управлении энергосистемой.

Исследование влияния ФПК на параметры режима системы

Для исследования влияния ФПК на параметры электроэнергетического режима (перетоки

активной мощности, электрический ток, напряжение) разработаем систему в ПК RastrWin3, состоящую из двух объединенных энергосистем, связанных двумя линиями электропередачи (№1 и №2). Система сложной конфигурации, состоящая из сети 500 кВ, представлена на рис. 2.

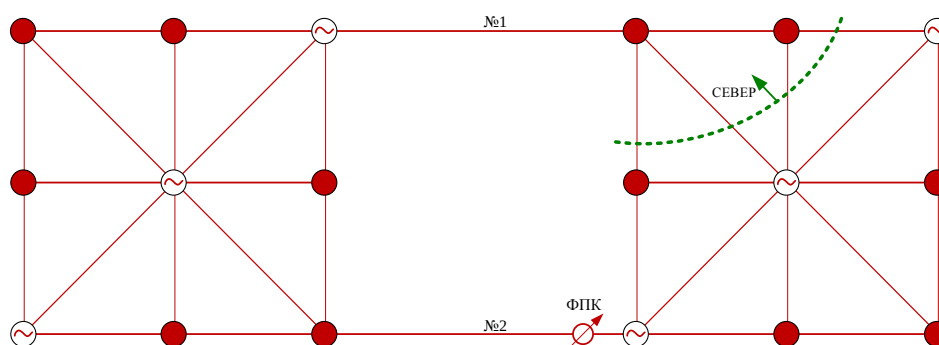


Рис. 2. Экспериментальная система сложной конфигурации

На рис. 2 представлены две эквивалентные энергосистемы симметричной структуры, состоящих из узловых подстанций (закрашенные кружки) со своей нагрузкой и узлов генерации (отображены на схеме как генератор). Такая структура позволяет создать ассиметричное распределение перетоков мощности по линиям сети, которое обусловлено как локальными дефицитами мощности, так и транзитными притоками, уравнивающими систему.

В цепи линии № 2 установлен ФПК с параметрами, приведенными в таблице 1, третья ступень регулирования является промежуточной. В качестве ФПК в ПК RastrWin3 использована трансформаторная ветвь с коэффициентами трансформации: вещественным – $K_{\text{вещ}}$ (для продольного регулирования) и мнимым – $K_{\text{мним}}$ (для поперечного регулирования).

Таблица 1 – Параметры ступеней регулирования ФПК

№ ступени ФПК		1	2	3	4	5
Коэффициент трансформации, отн. ед.	$K_{\text{вещ}}$	0,667	0,917	1	0,917	0,667
	$K_{\text{мним}}$	-0,866	-0,433	0	0,433	0,866
угол сдвига фазы напряжения ϕ , град. эл.		-52,41	-25,3	0	25,3	52,41

Эффективность влияния ФПК на шунтирующую сеть оценим путем расчетов электроэнергетического режима в ПК RastrWin3 и сравнения зависимости перетоков по линиям № 1 и № 2 от ступени ФПК, результаты расчета приведены в таблице 2.

Также на рис. 2 определено сечение сети (в качестве сечения сети примем совокупность линий электропередачи, регулирование перетока мощности по которым необходимо для обеспечения устойчивости и надежности работы энергосистемы), которое назовем «Север» (выделено зеленым пунктиром). Необходимость контроля сечения «Север» обусловлена тем, что существуют множество режимов, при которых отключение линий, входящих в его состав, приводит к перегрузкам по току оставшихся связей, а также влечет к нарушению статической устойчивости. Сравнение зависимости перетока по сечению «Север» от ступени ФПК также приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Перетоки мощности по сети в зависимости от ступеней регулирования ФПК

№ ступени ФПК	1	2	3	4	5
Переток по линии №1, МВт	1067,5	869,6	672,8	483,7	268,2
Переток по линии №2, МВт	741,9	962,1	1176,5	1379,4	1607,6
Переток по «Север», МВт	3150,7	2939,2	2731,9	2534,2	2310,5

На основе результатов расчетов в ПК RastrWin3 (табл. 2) определено, что ФПК, установленный в цепи линии №2, позволяет разгрузить сечение «Север» на 421,4 МВт (15,4 % от исходного перетока), а также позволяет создать диапазон регулирования перетоков мощности по шунтирующим линиям №1 и № 2 порядка ± 400 МВт. За счет изменения ступени ФПК происходит перераспределение перетоков мощности по шунтирующим связям, что приводит к их равномерной загрузке и, следовательно, к задействованию недоиспользованной электросетевой инфраструктуры. Быстродействие данного комплекса позволяет использовать его не только при оперативном управлении энергосистемой, но и при автоматическом от устройства противоаварийной и режимной автоматики.

Выводы

Новым этапом в развитии фазоповоротных систем стала разработка ФПК с тиристорным управлением. Использование тиристорного управления повышает надежность и быстродействие устройства, а также расширяет диапазон регулирования угла ϕ более ± 20 град. эл. без изменения модуля напряжения (в исследуемом примере взят диапазон ± 52 град. эл.). [1,6]

Такие характеристики ФПК позволяют решать следующие задачи:

1. Регулирование перетоков активной мощности в контролируемых сечениях энергосистемы;
2. Увеличение пропускной способности сети сверхвысокого напряжения за счет равномерно распределения перетоков активной мощности;
3. Использование поворота фазы напряжения в качестве управляющего воздействия от устройств противоаварийной автоматики как для разгрузки сетевых элементов по току, так и для повышения пределов передаваемой мощности.

Исследования электроэнергетических режимов системы сложной конфигурации показали эффективность ФПК, как инструмента регулирования параметров режима, а также снижения системных ограничений.

Список использованных источников

1. К расчету режимов работы линий электропередачи с управляемыми фазоповоротными устройствами / М. Г. Асташев, М. А. Новиков, Д. И. Панфилов [и др.] // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2016. – № 1. – С. 15-23.
2. Применение фазоповоротных устройств с тиристорным управлением при больших углах регулирования фазового сдвига / В. П. Жмуров, В. Н. Стельмаков, А. Н. Тарасов // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2010. – № 5. – С. 132-142.
3. Жмуров, В. П. Применение фазоповоротных устройств с тиристорным управлением как элемента управляемых (гибких) линий электропередачи переменного тока / В. П. Жмуров, В. Н. Стельмаков, А. Н. Тарасов // Электротехника. – 2014. – № 1. – С. 2-10.
4. Фазоповоротный трансформатор в схеме выдачи мощности крупной гидроэлектростанции / А. С. Брилинский, Г. А. Евдокунин, В. А. Крицкий [и др.] // Известия НТИЦ Единой энергетической системы. – 2019. – № 1(80). – С. 6-14.
5. Оптимизация режимов работы энергосистемы с помощью фазоповоротного трансформатора на подстанции 500 кв / М. В. Одинцов, Д. А. Акимов, Н. В. Коровкин, О. В. Фролов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2014. – № 3(202). – С. 139-145
6. Асташев, М. Г. Применение фазоповоротных устройств с тиристорными коммутаторами в активноадаптивных электрических сетях / М. Г. Асташев, М. А. Новиков, Д. И. Панфилов // Энергия единой сети. – 2013. – № 5(10). – С. 70-77.

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

Б.А. Андреев, М.М. Захаров, А.А. Лавренчук, М.Ю. Сперанский

Переработка фотоэлектрических модулей с применением термической обработки и электродуговых технологий представляет собой комбинированный подход, сочетающий высокотемпературное воздействие и плазменные методы. Этот подход направлен на эффективное разделение компонентов фотоэлектрических панелей для последующей рекуперации ценных материалов или синтеза новых соединений.

Введение

Современный этап развития возобновляемой энергетики сопровождается накоплением значительных объемов отработанных фотоэлектрических модулей, что создает экологические и ресурсные вызовы. Традиционные методы утилизации, основанные на механическом дроблении и химическом травлении, демонстрируют низкую эффективность выделения кремния, серебра и редкоземельных элементов, а также сопровождаются образованием токсичных отходов. В этом контексте комбинированный подход, объединяющий термическую обработку в печах и электродуговые технологии, предлагает принципиально новое решение.

Цель работы

Целью исследования является анализ технологических аспектов переработки фотоэлектрических модулей с использованием различных методов термической обработки и разработка предложений по дальнейшему использованию полученных материалов.

Комбинированная термическая и электродуговая переработка фотоэлектрических модулей

В различных зарубежных изданиях уже неоднократно поднимался вопрос, связанный с переработкой данного вида отходов энергетики. В [1] говорится что, к концу 2018 года кумулятивная установленная мощность фотоэлектрических панелей достигла 486 ГВт. Учитывая, что средний срок эксплуатации современных солнечных панелей составляет 25 лет [2], а средняя масса употребляемого в 92% всех солнечных панелей поликристаллического модуля мощностью 200 Вт составляет 16,8 кг [3], в ближайшие годы мир может столкнуться с необходимостью утилизации более 37 млн. тонн отработавших свой срок солнечных модулей (рис. 1).

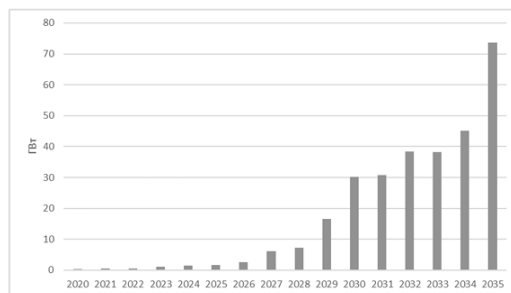


Рис. 1 Ожидаемые годовые объемы вывоза из эксплуатации солнечных панелей

Солнечные модули состоят из стекла, алюминия, меди и полупроводниковых материалов, которые могут быть извлечены и использованы повторно. Обычные панели из кристаллического кремния состоят (по массе) из 76% стекла, 10% полимерных материалов, 8% алюминия, 5% кремниевых полупроводников, 1% меди, менее 0,1% серебра и других металлов, включая олово и свинец.

В данном исследовании по переработке солнечных фотоэлементов с последующим выделением из них кремния и стекла использовали муфельную печь и электродуговой реактор переменного тока [4].

Инновационность данного подхода заключается в синергии традиционных методов термической обработки, таких как, нагрев в муфельной печи или высокотемпературный пиролиз, обеспечивающего деполимеризацию связующих смол и плазменного воздействия электрической дуги, позволяющего достичь полного разложения сложных композитов, и одновременного синтеза новых соединений, таких как карбид кремния (SiC).

Современный промышленный алгоритм переработки фотоэлектрических панелей на основе кремния начинается с их разборки, в процессе которой отделяются алюминиевые (рама) и стеклянные детали (покрытие). Почти 95% стекла подлежит переработке, а все внешние металлические детали могут использоваться повторно для формования новых каркасов для солнечных модулей. Остальные материалы подвергаются термической обработке при температуре 500°C, в процессе которой инкапсулирующий пластик испаряется, оставляя кремниевые элементы готовыми для дальнейшей переработки.

В данной работе авторам удалось повторить классический метод термической обработки, проведя ряд экспериментов было установлено, что полное разложение фрагмента фотоэлектрического модуля происходит при термической обработке в муфельной печи, разогретой до 530 °C в течении 10 минут. Фрагмент фотоэлектрического модуля размером 4x5 см поместили в графитовый тигель как показано на рисунке 2.



Рис. 2 Фрагмент фотоэлектрического модуля до термической обработки

На рисунке 3 представлен результат термической обработки фрагмента фотоэлектрического модуля в муфельной печи.



Рис. 3. Термическая обработка фрагмента фотоэлектрического модуля в муфельной печи

Как видно из рисунка 3, произошло полное выгорание инкапсулятора из этил винил ацетата (EVA) и заднего слоя из поли винил флорида (PVF или Tedlar). Твердые элементы легко можно разделить механически, стекло имеет прозрачный цвет, а пластинки кремния чистые без следов нагара.

Так же провели ряд экспериментов по термической обработке в электродуговом плазменном реакторе переменного тока. В результате воздействия электрической дуги на графитовый тигель силой тока 200 А и времени 1.5 минуты была достигнута температура 564 °С, которая привела к термическому разложению фрагмента фотоэлектрического модуля (данные представлены на рисунке 4).



Рис. 4. Термическая обработка фрагмента фотоэлектрического модуля в электродуговом плазменном реакторе переменного тока

Термическая обработка в электродуговом плазменном реакторе переменного тока имеет определенные особенности, ведь графитовый тигель в этом случае закрывается крышкой на поверхности которой происходит зажигание электрической дуги. Это в свою очередь затрудняет выход выделяющихся горючих газов и других продуктов горения в виде сажи, что приводит к загрязнению оставшихся твердых элементов в виде стекла, кремния и металла как показано на рисунке 4.

Что касается экономических аспектов промышленной переработки фотоэлектрических панелей, то, согласно данным работы [5], переработка кремниевых модулей становится целесообразной при масштабах не менее 19 000 тонн в год. Только при достижении таких объемов стоимость переработки снижается за счет эффектов масштаба производства. В связи с этим авторы предлагают иной подход к переработке фотоэлектрических модулей, не просто переработку, а использование полученных твердых элементов в виде стекла и кремния для синтеза карбида кремния.

После термической обработки в муфельной печи твердые элементы в виде стекла и кремния измельчали в барабане валковой шаровой мельницы в четырёх часов.



Рис. 5. Однородная смесь из стекла и кремния

В результате получили однородную смесь из стекла и кремния, данная смесь будет подвержена ряду экспериментов воздействия электродугового разряда переменного тока для получения максимально чистого карбида кремния.

Выводы

Комбинированный метод переработки фотоэлектрических модулей с применением муфельной печи и электродугового реактора переменного тока не только обеспечивает эффективное разделение компонентов (кремний, стекло), но и позволяет на выходе термической переработки отходов энергетики получить полезный продукт в качестве карбида кремния.

Список использованных источников

1. REN21. Renewables 2019 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat, 2020.
2. Chowdhury M., Rahman K., Chowdhury T., Nuthammachot N., Techato K., Akhtaruzzaman M. et al. An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling. *Energy Strategy Reviews*. 2020. Vol. 27, 100431. DOI: 10.1016/j.esr.2019.100431.
3. Huang B., Zhao J., Chai J., Xue B., Zhao F., Wang X. Environmental influence assessment of China's multi-crystalline silicon (multi-Si) photovoltaic modules considering recycling process. *Solar Energy*. 2017. Vol. 143. Pp. 132-141. DOI: 10.1016/j.solener.2016.12.038.
4. Сперанский, М. Ю. Модернизация электродугового реактора для синтеза порошковых материалов для энергетики / М. Ю. Сперанский, А. А. Лавренчук, А. Я. Пак // Перспективные технологии и материалы: Материалы Международной научно-практической конференции, Севастополь, 21–23 сентября 2022 года. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2022. – С. 247-248. – EDN SJPUWH.
5. Deng R., Chang N., Ouyang Z., Chong C. A techno-economic review of silicon photovoltaic module recycling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 109. Pp. 532-550. DOI: 10.1016/j.rser.2019.04.020.

УДК 621.3.051

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ РЕГУЛИРУЕМЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

М.В. Пухальский

Аннотация

В данной статье был рассмотрен электроаппаратный завод из перечня оборудования которого были выделены станки, двигатели которых можно заменить на регулируемые и проведён сравнительный анализ применения частотно-регулируемого привода.

Введение

Многочисленные исследования и опыт эксплуатации показывают, что немалый энерго- и ресурсосберегающий эффект для различных промышленных установок позволяет получить использование частотно-регулируемый электропривод. ЧРП базируется на преобразователях частоты (ПЧ) и асинхронных двигателях, являющихся приводами технологического оборудования.

Цель работы

Целью данной работы является выявление эффективности применения специальных регулируемых асинхронных двигателей на промышленных предприятиях путём внедрения частотно-регулируемого электропривода.

Понятие о специальных регулируемых асинхронных двигателях.

Асинхронные электродвигатели применяются во всех отраслях промышленности. Таким образом, они являются основными потребителями активной мощности.

Это связано с тем, что они обладают многочисленными преимуществами, такими как простота конструкции, что делает двигатель проще в производстве и обслуживании и тем самым дешевле, устойчивость к перегрузкам и коротким замыканиям, лёгкий и быстрый запуск. также из-за отсутствия электрического контакта между ротором и статором что делает его надёжнее и долговечнее.

Но у них есть свои недостатки, которые не дают возможность применять их в некоторых случаях. К этим недостаткам относятся многократное повышение потребляемого тока во время запуска двигателя, сопровождающееся ударной механической нагрузкой на валу машины, а также необходимость применять сложные устройства для регулирования их частоты вращения. Когда появились быстро переключаемые тиристоры и транзисторы стало доступным применение частотных преобразователей для изменения частоты напряжения, подаваемого на статор. Такой способ характеризуется следующими преимуществами:

- сохранение жесткости характеристик на любой скорости независимо от нагрузки;
- плавное, бесступенчатое изменение скорости вращения;
- относительно низкие габариты и масса.

Ограничить пусковые токи позволяет метод частотного регулирования с помощью частотных преобразователей, из этого следует осуществление мягкого, безударного пуска с возможностью синхронизации крутящего момента на валу электрической машины с моментом

сопротивления исполнительного механизма в процессе работы на любых частотах, реализовать более точную регулировку скорости вращения в верхних и нижних пределах.

На рассматриваемом электроаппаратном заводе имеется 20 цехов. В них установлены станки с электроприводом. Для анализа эффективности применения специальных регулируемых асинхронных двигателей в приводе данных станков, необходимо распределить станки по цехам и отдельно выделить станки с асинхронным электроприводом (Таблица 1).

Таблица 1 – Распределение станков по цехам электроаппаратного завода.

Цех завода	Тип станков с электроприводом
Цех нормалей	Фрезерно-отрезные и шлифовально-отрезные станки, ленточные и механические пилы, токарные 6-ти шпиндельные автоматы, резьбонакатные станки, горизонтально-фрезерные станки , кругло-шлифовальные, токарно-револьверные станки .
Штамповочный цех	Кривошипные прессы; пресс-автоматы; фрезерные станки ; станки контактной сварки; сверлильные станки
Цех асбоцементных плит	Измельчительные машины. Смесители. Гидравлические прессы. Сушильные туннели. Обрезные станки.
Механический цех	Алмазно-расточные станки, Горизонтально-расточные станки , Продольно-строгальные станки, Кран-балка, Мостовой кран, Расточные станки , Поперечно-строгальные станки, Радиально-сверлильные станки, Вертикально-сверлильные станки, Заточные станки, Токарно-револьверные станки

*Примечание. Жирным шрифтом выделены станки с асинхронным приводом

Таблица 2 – Сравнительный анализ применения частотно-регулируемого привода на станках

Параметр	ЧРП	Традиционная система
Пусковой ток	1,5-2 раза, $> I_n$	5-7 раз $> I_n$
Экономия энергии	30-50%	0%
Точность регулирования	$\pm 0,5\%$	$\pm 5\%$
Срок службы оборудования	+30-40%	Стандартный

Выводы

Использование частотно-регулируемого привода позволяет экономить электроэнергию на 30-50 %, повышает точность выполняемой работы на 0,5%, и увеличивает срок службы оборудования на 30-40%. Поэтому можно рекомендовать применять систему ЧРП для приводов электрооборудования промышленных предприятий.

Список использованных источников

1. Шичков Л.П. Электрический привод. 2 изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2019. 326 с.
2. Юланов, Т. Н. Применение частотно-регулируемых асинхронных двигателей для привода металлорежущих станков / Т. Н. Юланов, А. С. Горбунов // Мавлютовские чтения : Материалы XVI Всероссийской молодежной научной конференции. В 6-ти томах, Уфа, 25–27 октября 2022 года. Том 3. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2022. – С. 632-636. – EDN SGFKME.

3. Конфигурация асинхронной частотно-регулируемой приводной системы / Н. Н. Дульнев, Ю. М. Сафонов, Н. Н. Федорцов, И. Ш. Кадыров // Технический оппонент. – 2019. – № 1(2). – С. 40-47. – EDN ZDPGGL.
4. Бутусов, А. А. Эффективность применения частотно-регулируемого привода вентилятора / А. А. Бутусов, А. В. Колесникова // Избранные доклады 69-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 20 апреля 2023 года. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 715-717. – EDN NINRDJ.

УДК 621.311.24

СОЛНЕЧНЫЕ УСТАНОВКИ

Е.М. Скрипник, В.В. Кувшинов

На сегодняшний день возобновляемая энергетика очень разнообразна и охватывает технологии, основанные на абсолютно разных физических процессах при использовании солнечного света, приливов и отливов, ветра, геотермальной теплоты, потоков воды, а также энергии волн. Установки, работающие на возобновляемых источниках, оказывают значительно меньшее воздействие на окружающую среду, чем традиционные, так как используются потоки энергии, естественно циркулирующие в окружающем пространстве. Экологическое влияние энергоустановок на возобновляемых источниках в основном заключается в изменении естественного ландшафта местности.

Введение

Солнечная энергетика традиционно рассматривается как перспективный источник энергии, обладающий такими преимуществами, как неисчерпаемость и экологическая безопасность. Основным сдерживающим фактором является более высокая стоимость производства электроэнергии по сравнению с традиционными методами, что потенциально может увеличить стоимость конечной продукции. Тем не менее, экономические выгоды, вероятно, способствовали активному развитию и оптимистичным прогнозам в отношении возобновляемой энергетики за рубежом. В результате, в большинстве развитых стран реализуются программы, направленные на поддержку альтернативной энергетики, характеризующейся неисчерпаемостью ресурсов, независимостью от рыночной конъюнктуры и сниженным воздействием на окружающую среду.

Цель работы

В рамках данного исследования проводится анализ наиболее распространенных солнечных установок с целью выявления их преимуществ и недостатков.

Солнечные установки

Солнечная энергия представляет собой практически неисчерпаемый и экономически привлекательный ресурс. По оценкам специалистов, количество солнечной энергии, достигающей Земли за неделю, превосходит суммарные запасы нефти, газа, урана и угля на планете.

Однако несмотря на это, некоторые эксперты высказывают опасения относительно экологичности солнечной энергетики. Производство чистого кремния, необходимого для создания солнечных панелей, является энергозатратным и может сопровождаться значительным загрязнением окружающей среды. Кроме того, строительство солнечных электростанций требует обширных земельных участков, сопоставимых с площадями водохранилищ гидроэлектростанций. Еще одним недостатком является нестабильность выработки солнечной энергии, обусловленная как техническими характеристиками фотоэлементов, так и погодными условиями. Для обеспечения надежной работы энергосистемы с использованием солнечных электростанций необходимы:

1. Значительные резервные мощности, работающие на традиционных источниках энергии, необходимые для компенсации недостатка энергии;
2. Масштабная и дорогостоящая модернизация существующей энергосистемы

Несмотря на эти недостатки, солнечная энергетика продолжает активно развиваться во всем мире. Это обусловлено перспективой снижения стоимости солнечной энергии благодаря развитию технологий, что в будущем позволит ей успешно конкурировать с традиционными источниками энергии, такими как нефть и газ.

В настоящее время существует два основных типа солнечных электростанций, преобразующие солнечный свет непосредственно в электричество, и термодинамические, в которых солнечная энергия сначала преобразуется в тепло, а затем, посредством тепловой машины, в механическую и, наконец, в электрическую энергию.

Солнечные элементы находят применение в различных областях:

- солнечных электростанциях;
- в сельском хозяйстве;
- в промышленности (авиапромышленность, автомобилестроение и т.п.);
- в бытовой сфере;
- в строительной сфере (например, эко-дома);
- в автономных системах видеонаблюдения;
- в автономных системах освещения;
- в космической отрасли.

Помимо наличия основных проблем, связанных с развитием солнечной энергетики, существуют также и частные проблемы, вызванные практикой применения фотогальванических систем. Для анализа конкретной проблематики систем солнечной энергетики рассмотрим принципиальную схему солнечной электростанции (рис. 1).



Рис. 1. Принципиальная схема солнечной электростанции

Важной особенностью выбора оборудования фотогальванических систем является тот факт, что солнечная энергия должна не только эффективно преобразовываться в электрическую и предоставляться потребителям, но в том числе необходимо обеспечить эффективное сохранение и аккумуляцию электрической энергии. Поэтому аккумулятор – один из самых важных звеньев всей фотогальванической системы. Без своевременного и эффективного накопления электрического заряда, генерируемого фотоэлементами, круг применения последних был бы весьма ограничен. Однако использование аккумуляторных батарей ставит две основополагающие технические задачи, требующие решения:

- разработка оптимального алгоритма выбора аккумуляторных батарей для нужд фотогальванических станций;
- разработка одного или нескольких адаптивных алгоритмов заряда/разряда аккумуляторных батарей с целью обеспечения их эффективной работы.

Очевидно, что в силу ограниченного числа циклов перезаряда аккумуляторов, обусловленных особенностями технической реализации отдельных их типов, остро стоит задача выбора такого алгоритма заряда и разряда, чтобы число этих циклов было минимальным. Отсюда выходит два основных направления решения выше обозначенных проблем, которые подробно рассмотрены и исследованы в настоящей работе, а именно:

- выбор аккумуляторов с максимально возможным числом циклов перезаряда, удовлетворяющего всем техническим и экономическим показателям используемой фотогальванической системы, включая разработку алгоритма, осуществляющего этот выбор;

- выбор и модернизация схемы подключения аккумуляторных батарей к другим компонентам солнечной электростанции в соответствии с поставленными проектными задачами;

- разработка или усовершенствование алгоритма заряда аккумуляторных батарей для программируемого логического контроллера (ПЛК), обеспечивающего минимальное число циклов перезаряда.

Типы СЭС

Все солнечные электростанции (СЭС) подразделяют на несколько типов:

- СЭС башенного типа;
- СЭС, использующие фотоэлектрические модули;
- Комбинированные СЭС;

СЭС башенного типа



Рис. 2. Модель солнечной электростанции башенного типа в Политехническом музее (г. Москва)

Солнечная электростанция этого типа использует энергию солнца для нагрева воды и получения пара, который вращает турбину для выработки электроэнергии. Это, по сути, тепловая электростанция, работающая на солнечном тепле и использующая цикл Ренкина. В центре станции возвышается башня, высота которой варьируется в зависимости от мощности. На вершине башни расположен паровой котёл, специально разработанный для эффективного преобразования солнечной энергии в тепло. Чёрное покрытие котла обеспечивает максимальное поглощение солнечного излучения. Вода подается в котёл насосами из конденсатора турбогенератора, расположенного за пределами башни. Вокруг башни, на определенном расстоянии, расположены гелиостаты, направляющие солнечные лучи на котёл.

СЭС, использующие фотоэлектрические модули

Солнечные электростанции (СЭС) данного типа получили широкое распространение благодаря своей модульной конструкции. Они состоят из множества фотоэлектрических модулей (солнечных батарей) с различными характеристиками, что позволяет гибко адаптировать систему под конкретные нужды. СЭС эффективно используются для энергоснабжения объектов разного масштаба – от частных домов до крупных промышленных предприятий.

Фотоэлектрические модули генерируют постоянный ток, который затем преобразуется инвертором в переменный ток с требуемыми параметрами напряжения и силы тока. Модули могут быть соединены последовательно или параллельно для достижения оптимальной производительности.

Установка солнечных батарей возможна практически на любой поверхности: на крышах и фасадах зданий, а также на специально отведенных территориях. Мощность СЭС варьируется в широких пределах – от обеспечения работы отдельных устройств, например, насосов, до снабжения электроэнергией целых городов.



Рис. 4. СЭС Владиславовка

Комбинированные СЭС

Для повышения эффективности солнечных электростанций (СЭС) часто используют комбинированный подход. Помимо генерации электроэнергии, на СЭС устанавливают теплообменное оборудование, позволяющее получать горячую воду для различных целей, включая отопление и горячее водоснабжение. Такие СЭС называются комбинированными. Еще один вариант комбинирования - одновременное использование на одной площадке солнечных концентраторов и фотоэлектрических элементов.

Преимущества солнечной энергии:

- **Экологическая чистота:** Использование солнечной энергии способствует снижению выбросов парниковых газов и загрязняющих веществ в атмосферу, что положительно

сказывается на борьбе с изменением климата и улучшении качества воздуха. Кроме того, это позволяет сократить потребление ископаемого топлива, сохраняя природные ресурсы и избегая образования радиоактивных отходов, характерных для ядерной энергетики.

- **Экономическая выгода:** Развитие солнечной энергетики уменьшает зависимость стран от импорта энергоносителей, особенно актуально для регионов с ограниченными запасами традиционного топлива. Это также стимулирует создание новых рабочих мест в сфере производства, установки и обслуживания солнечных энергетических систем. Со временем, благодаря развитию технологий, стоимость солнечной энергии становится все более конкурентоспособной.

Недостатки солнечной энергии:

- **Низкая плотность энергии:** Для получения значительного количества энергии от солнца требуется большая площадь, занимаемая солнечными панелями.
- **Переменчивость:** Производительность солнечных электростанций напрямую зависит от погодных условий и времени суток, что приводит к нестабильности энергоснабжения и требует резервных мощностей, основанных на традиционных источниках энергии.
- **Высокая стоимость:** Первоначальные затраты на приобретение и установку солнечного оборудования могут быть значительными, что ограничивает доступность этой технологии.
- **Воздействие на окружающую среду:** Производство солнечных панелей и строительство солнечных электростанций оказывают определенное воздействие на окружающую среду.
- **Необходимость хранения энергии:** Для обеспечения стабильного энергоснабжения необходимо разрабатывать и внедрять системы хранения солнечной энергии, что влечет за собой дополнительные затраты.
- **Большие инвестиции и площади:** Внедрение солнечной энергетики требует значительных капиталовложений и выделения больших территорий, которые могли бы использоваться для других целей, например, для сельского хозяйства.

Выводы

Солнечная энергетика, как источник возобновляемой энергии, обладает значительным потенциалом для снижения зависимости от ископаемого топлива и сокращения выбросов парниковых газов. Преимущества СЭС очевидны: это экологически чистый источник энергии, использующий неисчерпаемый ресурс, способствующий диверсификации энергетической системы и создающий новые рабочие места в секторах производства, установки и обслуживания. Солнечная энергетика также способствует развитию удаленных и изолированных территорий, обеспечивая их энергоснабжение.

Однако, недостатки солнечной установки также требуют пристального внимания. Нестабильность выработки электроэнергии, зависимость от погодных условий, визуальное и шумовое загрязнение, потенциальное воздействие на дикую природу, а также проблемы утилизации отслуживших фотоэлементов – это факторы, которые необходимо учитывать при планировании и реализации солнечных электростанций.

В целом, солнечная энергетика представляет собой важный элемент устойчивого энергетического будущего. Грамотное планирование, учет экологических и социальных факторов, а также непрерывное совершенствование технологий позволят максимально

реализовать потенциал ветроэнергетики и минимизировать ее негативные последствия. Дальнейшие исследования и разработки в этой области будут способствовать более эффективному и устойчивому использованию энергии ветра для удовлетворения растущих энергетических потребностей человечества.

Список использованных источников

1. Кувшинов В.В., Морозова Н.В., Софийский Н.В. Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии: Учебное пособие. 2018. – 277 с.
2. И. А. Ростовцева, Ю. И. Рахимова. Проблемы и перспективы развития ветроэнергетики. 2019.
3. Возобновляемая энергетика: учеб. пособие / С. Н. Удалов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 607 с. + цв. илл. – (Серия «Учебники НГТУ»).
4. Н.В. Харченко. Индивидуальные солнечные установки. – М. Энергоатомиздат, 1991.
5. Синицына Т. Нужна ли солнечная энергетика в России? // Энергетика и промышленность России. – 2007. - № 4 (80). - URL: <http://www.eprussia.ru/epr/80/5626.htm>
6. Тарнавский В. Всемирные перспективы солнечной энергетики // URL: <http://energosber.info/articles/alternate/71797/>

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ДЕМОНСТРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ «ЛЕСТНИЦА ИАКОВА»

Н.Д. Кульментьев, И.И. Ковалев, М.В. Фадеев

Электрическая дуга – это электрический разряд, который происходит между двумя электродами, в энергетике, это довольно распространенное явление. Высоковольтную дугу можно увидеть при разрыве электрических цепей высокого напряжения, например, на подстанциях. В данной статье речь пойдет о создании демонстрационной установки «лестница Иакова» для наблюдения возникновения электрической дуги между двумя электродами, с использованием трансформатора, диодного моста и двух электродов.

Введение

Использование лабораторного оборудования дает возможность студентам стать высококвалифицированными специалистами в своей области. Проведение увлекательных практических опытов еще больше подогревает интерес у студентов к дальнейшему обучению, что, в свою очередь, положительно сказывается на успеваемости и имидже учебного заведения.

В процессе изучения учебной программы по электротехнике или физике нередко нужны приборы и устройства, которые помогут обучающимся лучше понять тот или иной физический процесс, но в силу обстоятельств, это не всегда можно воплотить в реальность, что влечет за собой в дальнейшем спад понимания, интереса и отсутствие мотивации. В лабораториях Института ядерной энергии и промышленности отсутствует установка, демонстрирующая возникновение электрической дуги. Таким образом создание установки «лестница Иакова» является актуальной задачей.

Цель работы

Целью данной работы является проектирование и создание установки «лестница Иакова» на базе лаборатории Электромеханики Института ядерной энергии и промышленности для понимания и лучшего усвоения учебного материала обучающимися.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие **задачи**:

- Подробно изучить принцип работы установки, отобрать наилучшие варианты, которые можно реализовать из имеющихся в лаборатории материалов;
- Выбрать наилучшую комплектацию для реализации установки, создать модель во вспомогательной программе «КОМПАС 3-Д v21»;
- Проверить состояние компонентов, оценить на отсутствие повреждений, дефектов, при необходимости заменить неисправные детали;
- Выполнить сборку и электромонтаж устройства;
- Проверить на работоспособность полученную установку;
- Продемонстрировать работу установки на студенческой конференции.

Принцип работы

В месте, где электроды расположены ближе всего друг к другу, возникает электрическая дуга, которая по принципу естественной конвекции, начинает подниматься вверх по

электродам. Когда дуга доходит до верхней точки, она обрывается и загорается снова снизу, процесс повторяется циклически.

Проектирование «лестницы Иакова»

Перед сборкой устройства произведено предварительное моделирование установки во вспомогательной программе «КОМПАС 3-Д v21» (рис. 1).

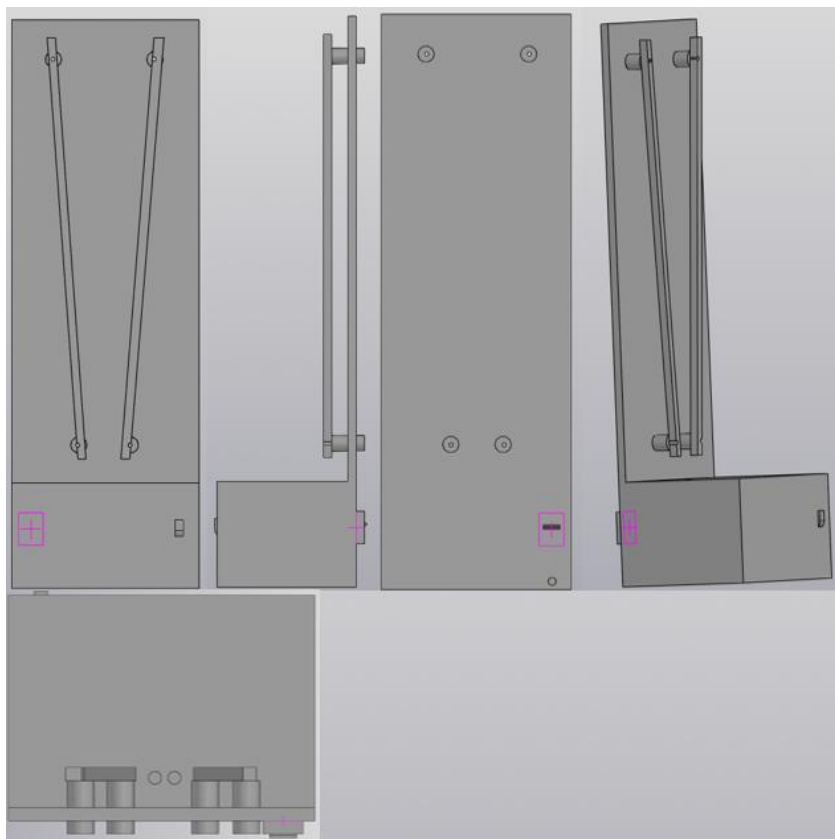


Рис. 1. Модель демонстрационной установки «лестница Иакова» в программе «КОМПАС 3-Д v21»

Электрическая схема работы электроустановки

Разработана электрическая схема установки, представленная на (рис. 2). На трансформатор Т от источника переменного напряжения подаётся 220 В, перед трансформатором в целях безопасности добавлен автоматический выключатель В1 и клавишный выключатель В2. Далее со стороны высокого напряжения трансформатора (10 кВ), установлен диодный мост VD1-VD4 с целью получения пульсирующего постоянного тока, концы диодного моста выведены на два проводника, на которых будет возникать электрическая дуга К1.

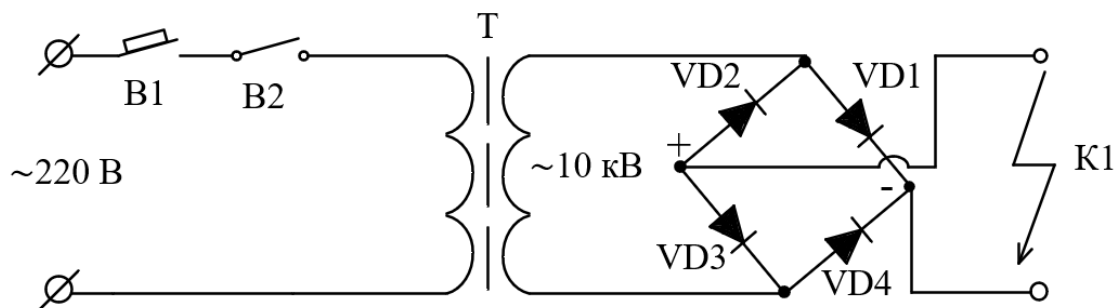


Рис. 2. Схема работы демонстрационной установки «лестница Иакова»

Основные элементы данной установки – трансформатор ТГМ-1020УХЛ1, преобразующий 220 В в 10 кВ, диодный мост собранный из диодов CL01-12 удерживающий напряжение 12 кВ, спаянных вместе алюминиевым припоем способный удерживать напряжение высокой стороны трансформатора, а также два прямоугольных алюминиевых проводника высотой в 0,87 м.

Характеристики трансформатора ТГМ-1020:

Номинальное первичное напряжение: 220 В

Номинальное вторичное напряжение: 10000 В

Номинальная частота сети: 50-60 Гц

Степень защиты: IP54

Номинальный вторичный ток: 20 мА

Ток короткого замыкания: 26 мА

Габаритные размеры: 254x145x110 мм

Масса: 6,84 кг

Для удобства эксплуатации трансформатор расположен в деревянном ящике размером 17.5x32x22см. В целях безопасности в корпусе устройства установлен автоматический выключатель и клавишный выключатель со световой индикацией наличия напряжения. Высоковольтная дуга закрыта оргстеклом в целях безопасности, а также для улучшения конвекции, менее подверженной окружающим воздействиям.

Монтаж конструкции

Для монтажа, была использована штепсельная вилка, и провод сечением 2 мм² присоединённый к входу автоматического выключателя. С выхода автоматического выключателя обжаты провод подключен к клавишному выключателю. От клавишного выключателя на соединительные клеммы подключены выводы со стороны низкого напряжения трансформатора. Смонтированы и подключены диоды CL01-12, собранных по схеме выпрямительного диодного моста. Проводами сечением 1,5 мм², алюминиевым припоем, присоединились к выводам вторичного напряжения трансформатора. От диодного моста на провода такого же сечения, подключены два прямоугольных алюминиевых проводника длиной 0,87 м. Трансформатор жестко закреплен путем подпорки внутри деревянного короба. В коробе просверлены отверстия под провод для штепсельной вилки, а также под клавишный и автоматический выключатели. Алюминиевые проводники закреплены на четырёх опорных изоляторах, которые прикручены к задней стенке из алюминиевой сэндвич-панели. Задняя стенка предварительно покрашена в черный цвет, для лучшей визуализации электрической дуги. В нижней части расстояние между алюминиевыми проводниками 0,5 мм, а в верхней части - 4,5 см. Оставшаяся часть конструкции для безопасности наблюдателя закрыта оргстеклом. На корпусе установки размещена паспортная табличка изделия, с указанием необходимых для эксплуатации параметров. На лицевой части установки размещен знак «Высокое напряжение. Опасно для жизни», который относится к категории знаков

электробезопасности, предназначенных для установки в местах работы персонала с электроустановками. Цель монтажа предупреждающего знака «Высокое напряжение. Опасно для жизни» - обеспечение безопасности сотрудников, а также предотвращение аварийных ситуаций и травмирования людей. В собранном виде демонстрационная установка имеет вид, представленный на (рис. 3).



Рис. 3. Демонстрационная установка «лестница Иакова»

Выводы

В результате проведенной работы была создана установка «лестница Иакова», работающая при стандартной частоте питающей сети 50 Гц и напряжении 220/10 кВ. Дуга в данной конструкции инициируется относительно яркая, поднимается на всю длину алюминиевых электродов. Благодаря черному матовому покрытию задней стенки установки, электрическая дуга лучше визуализируется в пространстве, без наличия бликов, с большой контрастностью. Применение таких элементов, как клавишный выключатель, автоматический выключатель и короб из оргстекла делает установку безопасной для персонала. Данная установка может использоваться в учебных лабораториях для всех студентов, изучающих физику и электротехнику с целью наглядной демонстрации возникновения, горения и разрыва высоковольтной электрической дуги.

Список использованных источников

1. Гладко в Э.А. Управление процессами и оборудованием при сварке: учеб. пособие. – М.: ИЦ Академия, 2006. – 16 с.
2. В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. Обобщенные динамические характеристики электрической дуги при дуговой сварке и плавке металлов, Т. 2009 – 2 с.
3. Яннини Б. Удивительные электронные устройства / Боб Яннини; пер. с англ. С.О. Махарадзе. – М.: НТ Пресс, 2008. – 400 с. 2.
4. Битюков В.К., Симачков Д.С. Источники вторичного электропитания. – М.: ИнфраИнженерия, 2017. – 326 с.
5. Д.А. Крюков, Е.А. Скворцов, Д.С. Симачков. Проектирование, изготовление и исследование устройства «Лестница Иакова с движущейся плазмой» М. 2018 – 4 с.

ПЛАЗМЕННЫЙ СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

И.С. Колесников, И.А. Лапшин, А.А. Лавренчук, М.Ю. Сперанский, Ф.А. Губарев

В работе исследуется возможность применения электродуговой плазменной технологии для переработки отходов электронной техники с одновременным визуальным контролем процессов. Основное внимание уделено плазменному нагреву многокомпонентных материалов с целью высокотемпературного (до ~3000 °С) разложения. Предложена модернизированная установка на базе электродугового реактора с графитовыми электродами, обеспечивающая обработку материалов в тигле. Экспериментальная схема включает переработку измельченных материнских плат, что демонстрирует потенциал метода для утилизации интегральных микросхем и печатных плат. Результаты работы подчеркивают важность синхронизации высокоточного оборудования и оптических приборов для временного анализа высокотемпературных процессов. Разработанная методика открывает перспективы для создания инновационных решений в области переработки отходов электронной техники с повышенной эффективностью и контролем.

Введение

В современном мире огромную роль играет цифровой прогресс. Электронная техника окружает нас повсюду, и с каждым днём её становится всё больше и больше. Появляется более современная и технически сложная техника, оборудование выходит из строя, поэтому возникает необходимость утилизации старой техники.

В настоящее время переработка отходов экономически выгодна и целесообразна, потому для нее разрабатывают различные технологии. Технологии утилизации можно поделить на физические и химические методы. Физические методы переработки заключаются в изменении формы, агрегатного состояния, при этом неизменным остается химический состав. К ним относятся испарение, магнитная сепарация, фильтрация, флотация. В химических же методах, наоборот, меняется состав вещества. К данным видам относятся: биохимические методы, газификация, комплексообразование, осаждение, пиролиз, сжигание, а также плазменные методы. Одним из плазменных методов является электродуговой плазменный нагрев.

Плазма – это ионизированный газ, содержащий в себе положительные и отрицательные ионы и свободные электроны. Она была впервые использована в задачах утилизации на небольшом заводе по газификации твердых бытовых отходов в Японии в конце 1990-х годов. Эксперимент прошел успешно и способствовал созданию полномасштабных коммерческих установок в разных странах.

Технология плазменной газификации представляет собой высокотемпературное разложение отходов, при котором исходное сырье преобразуется в горючий газ, преимущественно смесь монооксида углерода и водорода, называемый синтез-газом. Реакция протекает внутри корпуса реактора при температуре до 6500 °С с использованием тепловой энергии плазмы. Разложение отходов протекает с высокой скоростью при высокой температуре и ограниченном доступе кислорода. Плазменная газификация может обрабатывать опасные и неопасные отходы, что делает ее универсальной в применении [1].

В работе [2] авторами рассмотрена лабораторная установка электродугового синтеза в открытой воздушной среде. Она предлагает упрощенную и экономичную альтернативу герметичным системам с инертными газами, но имеет ограничения, связанные с чистотой синтеза и стабильностью процесса. Авторами отмечается, что оптимизация параметров и дополнительные

технические решения могут повысить её эффективность и разработать промышленную технологию синтеза.

Основную трудность при визуализации электродуговых процессов представляет высокая яркость, что делает затруднительным или невозможным исследование их характерных особенностей. В работе [3] предлагается система визуализации с использованием явления усиления света в оптическом квантовом генераторе. В качестве объекта в [3] применялся нанопорошок металла с температурами горения 2000-3100 °С.

Авторы [4] предложили использовать систему визуализации с усилением яркости для исследования электродугового синтеза в тигле. Фактически, предложенная система представляет собой систему оптического зондирования.

Мы полагаем, что установка и методика, рассмотренная в работах [2,4] может использоваться для разработки инновационной методики утилизации отходов электронной техники. Целью данной работы является исследование возможности применения данной плазменной установки для утилизации отходов электронной техники с одновременным визуальным контролем.

Описание лабораторной установки

В настоящее время в ИЯЭиП СевГУ оснащается НОЦ «Вывод из эксплуатации радиационно-опасных объектов» в рамках дорожной карты АО «Концерн Росэнергоатом», в состав которой включена модернизированная установка электродугового синтеза, позволяющая осуществлять воздействие дугового разряда переменного тока на материал, помещённый в тигель. В работе применяется установка на базе электродугового реактора переменного тока с регулируемой силой тока. Плазма формируется между двумя графитовыми электродами: верхний (стержень) и нижний (тигель) с крышкой с ручным управлением и автоматизированным электроприводом для подачи верхнего электрода.

Принцип работы лабораторной установки заключается в следующем. Исходный материал – размельченные электронные компоненты и фрагменты печатных плат, взвешивается и засыпается в тигель. Закрывается крышка тигля, после чего на электроды подаётся питание от источника тока. Далее осуществляется перемещение вертикального электрода до момента инициирования и зажигания столба дуги и поддержания горения дугового разряда. Затем через определённое время отключается питание, и дуговой разряд прекращается. Продукты распада собираются с внутренней поверхности тигля и помещаются в контейнер для хранения и транспортировки.

Для наблюдения процессов внутри тигля предлагается использовать лазерный монитор на основе усилителя яркости на парах бромида меди. Для визуализации процессов внутри тигля в стенке просверливается отверстие диаметром 6 мм, достаточное для прохождения пучка лазерного излучения и освещения объекта наблюдения.

Запись изображений осуществляется двумя скоростными камерами Evercam F 1000-16-С отечественного производства. Начало записи начинается автоматически по сигналу источника питания одновременно с зажиганием дуги разряда. Камера 1 записывает изображение лазерного монитора, то есть изображение объектов внутри тигля. Камера 2 записывает изображение тигля в собственном свечении через нейтральный светофильтр. Разработанный на основе микроконтроллера блок синхронизации позволяет обеспечить требуемый режим синхронизации, а также упростить и автоматизировать работу камер и усилителя яркости.

В работе [4] оператор асинхронно включал источник питания плазменной установки и запись камеры, что усложняло точное определение временных характеристик процесса. Важным в данных экспериментах является согласование во времени включение записи камер и начала плазменного нагрева. Мы предлагаем схему эксперимента, представленную на рис.1.

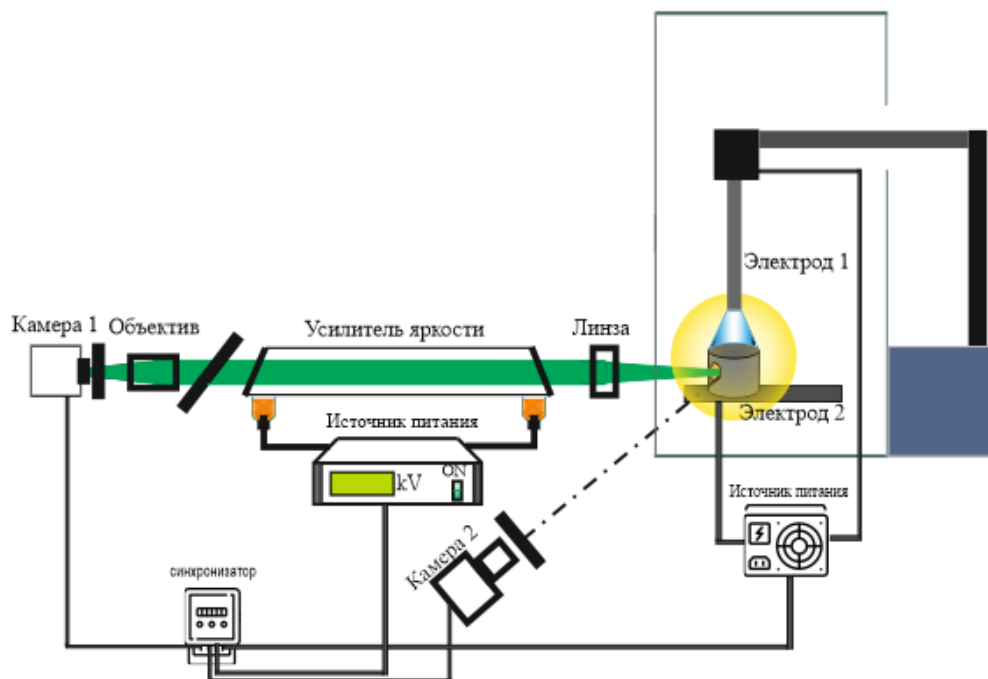


Рис. 1. Схема лабораторной установки

Заключение

В данной статье проведен анализ имеющегося в Институте ядерной энергии и промышленности лабораторного оборудования и спроектирована схема эксперимента, в которой плазменная установка синхронизирована со скоростными видеокамерами, лазерным монитором и источником питания дугового разряда. Данную схему планируется использовать для разработки технологии переработки лома интегральных микросхем и печатных плат.

Для исследования нами выбраны отходы электронной техники в виде материнской платы, которые подготовлены к экспериментам путем перемола их в двухвальном шредере.

Список использованных источников

1. Пак А.Я. Закономерности и характеристики процессов получения керамических материалов на основе карбидов в условиях воздействия атмосферной электродуговой плазмы. Дисс. д.т.н. – Томск: Томский политехнический университет, 2022. – 340 с
2. Губин В.Е., Лавренчук А.А., Сперанский М.Ю., Пак А.Я. Исследование электрических параметров прототипа технологической установки электродугового синтеза переменного тока в открытой воздушной среде // Энергетические установки и технологии. – 2022. – Т. 8. № 4. – С. 27-31.
3. Губарев Ф. А. Многофункциональная система визуализации на основе лазера и усилителя яркости на парах бромида меди // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2023. – Т. 26. – №. 2. – С. 21-27.
4. Цирон М.С., Торганов Д.В., Лавренчук А.А., Сперанский М.Ю., Пак А.Я., Губарев Ф.А. Электродуговой синтез керамических материалов с одновременной скоростной визуализацией // Энергетические установки и технологии, 2024, Т 10 № 1. С. 99-105.

УДК 621.3.014.31

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УСЛОВИЯ ИНИЦИАЦИИ И УСТОЙЧИВОСТИ ГОРЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

К.И. Стеценко, П.Д. Залевский, В.Д. Мелентьев

Электрическая дуга остаётся ключевым объектом исследований в высоковольтной технике из-за своей двойственной роли: с одной стороны, она лежит в основе дуговых источников света, сварочных процессов и металлургии; с другой — представляет серьёзную угрозу для аппаратуры распределения электроэнергии. В работе выполнен системный обзор физических механизмов инициирования дуги и факторов, влияющих на её устойчивое горение в диапазоне напряжений 1 кВ – 1 МВ. Предложена классификация внешних и внутренних параметров дуги, приведены аналитические критерии устойчивости и рассмотрены актуальные методы диагностики и численного моделирования.

Введение

Возникновение высокотемпературного плазменного канала между электродами сопровождается лавинообразной ионизацией, резким ростом температуры (10 000 – 30 000 К) и световой эмиссией. При коммутации токов промышленной частоты электрическая дуга формируется в интервале миллисекунд и может удерживаться десятки миллисекунд вплоть до естественного перехода тока через ноль или до принудительного гашения. Неполный контроль над процессом приводит к «arc-flash»-явлениям, сопровождающимся тепловыми и ударными воздействиями на оборудование и персонал.

Цель работы

Целью работы является аналитическое определение основных факторов возникновения и устойчивости горения электрической дуги высокого напряжения. В частности порога инициации дугового разряда в газовых и вакуумных промежутках, условий перехода кратковременного искрового канала в устойчивую дугу и критериев сохранения и прерывания горения дуги в коммутационных аппаратах.

Физические механизмы инициации

Газовый пробой. В газовой среде критическое напряжение определяется уравнением Пашена:

$$U = \frac{a(pd)}{\ln(pd) + b} \quad (1)$$

где p - давление,

d - расстояние между электродами,

γ - коэффициент вторичной электронной эмиссии.

При превышении U стример переходит в искру, а затем в дугу под действием катодного точечного нагрева.

Вакуумная дуга. В отсутствие газа первичное разряжение обусловлено электронной эмиссией Фаулера – Нордгейма и микровзрывами загрязнений на катоде. Пробой происходит при локальном поле $\geq 5 \text{ GV} \cdot \text{m}^{-1}$.

Таблица 1 – Факторы, влияющие на порог инициации

Группа факторов	Конкретные параметры	Воздействие
Электрические	Амплитуда и фронт напряжения, апериодическая составляющая тока КЗ	Чем круче фронт и выше U , тем короче задержка зажигания; апериодическая составляющая повышает энергию дуги
Геометрические	Δ межэлектродного зазора, радиус кривизны катода, шероховатость	Малый d и острые выступы понижают порог
Физико-химические	Давление и состав газа, влажность, температура контактов, загрязнения	Повышенное p увеличивает порог; водяной пар снижает из-за высокой поляризуемости
Тепловые	Сопротивление контактов, теплопроводность материала	Локальный перегрев ускоряет эмиссию электронов
Магнитные и аэродинамические	Магнитное дутьё, поток воздуха/элегаза	Поперечное дутьё растягивает и охлаждает дугу

Устойчивость горения дуги

Тепловой баланс. Стабильность плазменного канала определяется равенством между составляющей Джоуля I^2R и рассеянием тепла через конвекцию, излучение и проводимость. Условие $dT/dt = 0$ задаёт критический ток.

Динамические эффекты. Магнитная сила Лоренца расширяет канал вплоть до контакта со стенками камеры. Гидродинамическое давление газового потока способствует обрыву столба при достижении критического градиента температуры.

Коммутационные аппараты. В вакуумных и элегазовых выключателях применяются узкие сопла и магнитное дутьё для переноса дуги на дугогасительные решётки, где плазма быстро охлаждается.

Таблица 2 – Моделирование и диагностика

Метод	Описание	Достижимые параметры
MHD – модели	Решение одновременных уравнений Навье – Стокса и Максвелла	Температура, скорость газа, распределение тока
МКЭ (Ansys EMA3D, COMSOL)	Нелинейная тепловая и электрическая связка	Распределение плотности тока, тепловые поля
Спектроскопия и FAST-камера	λ -разрешённая температура, скорость фронта плазмы	Фронта до $200 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Инженерные подходы к контролю дуги

- Снижение энергии до дугообразования: ограничение $t \times I^2$ засечками МП-защиты.
- Использование дугостойких материалов: Ag-W, CuCr50 повышают ресурс контактов.
- Локальное охлаждение: продольно-поперечное дутьё SF_6 или вакуум $\leq 10^{-4} \text{ Pa}$.
- Оптическое дуговое реле: ультрафиолетовое излучение плазмы $>10 \text{ }\mu\text{s}$ активирует разъединитель.

Выводы

Инициация высоковольтной дуги определяется комплексным воздействием электрического поля, состояния электродов и условий окружающей среды.

Для устойчивого горения необходимо поддержание теплового баланса плазмы при положительной обратной связи «ток – температура».

Эффективное гашение дуги достигается комбинацией быстрого снижения тока, интенсификации теплоотвода и управляемого растяжения канала.

Современные вычислительные методы позволяют прогнозировать критические режимы и оптимизировать конструкцию коммутационных аппаратов.

Список использованных источников

1. Электрическая дуга в высоковольтных выключателях. Методы её гашения // Gigavat.com, 2024 [gigavat.com]
2. Электрическая дуга и её характеристики // ElectricalSchool.info, 2024 [electricalschool.info]
3. «Металлургия дуговой сварки: Процессы в дуге и плавление электродов» / И. К. Походня, В. Н. Корнелюк, С. С. Миличенко и др.; под ред. И. К. Походни; АН УССР; Ин-т электросварки им. Е. О. Патона.
4. Райзер Ю. П. Физика газового разряда. — 2-е изд. — М.: Наука, 1992. — 536 с.
5. Ткачева Т. М., Илюшечкин А. И., Новгородов Д. А., Лычаков Г. И., Юдин Д. А., Терехов Д. А. Исследование высоковольтной электрической дуги в разных условиях зажигания // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. — 2019. — № 1(19).
6. Кирдо И. В. О физических процессах при повторном зажигании дуги переменного тока // Автомат. сварка. — 1956. — № 3. — С. 1–16.
7. Мак-Даниель И. Процессы столкновений в ионизированных газах. — М.: Мир, 1967. — 832 с.
8. «Устойчивость горения электрической дуги»: Сборник трудов / Под ред. М. Ф. Жукова; АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т теплофизики. — Новосибирск: [б. и.], 1973. — 191 с.

УДК 621.3.051

РАЗМЕЩЕНИЕ СЕКЦИОНИРУЮЩИХ ЛИНЕЙНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ В СЕТИ 10 КВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Н.А. Годов

Актуальность темы обусловлена необходимостью снижения показателей SAIDI (среднее время перерыва электроснабжения) и SAIFI (частота перерывов), которые напрямую влияют на качество обслуживания потребителей. Традиционные неавтоматизированные системы, требующие ручного вмешательства, не способны обеспечить быстрое восстановление питания, что приводит к значительным экономическим убыткам. В этой статье будет приведено влияние расположения автоматических коммутационных аппаратов в сети 10 кв для повышения надежности электроснабжения и краткое описание задействованного оборудования.

Введение

Современные распределительные сети 10 кВ сталкиваются с возрастающими требованиями к надежности электроснабжения, особенно в условиях увеличения нагрузки и интеграции распределенной генерации. Одним из ключевых способов повышения устойчивости таких сетей является внедрение секционирующих линейных автоматических коммутационных аппаратов, позволяющих оперативно локализовать поврежденные участки и минимизировать зоны отключений. Актуальность темы обусловлена необходимостью снижения показателей SAIDI (среднее время перерыва электроснабжения) и SAIFI (частота перерывов), которые напрямую влияют на качество обслуживания потребителей.

Цель работы

Целью данной работы является анализ влияния размещения секционирующих линейных автоматических коммутационных аппаратов в сеть на качество, а именно показатели время отключений в год и их количества, а также недоотпуск электрической энергии, минимальное напряжение на отдаленных участках и максимальная токовая нагрузка.

Используемые автоматические коммутационные аппараты

РВА (реклоузер вакуумный автоматический) – это современный коммутационный аппарат, предназначенный для автоматического отключения и повторного включения линий электропередачи (ЛЭП) 6–35 кВ при коротких замыканиях (КЗ) и перегрузках. Его ключевая особенность – способность самостоятельно определять тип повреждения и восстанавливать питание без участия оператора, что значительно повышает надежность электроснабжения.

Принцип его работы заключается в обнаружении аварии, затем произвести первое отключение, с последующей попыткой применить АПВ (автоматического повторного включения) и локализации устойчивого повреждения.

Виды кластерных систем с применением РВА

Кластерная система – это метод разделения распределительной сети 10 кВ на автономные зоны (кластеры) с автоматическим управлением. На рисунке 1 указаны типы кластеров. Их внедрение зависит от протяженности распределительной линии и расположения ПС.

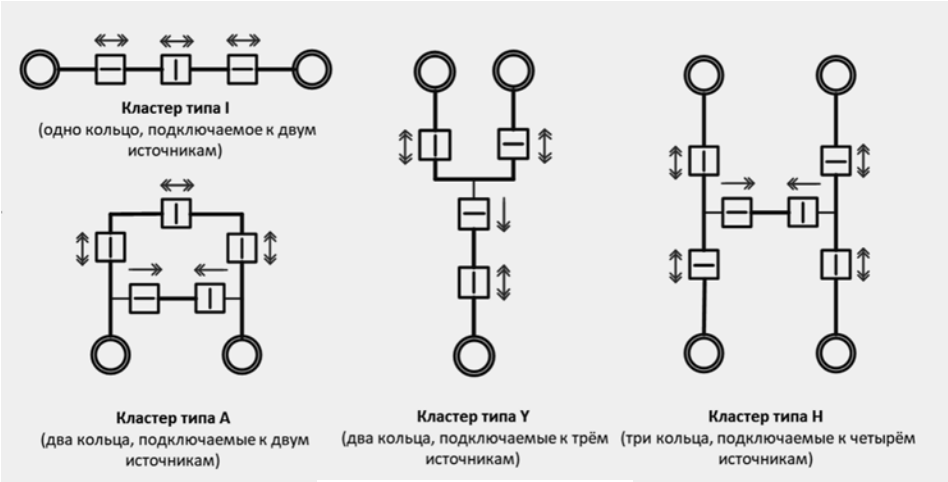


Рис. 1. Типы кластеров

Сравнительные примеры

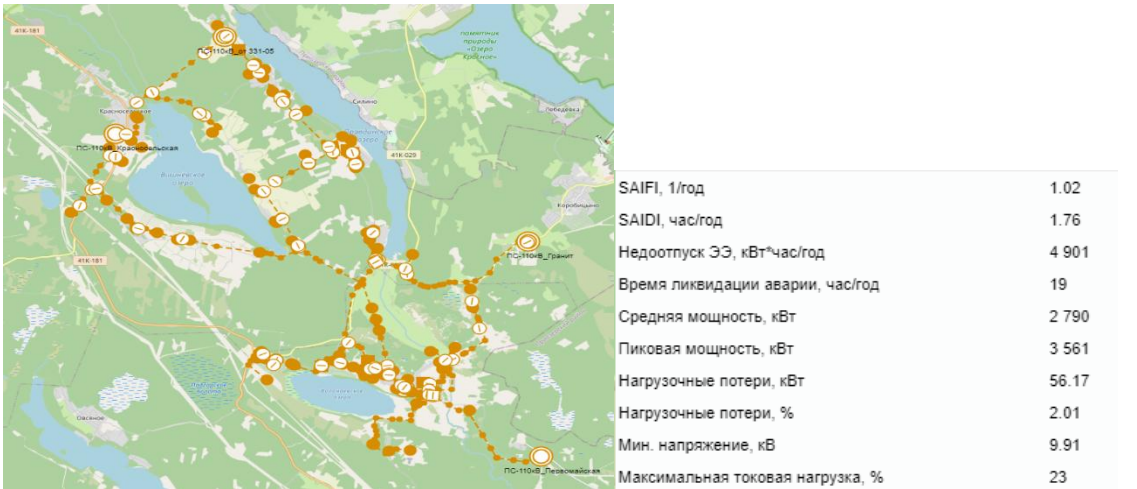


Рис. 2. Модель AS IS с показателями качества

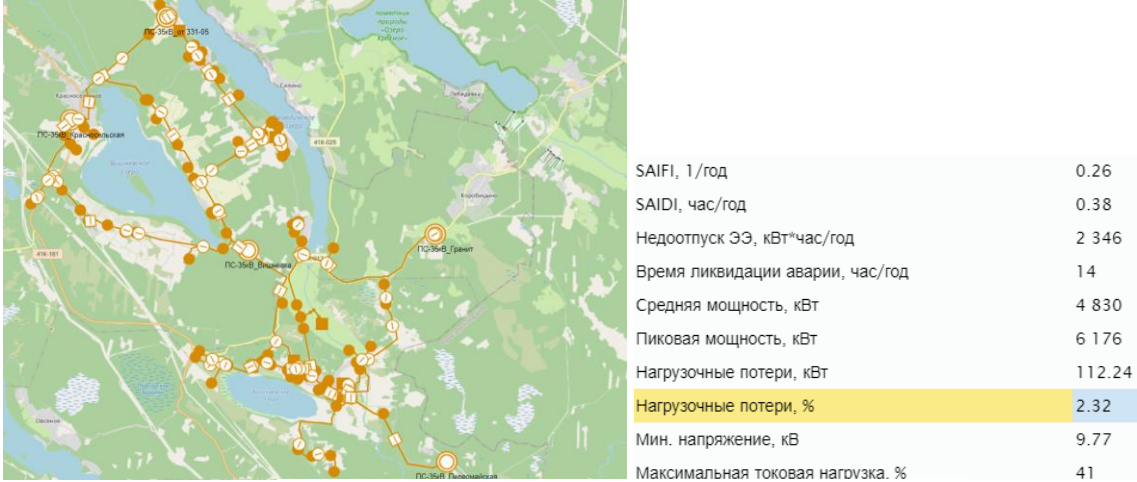


Рис. 3. Модель AS TO BE с показателями качества

На рисунках 2 и 3 показаны реальные модели сети, по которым наглядно представляется разница в показателях модели AS IS (что было) и модели AS TO BE (что стало)

Таблица 1 – Сравнительные характеристики моделей

	AS IS	Автокластерный
SAIFI, откл/год	1,07	0,26
SAIDI, ч/год	1,72	0,38
W_{HO}, кВт*ч/год	8376	2346
ΔP, кВт	138,49	112,24
$U_{мин}$, кВ	9,53	9,77
$I_{макс\%}$, %	35	41
Критерий эффективности, руб		2 840 045

Где:

1. SAIFI - среднее количество отключений электроэнергии у одного потребителя за год.

$SAIFI = \text{Общее число отключений} / \text{Общее число потребителей}$

2. SAIDI - среднее время отключения электроэнергии на одного потребителя в год (часы/год).

$SAIDI = \sum (\text{Длительность отключения} \times \text{Число отключенных потребителей}) / \text{Общее число потребителей}$

3. W_{HO} (Недоотпуск электроэнергии) - количество недопоставленной электроэнергии из-за аварий (кВт*ч/год) $W_{HO} = \sum (P_{нагрузки} \times T_{отключения})$

4. ΔP (Потери активной мощности) - технические потери электроэнергии в сети (кВт)

$P = I^2 \times R$ (потери в линиях)

5. $U_{мин}$ (Минимальное напряжение в сети) - напряжение в самой удаленной или нагруженной точке сети (кВ)

6. $I_{макс\%}$ (Максимальная токовая нагрузка) – процент загрузки линии от максимально допустимого тока. $I_{макс\%} = (I_{факт} / I_{доп}) \times 100\%$

7. Критерий эффективности - оценивает окупаемость внедрения решений (РВА, кластеризации и т.д.). $\text{Эффективность} = (\text{Снижение SAIDI} + \text{Снижение потерь} + \text{Рост надежности}) / \text{Затраты на модернизацию}$

Выводы

Установка автоматических коммутационных аппаратов повышает надежность энергоснабжения за счет секционирования сети и возможности автоматического ввода резерва (АВР). Оптимальное количество определяется по критерию минимизации недоотпуска электроэнергии с или по критерию минимизации SAIDI.

Расстановка коммутационных аппаратов выполняется путём последовательного перемещения коммутационных аппаратов. Оптимизация точек нормального разрыва позволяет снизить потери электроэнергии и обеспечить эффективное распределение нагрузки.

По итогу частота отключений снизилась в 4.1 раза, а длительность – в 4,5 раза. Это означает, что потребители сталкиваются с авариями в 4+ раза реже, а время их устранения

сократилось аналогично. Недоотпуск электроэнергии уменьшился в 3.6 раза, что напрямую снижает убытки энергокомпаний. Потери мощности снижены незначительно (в 1.2 раза), так как они больше зависят от состояния линий, чем от секционирования. Напряжение улучшилось всего на 2.5% (1.03х), так как автокластерный метод слабо влияет на этот параметр. Максимальная нагрузка выросла в 0.85х (т.е. ухудшилась на 17%), но осталась в безопасных пределах (норма $\leq 50\%$).

Список использованных источников

1. Шайтор Н.М., Чернова Е.Ю. Рациональные варианты применения реклоузеров при последовательном секционировании в электрических сетях 6-10 кВ // Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5. № 1. С. 106-108.
2. Букин Р.Ю. Анализ требований к установке реклоузеров в распределительной электрической сети // Студенческая наука об актуальных проблемах и перспективах инновационного развития регионального АПК: материалы XX науч.-практ. конф. Рязань: РГАУ, 2021. С. 72-76.
3. Ефимова В.А., Варганова А.В. Разработка методики определения оптимального места размещения реклоузеров в магистральных распределительных сетях 6-10 кВ // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2020. Т. 11. № 1. С. 91-94.
4. Гардин А.И., Сушков С.В. Применение реклоузеров при построении интеллектуальных сетей // Актуальные проблемы электроэнергетики: сб. науч. тр. Нижний Новгород: НГТУ, 2013. С. 53-56.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ НА ЭНЕРГОСИСТЕМУ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ

А.А. Потоцкий, И.А. Пятаков, А.С. Сверчков

Избыточное потребление энергии — одна из ключевых глобальных проблем современности, оказывающая значительное влияние на экономику, экологию и социальную сферу. В условиях стремительного роста населения, урбанизации и цифровизации спрос на электроэнергию неуклонно растёт. Было проведено исследование зарядных устройств. В результате выявлено, что потребление паразитных токов ими незначительно и не влияет существенно на энергосистему Севастополя, зависит от качества зарядного устройства. Устройства более высокого качества демонстрируют меньшее энергопотребление в режиме ожидания, в то время как низкосортные модели потребляют значительно больше электроэнергии, что может приводить к дополнительным, хоть и небольшим, энергозатратам.

Введение

В современном мире зарядные устройства для мобильных телефонов, планшетов и других гаджетов стали неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Они есть практически в каждом доме, офисе и общественном месте, обеспечивая постоянную доступность наших устройств.

Однако мало кто задумывается о том, сколько электроэнергии потребляют зарядные устройства, оставленные в розетке без подключенного телефона или другого гаджета. Это явление, известное как «фантомное» или «паразитное» потребление, может незаметно увеличивать счета за электроэнергию и оказывать негативное воздействие на окружающую среду. В условиях роста цен на электроэнергию и повышения осведомлённости об экологически ответственном потреблении эта тема приобретает особую актуальность.

Паразитное потребление электроэнергии происходит, когда устройства, подключенные к розетке, продолжают потреблять энергию, даже не выполняя свою основную функцию. В случае с зарядными устройствами это может быть связано с их внутренними компонентами, такими как трансформаторы или схемы управления, которые остаются активными в режиме ожидания. Хотя на первый взгляд энергопотребление одного зарядного устройства кажется незначительным, суммарный эффект от множества таких устройств в масштабах дома, города или даже страны может быть весьма ощутимым.

Таким образом, изучение вопроса потребления энергии зарядными устройствами в режиме ожидания позволяет не только выявить скрытые источники энергопотерь, но и найти практические способы их минимизации.

Актуальность проблемы избыточного потребления энергии в мире

Избыточное потребление энергии — одна из ключевых глобальных проблем современности, оказывающая значительное влияние на экономику, экологию и социальную сферу. В условиях стремительного роста населения, урбанизации и цифровизации спрос на электроэнергию неуклонно растёт. По данным Международного энергетического агентства (IEA), в 2023 году мировое потребление электроэнергии составило около 27 000 ТВт·ч, и, по прогнозам, к 2030 году этот показатель может увеличиться на 20–30%. Однако значительная часть энергии расходуется неэффективно из-за устаревших технологий, паразитного потребления, нерационального использования ресурсов и низкой осведомлённости населения.

Экономические аспекты. Избыточное потребление энергии влечёт за собой финансовые потери как для домохозяйств, так и для государств. В развитых странах до 10–15% электроэнергии в жилом секторе теряется из-за устройств, находящихся в режиме ожидания, таких как зарядные устройства, телевизоры и компьютеры. Это увеличивает расходы на электроэнергию, что особенно ощутимо в условиях роста цен. На промышленном уровне неэффективное использование энергии снижает конкурентоспособность предприятий, увеличивая их затраты. В развивающихся странах избыточное потребление в одних секторах может усугублять дефицит энергии в других, препятствуя экономическому развитию.

Экологические последствия. Экологический аспект проблемы имеет глобальный масштаб. Около 60% мировой электроэнергии вырабатывается за счет ископаемого топлива, что приводит к выбросам углекислого газа (CO_2) и других парниковых газов. В 2022 году энергетический сектор стал источником около 40 Гт CO_2 , что составляет более 75% всех антропогенных выбросов. Избыточное потребление увеличивает нагрузку на электростанции, повышая углеродный след и способствуя изменению климата. Добыча и переработка ресурсов для производства энергии также истощают природные запасы и наносят ущерб экосистемам.

Исследования

Для проведения опытов в целях установления измерения тока работы холостого хода зарядных устройств использовалось следующее оборудование:

- 1) Мультиметр agilent 34410a;
- 2) Стенд для подключения зарядных устройств.

В ходе проведения замеров был выявлен значительный разброс по потреблению тока данные представлены на рисунке 1.

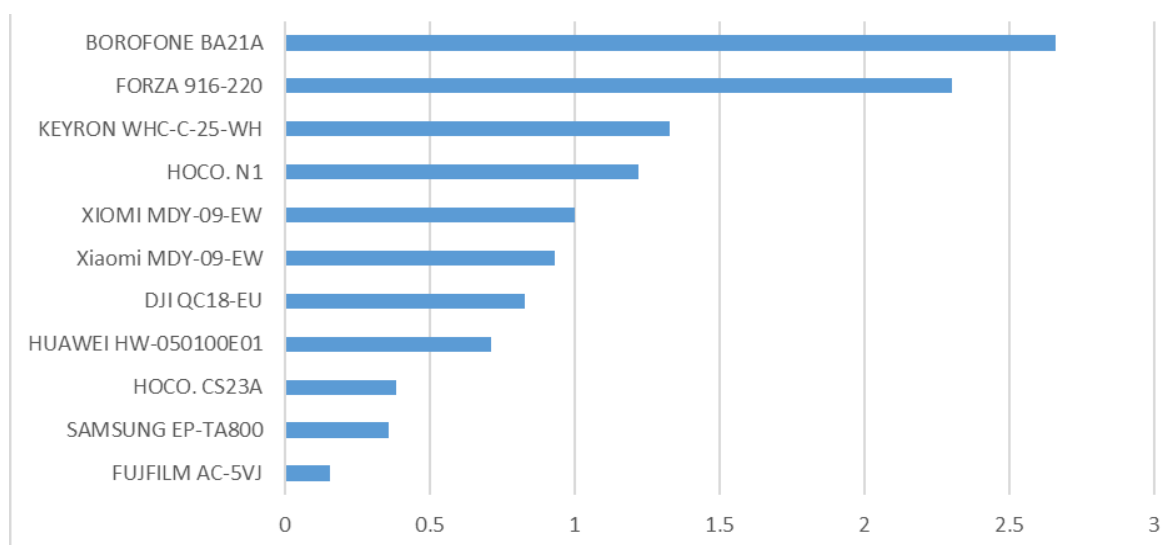


Рис. 1. Потребление зарядных устройств без телефона, мА

График показывает потребление заряда устройствами в миллиамперах (мА) на холостом ходу для различных моделей. Наибольшее потребление наблюдается у устройств BOROFONE BA21A (около 2,7 мА) и FORZA 916-220 (около 2,3 мА). Наименьшее потребление у FUJIFILM AC-5VJ (менее 0,5 мА). Устройства KEYRON WHC-C-25-WH, HUAWEI HW-050100E01, SAMSUNG EP-TA800, HOCO CS32A, XIAOMI MDY-09-EW, DJI QC18-EU и другие показывают средние значения потребления в диапазоне от 0,5 до 1,5 мА.

Таким образом, на основании представленной статистической выборки среднее значение равно 1,08 мА. Были установлены электромагнитные помехи на показаниях мультиметра, равные 0,014 мА, в дальнейших расчетах это значение было принято, как фоновое.

Определим дисперсию и среднеквадратичное отклонение для среднего значения потребления одной зарядкой. Полученные данные указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Средние значения энергопотребления

Лучшее потребление, Вт/сут.	Нормальное потребление, Вт/сут.	Худшее потребление, Вт/сут.	Лучшее потребление, Вт/г	Нормальное потребление, Вт/г	Худшее потребление, Вт/г
1,60	5,39	9,18	587,46	1969,66	3351,87

Используя данные Росстата по населению города Севастополя за промежуток с 2020 по 2023 год был произведен расчет суммарного энергопотребления всех зарядных устройств из расчета одно зарядное устройство на одного человека.

Расчеты представлены в таблице 2.

Таблица 2 Расчет суммарного энергопотребления

Год	2020	2021	2022	2023
Население, чел.	449138	547820	547 452	558273
Лучшее потребление, МВт·ч	263,85	321,82	321,6	327,96
Нормальное потребление, МВт·ч	884,65	1079,02	1078,29	1099,61
Худшее потребление, МВт·ч	1505,45	1836,22	1834,99	1871,26

Исходя из этих данных были рассчитаны параметры, изображенные на рисунке 2. Он иллюстрирует потребление электроэнергии зарядными устройствами в режиме ожидания (фантомные токи) в городе Севастополе с 2020 по 2023 год, измеренное в мегаватт-часах (МВт·ч).

Прослеживаются значительные различия в энергопотреблении между категориями устройств, при этом наибольший вклад в общее потребление вносят устройства, представленные серой линией.

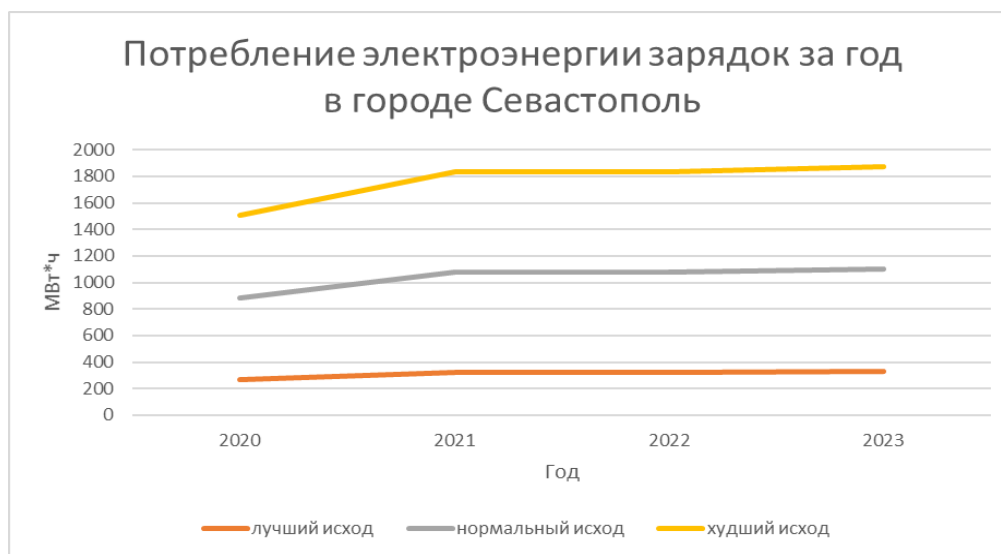


Рис. 2. Потребление электроэнергии зарядок за год в городе Севастополь

Необходимо рассчитать долю энергопотребления, приходящуюся на зарядные устройства, в общем объеме энергопотребления города Севастополя. Расчет позволит определить, какую часть от общего энергопотребления Севастополя составляют зарядные устройства, и оценить их вклад в энергозатраты города.

Данные энергопотребления и населения Севастополя указаны в таблице 3.

Таблица 3 – Энергопотребление Севастополя за год [1-2]

Год	2020	2021	2022	2023
Население, чел.	449138	547820	547 452	558273
Общее потребление, МВт·ч	1553000	1703000	1743000	1726000

Исходя из данных, полученных в таблице 3, были рассчитаны значения процента энергии, потребленной зарядками, от общего энергопотребления Севастополя, изображенные на рисунке 3. Он наглядно иллюстрирует процентное соотношение энергопотребления зарядными устройствами по сравнению с общим объемом энергопотребления в городе Севастополе за период с 2020 по 2023 год.

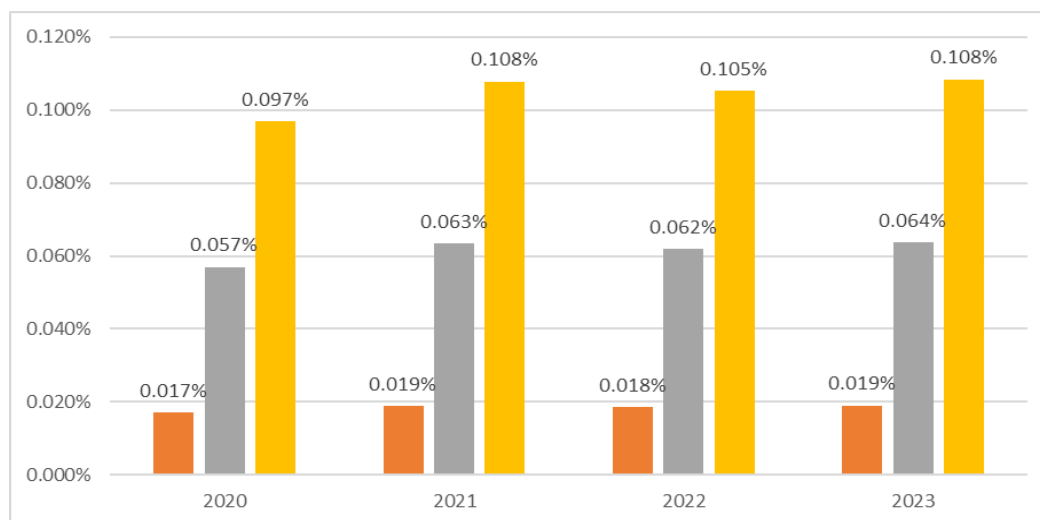


Рис. 3. Процент энергии, потребленной зарядками, от общего энергопотребления Севастополя

Выводы

В результате проведенных исследований зарядных устройств было установлено, что потребление паразитных токов незначительно и не оказывает существенного влияния на энергосистему города Севастополя. Данные экспериментов показали, что паразитное потребление, хотя и присутствует, остаётся на уровне, который не создаёт заметной нагрузки на городскую энергосеть, что позволяет сделать вывод о его минимальном влиянии на общий энергобаланс. Кроме того, в ходе опытов была выявлена зависимость потребления электроэнергии от качества используемых зарядных устройств. Устройства более высокого качества демонстрируют меньшее энергопотребление в режиме ожидания, в то время как низкокачественные модели потребляют значительно больше электроэнергии, что может приводить к дополнительным, хоть и небольшим, энергозатратам. Эти результаты подчеркивают важность выбора качественных зарядных устройств для оптимизации энергопотребления и снижения потерь даже при незначительном влиянии на энергосистему города.

Список использованных источников

1. Управление Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю. Население. URL: <https://82.rosstat.gov.ru/folder/27485> (дата обращения: 19.03.2025).
2. Энергосистема республики Крым и г. Севастополя. Обосновывающие материалы. Схема и программа развития электроэнергетических систем России на 2025-2030 годы. Кн. 2. Город Севастополь. – С. 10-11.

ВЫЯВЛЕНИЕ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Пантюхова Н.Н., Углова М.Б., Гайдук С.В.

Проведен анализ современных методов выявления однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в сетях с изолированной нейтралью (6–35 кВ) системы электроснабжения собственных нужд электростанций. Рассмотрены способы технической реализации защит, реагирующие на следующие признаки: емкостной ток и напряжение нулевой последовательности, токи нулевой последовательности, создаваемые искусственным путем, высшие гармоники в установившемся режиме, токи переходного режима. Проведен сравнительный анализ методов по четырем свойствам релейной защиты: селективность, быстродействие, чувствительность и надежность. Дополнительно оценена сложность технической реализации и требования к применяемым измерительным и исполнительным органам (трансформаторам тока и реле). На основе сравнения выбран наиболее оптимальный метод – выявление однофазного замыкания на землю при помощи токов нулевой последовательности, создаваемых искусственным путем.

Введение

Система электроснабжения собственных нужд электростанций является важным элементом энергосистемы, отвечающим за сохранность генерирующего и вспомогательного оборудования, а также за обеспечение технологического процесса выработки электроэнергии. Данное оборудование имеет номинальное напряжение 6–35 кВ, что соответствует регламентируемому п 1.2.16 ПУЭ [1] режиму работы нейтрали в отечественных сетях, а именно режим изолированной нейтрали или компенсированной нейтрали, заземленной через большое индуктивное сопротивление дугогасящего реактора или через активное сопротивление. Режим работы нейтрали определяет величину тока в месте повреждения, возможный уровень перенапряжений на фазах, требования к фазной и линейной изоляции электрооборудования, устройство и принципы действия релейной защиты, вероятность возникновения феррорезонанса при неустойчивом (дуговом) замыкании в месте повреждения. Таким образом, применение изолированной нейтрали имеет ряд преимуществ: отсутствие превышения установленных ПУЭ токов при однофазном замыкании на землю, отсутствие искажений значений междуфазных напряжения с последующим сохранением работоспособности и сокращением перерывов в электроснабжении потребителей при возникновении однофазных замыканий на землю (ОЗЗ), что делает возможным выполнение действия защиты не только на отключение, но и на сигнал. Однако изолированная нейтраль подразумевает и наличие недостатков, а именно – при неустойчивых ОЗЗ, сопровождающихся перемежающейся дугой, наблюдается повышение вероятности появления феррорезонанса, перенапряжений высокой кратности на неповрежденных фазах, ведущих к повреждению изоляции, выходу из строя электрооборудования и дальнейший переход от аномального режима работы сети к аварийному с возникновением двухфазного короткого замыкания или двойного замыкания на землю. Кроме того, ток однофазного замыкания вблизи места замыкания на землю представляет опасность для жизни персонала.

Величина тока замыкания на землю определяется как утроенное значение емкостного тока нулевой последовательности. Защиты от замыкания на землю независимо от режима компенсации должны быть селективными и иметь высокую чувствительность, что осложняется величиной тока замыкания, находящегося в пределах до 30 А и требует применение устройств релейной защиты с возможностью выставления необходимых уставок и трансформаторов тока с минимальными погрешностями для достоверной трансформации первичного тока замыкания. Все применяемые устройства релейной защиты можно подразделить на четыре группы [3], реагирующие:

- 1) на естественный емкостной ток сети (при отсутствии компенсации или при наличии перекompенсации емкостного тока сети);
- 2) на токи нулевой последовательности, создаваемые искусственным путем;
- 3) на токи высших гармоник, возникающие в поврежденной линии при резонансной компенсации емкостных токов в установившемся режиме;
- 4) на токи переходного режима, возникающие в первый момент замыкания на землю.

Цель работы

Целью данной работы является анализ и сравнение существующих методов выявления однофазного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью с последующим выбором оптимального метода.

Выявление ОЗЗ с помощью емкостного тока и напряжения нулевой последовательности

Применение линейных трансформаторов тока нецелесообразно по причине сравнительно большого коэффициента трансформации, обусловленного током нагрузки линии, вследствие чего вторичный ток замыкания имеет очень малое значение. Для включения на такой ток, необходимо выбрать соответствующее токовое реле с большим сопротивлением обмотки, что приводит только к частичной трансформации и попаданию тока в реле, тогда как другая часть вторичного тока замыкается на вторичные обмотки трансформаторов тока неповрежденных фаз. Это свидетельствует об отсутствии требуемой чувствительности и необходимости применения более точного измерительного оборудования.

Для выполнения чувствительной селективной сигнализации о выявлении ОЗЗ необходимо использовать специальные трансформаторы тока нулевой последовательности (рис. 1), имеющие во вторичной обмотке малые токи небаланса, зависящие только от несимметрии расположения фаз первичного тока [3].

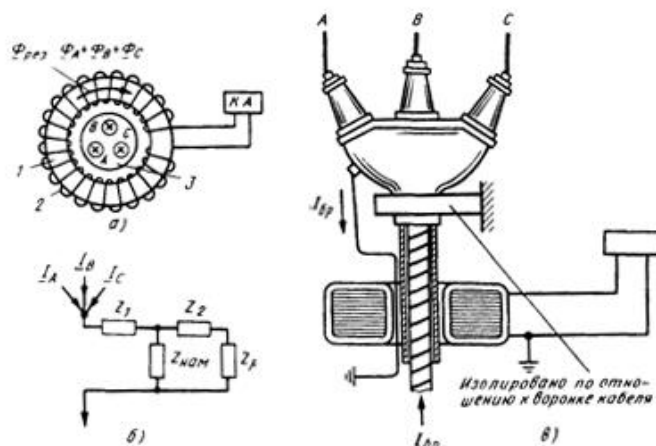


Рис. 1. Трансформатор тока нулевой последовательности:
 а – устройство; б – схема замещения; в – установка ТНП на кабеле;
 1 – магнитопровод; 2 – вторичная обмотка; 3 – трехфазный силовой кабель

Токи трех фаз создают соответствующие магнитные потоки, которые, складываясь, образуют результирующий поток. Так как сумма токов трех фаз определяется как утроенное значение тока нулевой последовательности, то можно утверждать, что результирующий магнитный поток также пропорционален току нулевой последовательности. Поток $\Phi_{рез}$, вторичная ЭДС E_2 и вторичный ток I_2 могут возникнуть только при условии, что сумма токов не равна нулю, то есть при наличии тока нулевой последовательности, появляющейся при замыкании фазы на землю. В режиме нагрузки и при многофазных коротких замыканиях во вторичной обмотке трансформатора тока нулевой последовательности будет протекать сумма токов фаз, равная нулю, и поэтому ток в реле отсутствует.

Кроме того, при прохождении токов по оболочке неповрежденного кабеля, проходящего через трансформатор тока нулевой последовательности, может возникнуть ток небаланса, который спровоцирует срабатывание защиты. Этот ток небаланса появляется при замыканиях на землю в других частях сети вблизи кабеля или при работе сварочных аппаратов. Для исключения ложной работы защиты необходимо компенсировать влияние блуждающих токов, замыкающихся по броневой оболочке кабеля, что достигается изолированием от земли воронки и оболочки кабеля (рисунок 1, в). При таком исполнении ток, проходящий по оболочке кабеля, возвращается по заземляющему проводу, вследствие чего магнитные потоки от тока броневой оболочки и провода в магнитопроводе взаимно уничтожаются, предотвращая ложное срабатывание. Таким образом селективность действия защиты основана на различии абсолютных значений токов $3I_0$ в защищаемой линии при замыкании на ней и замыкании на землю внешнем.

Для получения максимальной мощности от трансформатора тока нулевой последовательности, а значит и максимальной чувствительности реле, необходимо обеспечить равенство сопротивления обмотки реле сопротивлению самого трансформатора тока нулевой последовательности. Из эквивалентной схемы замещения (рисунок 1, б) видно, что при выполнении условия

$Z_p = Z_{нам}$ вторичный ток и ток намагничивания оказываются одинаковыми $I_p = I_{нам}$, отсюда следует, что погрешность трансформатора достигает около 50%. Поэтому чувствительность защиты оценивается по первичному току, при котором обеспечивается действие защиты. В

ряде случаев она должна быть на уровне долей ампера. При малых значениях трансформатор тока нулевой последовательности работает в начальной части характеристики намагничивания, при которой магнитодвижущая сила, созданная одновитковым трансформатором тока нулевой последовательности, очень мала. Таким образом, для обеспечения необходимой чувствительности, кроме конструктивных улучшений трансформаторов тока нулевой последовательности, требуется применение высокочувствительных исполнительных органов.

Токовое реле, подключенное к вторичной обмотке трансформатора тока нулевой последовательности, служит измерительным органом защиты и действует на сигнал через реле времени. В качестве измерительного органа применимо электромеханическое реле РТ- 40/2 или реле на полупроводниковой базе РТЗ-50. Целесообразней использовать последнее, так как защита может осуществить свою функцию даже при значении первичного тока замыкания в 1–2 А (диапазон регулирования уставки в пределах 10-60 мА). Также возможно применение реле типа РТЗ-51, выполненное на интегральных микросхемах. Данный тип реле имеет шесть диапазонов срабатывания по току – от 0,02 до 0,12 А, при это $k_b = 0,93$. Таким образом, предложенные реле имеют достаточную чувствительность и могут быть широко использованы в выявлении однофазного замыкания на землю.

Выявление ОЗЗ при помощи токов нулевой последовательности, создаваемых искусственным путем

В ряде случаев естественные токи нулевой последовательности недостаточны для надежной работы релейной защиты, особенно при высокоомных замыканиях (при переходном сопротивлении в месте КЗ $> 1\text{--}5\text{ кОм}$).

Поэтому для повышения чувствительности обнаружения однофазных замыканий на землю применяется метод создания токов нулевой последовательности искусственным путем, позволяющие увеличить сигнал повреждения и обеспечить селективность защит.

Суть метода заключается в заземлении нейтрали сети через активное сопротивление. Для создания и заземления нейтрали сети устанавливаются трансформаторы со схемой соединения «звезда-треугольник» (типа ТСЗК-63/10) с включенными между нейтралью обмотки высокого напряжения и контуром заземления двумя параллельно соединенными бетэловыми резисторами сопротивлением 200 Ом (рис. 2). Это позволяет повысить ток замыкания на землю до значений, достаточных для работы релейной защиты. Сигнал о замыкании регистрируется по появлению тока нулевой последовательности через специальные трансформаторы тока и чувствительные реле.

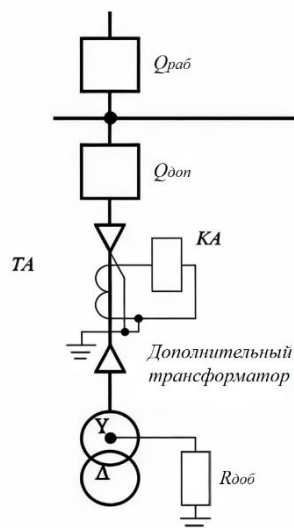


Рис. 2. Схема подключения дополнительного трансформатора к распределительному устройству собственных нужд при выполнении частичного заземления нейтрали сети

Таким образом, достигается повышение чувствительности к обнаружению замыканий на землю за счет увеличенного тока нулевой последовательности. Также достигается необходимая селективность выявления замыканий на конкретных присоединениях за счет использования направленных защит и чувствительных токовых реле стандартного исполнения (РТЗ-51, РТЗ-50, РТ-40/2). Частичное заземление нейтрали через активное сопротивление дополнительно снижает перенапряжения в сети при дуговых замыканиях и производит эффективное гашение дуги, что особенно важно для систем электроснабжения собственных нужд, где требуется высокая степень надежности питания асинхронной нагрузки [3].

Однако вышеупомянутый способ отличается особенностями, которые препятствуют безукоризненной работе системы собственных нужд:

- увеличение токов замыкания до 40 А и выше, что может приводить к развитию повреждений при длительном замыкании, особенно в ремонтных режимах;
- при ложном срабатывании защиты возможно нежелательное отключение секций собственных нужд, а значит снижается надежность питания;
- требуется выдержка времени для защиты от неотключаемых замыканий, что ухудшает условия резервирования питания;
- необходимость дополнительного оборудования.

Эти риски отражены и в анализе ПУЭ 7-го издания, где подчеркивается важность селективности и чувствительности защиты (п. 1.7.78–1.7.82 [2]).

Для электростанций применение данного метода требует выполнения ряда обязательных условий:

- отключение должно происходить без выдержки времени на присоединениях электродвигателей и дизель-генераторов;

- на секциях надежного питания – защита должна работать преимущественно на сигнал при выполнении функций безопасности, с возможностью перевода на отключение в нормальных режимах;
- выдержка времени на отключение ввода рабочего питания – порядка 0,5–1,0 секунд для предотвращения отказов схемы АВР (автоматического ввода резерва);
- контроль правильности функционирования защиты осуществляется в строгом соответствии с требованиями ПУЭ [2].

Выявление ОЗЗ при помощи высших гармоник в установившемся режиме

В установившемся режиме замыканий на землю емкостные токи повреждения и токи нулевой последовательности содержат кроме тока рабочей частоты 50 Гц составляющие высших гармоник. В сетях с компенсированной нейтралью сглаживаются лишь основные гармоники емкостного тока замыкания на землю ($3I_0$ и I_3), тогда как высшие гармоники остаются некомпенсированными.

Кроме того, из-за нелинейности характеристики намагничивания дугогасящего реактора, его индуктивный ток ($I_{ДГР}$) также содержит высшие гармоники. Эти гармоники суммируются с гармониками естественного емкостного тока в поврежденной линии электропередачи. Таким образом, высшие гармоники в токе I_3 и I_0 , имеют место как в некомпенсированной, так и компенсированной сетях. Высшие гармоники в токах возникают из-за наличия гармоник в фазных напряжениях и напряжении U_0 , под действием которых появляются эти токи.

Искажение формы напряжения возникает из-за падения напряжения на сопротивлениях элементов сети, вызванного несинусоидальными токами намагничивания силовых трансформаторов, а также некоторыми видами нагрузки. Дополнительным фактором являются высшие гармоники в ЭДС генераторов. Частотный состав и амплитуды этих гармоник могут меняться при изменении конфигурации сети, состава работающих трансформаторов и характера нелинейной нагрузки. В реальных условиях доля высших гармоник в токах достигает 5 – 15% от основной гармоники (50 Гц), а их частотный диапазон составляет 150 – 1000 Гц.

Как известно, токи неповрежденных линий, сходящиеся в месте замыкания, суммируются в поврежденной линии. Соответственно, высшие гармоники тока в аварийном присоединении равны сумме гармонических составляющих всех неповрежденных линий. В сетях с компенсированной нейтралью к этой сумме добавляются гармоники тока дугогасящего реактора.

В результате количество, амплитуды и общий уровень гармоник в токе поврежденной линии всегда превышают соответствующие показатели любой из неповрежденных линий. Это различие используется для построения селективных релейных защит, работающих на основе высших гармоник. Существует три основных принципа их действия:

- 1) Абсолютное значение гармоник – защита сравнивает уровень высших гармоник в каждом присоединении с заданной уставкой.
- 2) Относительное сравнение – уровни гармоник всех линий сопоставляются между собой, и поврежденной считается линия с наибольшим значением.

3) Сравнение с эталонной моделью – ток в каждом присоединении проверяется на соответствие модели линии с заведомо большим емкостным током.

Таким образом, различие в гармоническом составе токов позволяет селективно выявлять поврежденные участки сети. Кроме того, за счет применения частотных фильтров и релейных защит для анализа гармоник метод можно считать достаточно чувствительным. Отстройка от переходных процессов осуществляется следующим образом: при переходных процессах высшие гармоники токов неповрежденных фаз быстро затухают, а в установившемся режиме остаются только при замыкании, что уменьшает количество ложных срабатываний.

Применение метода сопряжено с определенными проблемами:

- необходимость сложной фильтрации с установкой частотных фильтров для отделения высших гармоник (LC -фильтры, настроенные на пропуск частот 150 – 200 Гц и подавление основной гармоники 50 Гц);
- зависимость спектрального состава токов от структуры и конфигурации сети;
- при наличии значительных искажений синусоиды даже без замыканий возможны ложные сигналы для срабатывания защиты;
- требуется точная настройка уставок чувствительности и фильтров по месту.

Таким образом, в системе собственных нужд электростанций применение метода контроля высших гармоник целесообразно при наличии разветвленной электрической сети и наличии компенсированной нейтрали для повышения надежности сигнализации о замыканиях на землю без немедленного отключения секций. Может использоваться в сочетании с другими методами для резервирования систем защиты.

Выявление ОЗЗ при помощи токов переходного режима

Метод основан на анализе переходных процессов, возникающих в сети в начальный момент возникновения однофазного замыкания на землю. Во время замыкания возникает резкое перераспределение зарядов в емкостях фаз относительно земли. Этот процесс носит характер периодических токов с затухающими амплитудами, чья частота и скорость затухания зависят от величин сопротивлений зарядного и разрядного контуров. Ключевая особенность заключается в том, что токи переходного процесса имеют намного большую амплитуду (в 3–5 раз превышающую установившиеся емкостные токи) и выраженные частотные характеристики, которые быстро затухают через несколько десятков миллисекунд. Кроме того, переходной процесс сопровождается появлением кратковременных импульсов токов нулевой последовательности, что дает возможность выявить поврежденное присоединение по величине и направлению переходного тока [3].

В качестве измерительного органа может применяться реле, реагирующее на амплитуду переходного тока. Такое реле должно обладать быстроедействием ($t_{CP} < 0,1$ с). При значительных начальных амплитудах защита может подключаться либо к трехтрансформаторному фильтру токов нулевой последовательности, либо к обычным трансформаторам тока нулевой последовательности на ток $3I_0$, при этом в измерительную цепь включается фильтр, пропускающий только высокочастотные составляющие (свыше 1000–2000 Гц).

Селективность защиты, как и в случае с гармоническими составляющими установившегося режима, обеспечивается за счет разницы в величине и направлении переходного тока в поврежденной и неповрежденных линиях. В поврежденной линии (на участке между местом КЗ и шинами подстанции Р) этот ток равен сумме токов всех неповрежденных присоединений.

Конструктивно защита может быть реализована двумя способами:

- с абсолютной уставкой по току в каждом присоединении;
- с относительным сравнением токов между присоединениями для выявления поврежденного участка по максимальному значению.

Несмотря на перспективность защиты на переходных токах пока не получили широкого распространения, однако активные разработки в этом направлении ведутся.

Альтернативным решением может быть применение реле направления мощности, реагирующего на направление (знак) электромагнитной волны тока. Это означает, что можно выполнить селективную защиту, срабатывающую при положительном знаке и протекании мощности от шин к точке повреждения на присоединении и недействующую при отрицательном знаке на неповрежденных присоединениях. Измерительный орган такой защиты должен выполняться с помощью быстродействующего реле направления мощности, способного подействовать от первого импульса мгновенной мощности S , пришедшего к месту установки защиты на фронте волны тока и напряжения и запомнить его.

Серийно выпускается и применяется в эксплуатации импульсное устройство релейной защиты типа ИЗС, выполненное на интегральных микросхемах. Токковые цепи устройства ИЗС могут подключаться к трансформаторам тока нулевой последовательности или к трех трансформаторному фильтру. Цепи напряжения подключаются к обмоткам измерительного трансформатора напряжения, соединенным в разомкнутый треугольник.

Таким образом, достигается требуемая селективность: токи переходного режима в поврежденной линии существенно больше, чем в неповрежденных. Обеспечивается высокая чувствительность, позволяющая выявить замыкания при токах меньше 1 А в установившемся режиме, вместе с этим и быстродействие, и локализация замыкания, не требующая для срабатывания защиты наступления установившегося режима. Отличительной чертой данного метода является и независимость от способа заземления нейтрали. Эти преимущества делают метод особенно эффективным для сетей собственных нужд электростанций, где требуется максимально быстрое обнаружение дефектов.

Однако необходимо и применение высокоточной и быстродействующей аппаратуры, способной произвести отделение переходных токов от помех и установившихся токов. Важен точный подбор уставок, исключая ложное срабатывание при включении мощных нагрузок, таких как двигатели и сварочные аппараты, и от внешних коротких замыканий.

Выводы

Метод выявления ОЗЗ по естественным емкостным токам подходит только для простых сетей без компенсации. На электростанциях, где сеть сложная, разветвленная и содержит дугогасящие реакторы или резисторы в нейтрали, этот способ малопригоден. Он не

обеспечивает нужную селективность и чувствительность для сетей собственных нужд 6 –10 кВ.

Применение искусственно создаваемых токов нулевой последовательности – основной и наиболее распространенный способ выявления ОЗЗ в сетях собственных нужд электростанций. Используется активно благодаря высокому уровню селективности, чувствительности и приемлемой простоте реализации. Именно этот способ прописан в рекомендациях для АЭС, ТЭС и ГРЭС (например, через трансформаторы ТСЗК-63/10 с резисторами) [2].

Метод выявления ОЗЗ по токам высших гармоник используется в основном в сетях с компенсированной нейтралью, где обычный ток замыкания мал. Помогает повысить чувствительность, но как самостоятельный метод редко используется из-за зависимости от качества напряжения и сетевых искажений.

Метод выявления ОЗЗ по токам переходного режима – наиболее прогрессивный метод, обладающий высочайшей чувствительностью и быстродействием. Однако требует применения современной цифровой техники, точной настройки и защиты от помех. На новых энергоблоках и современных электростанциях активно внедряется в дополнение к методам искусственного создания токов нулевой последовательности.

Можно сделать вывод, что для систем электроснабжения собственных нужд электростанций наиболее эффективным и широко применяемым методом является метод выявления ОЗЗ по токам нулевой последовательности, создаваемым искусственным путем (способ №2). В перспективных проектах он комбинируется с методом по токам переходного режима (способ №4) для повышения чувствительности и скорости обнаружения повреждений, особенно при малых токах замыкания.

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Раздел 1. Общие правила. Глава 1.2. Электроснабжение и электрические сети. (Издание седьмое), утв. Прик. Минэнерго России от 08.07.2002 №204. «Сфера», М. 2002.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Раздел 1. Общие правила. Глава 1.7. Заземление и защитные меры электробезопасности. (Издание седьмое), утв. Прик. Минэнерго России от 08.07.2002 №204. «Сфера», М. 2002.
3. Эксплуатация релейной защиты электрооборудования электрических станций. Конспект лекций по дисциплине: учебное пособие для студентов направления подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиля «Электрические станции». В двух частях. Ч. 1 / М.Б. Углова, А.В. Углов; Севастопольский государственный университет. – Севастополь: СевГУ, 2023. – 101 с.: ил. – Текст: непосредственный.

УДК 620.92

СОЛНЕЧНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Я.А.Раскосов, Р.В Павлика, Р.У. Хатилов, М.А. Хиясединов

Развитие солнечной энергетики на Юге России является одной из ключевых задач современной энергетической политики страны. Этот регион обладает уникальными природными условиями, способствующими эффективному использованию солнечной энергии: высокой инсоляцией (до 1 800 кВт·ч/м² в год), большим количеством солнечных дней (более 250 в году) и обширными незанятыми территориями, пригодными для размещения солнечных электростанций (СЭС).

Введение

Россия традиционно зависит от ископаемых энергоресурсов (нефть, газ, уголь), однако их запасы ограничены, а добыча сопряжена с экологическими рисками. Переход к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ), в частности к солнечной генерации, позволяет: снизить зависимость от углеводородов; уменьшить нагрузку на традиционные энергосети; обеспечить энергоснабжение удалённых и труднодоступных районов.

Использование солнечной энергии способствует сокращению выбросов парниковых газов и других вредных веществ, что соответствует глобальным трендам декарбонизации экономики. В условиях ужесточения экологических норм и требований международных соглашений (например, Парижского климатического соглашения) развитие ВИЭ становится стратегически важным направлением.

Таким образом, развитие солнечной энергетики на Юге России актуально не только с точки зрения энергоэффективности, но и в контексте экологической устойчивости, экономической целесообразности и социального развития региона.

Цель работы

Задачей исследования в представленной работе являлось проведения анализа использования солнечной энергетики на юге Российской Федерации, а также анализ используемых технологий.

Принципы работы солнечных электростанций

Солнечные электростанции (СЭС) преобразуют энергию солнечного излучения в электрическую с помощью различных технологических решений. В зависимости от метода преобразования выделяют два основных типа СЭС: фотоэлектрические станции (ФЭС) – используют фотоэлектрический эффект в полупроводниках. Солнечные тепловые электростанции (CSP – Concentrated Solar Power) – концентрируют солнечный свет для нагрева теплоносителя с последующим преобразованием тепловой энергии в электрическую.

Фотоэлектрические станции (ФЭС)

Принцип работы ФЭС основаны на фотоэлектрическом эффекте, при котором фотоны света, попадая на полупроводниковый материал (обычно кремний), выбивают электроны, создавая электрический ток.

Основные компоненты ФЭС Солнечные панели (модули) – состоят из фотоэлементов (ячеек), соединённых последовательно и параллельно. Инверторы – преобразуют постоянный ток (DC) в переменный (AC) для подачи в сеть. Система крепления и трекеры – обеспечивают оптимальный угол наклона панелей для максимального захвата солнечного света. Аккумуляторы (опционально) – накапливают энергию для использования в периоды низкой инсоляции.

Преимущества ФЭС: простота конструкции и монтажа, отсутствие движущихся частей (высокая надёжность), возможность масштабирования (от небольших домашних установок до промышленных СЭС).

Недостатки: зависимость от погоды и времени суток, снижение КПД при перегреве панелей, необходимость утилизации отработанных модулей.

Солнечные тепловые электростанции (CSP) для комбинированного использования энергии

Принцип работы: CSP-станции используют зеркала (гелиостаты или параболические концентраторы) для фокусировки солнечного света на приёмнике, где нагревается теплоноситель (вода, масло или расплавленные соли). Полученное тепло используется для генерации пара, который вращает турбину, соединённую с электрогенератором.

Основные типы CSP-станций: башенные СЭС – множество гелиостатов фокусируют свет на центральную башню. Параболические желоба – длинные зеркальные трубы концентрируют свет на трубке с теплоносителем. Тарельчатые системы – отдельные параболические зеркала направляют свет на двигатель Стирлинга.

Преимущества CSP: возможность накопления тепловой энергии (использование расплавленных солей позволяет работать ночью), высокая эффективность в регионах с прямой солнечной радиацией.

Недостатки: высокая стоимость строительства, необходимость больших площадей, сложность эксплуатации (подвижные элементы, необходимость охлаждения).

Таблица 1 – Сравнение характеристики ФЭС и CSP

Критерий	ФЭС	CSP
КПД	15–22%	20–35%
Накопление	Требуется аккумуляторы	Встроенное (тепловые хранилища)
Стоимость	Дешевле	Дороже
Гибкость	Подходит для малых установок	Только крупные проекты

Результаты анализа

Фотоэлектрические станции более распространены из-за простоты и универсальности, тогда как CSP-технологии применяются в крупных проектах с возможностью термального накопления энергии. На Юге России, где высокий уровень инсоляции, оба типа СЭС имеют перспективы развития. Типы солнечных электростанций (ФЭС, CSP), современная солнечная энергетика предлагает несколько технологических решений для преобразования солнечной энергии в электрическую. В зависимости от принципа работы и конструкции выделяют следующие основные типы солнечных электростанций: Фотоэлектрические станции (ФЭС) наиболее распространенный тип СЭС, преобразующий солнечное излучение непосредственно в электричество. Рассмотрим подтипы ФЭС:

Сетевые ФЭС: Подключены к централизованной энергосистеме, не имеют аккумуляторных батарей, обеспечивают продажу электроэнергии в сеть

Автономные ФЭС: работают независимо от централизованной сети, оснащены аккумуляторными батареями, используются в удаленных районах

Гибридные (комбинированные) ФЭС: комбинируют солнечную генерацию с другими источниками (дизель, ветер), имеют систему аккумулирования энергии, обеспечивают бесперебойное энергоснабжение, стационарные (фиксированный угол наклона), с системами слежения (одноосные и двухосные трекеры), наземные и кровельные установки

Солнечные тепловые электростанции (CSP) концентрирующие солнечные станции используют тепловую энергию солнца для производства электроэнергии. **Основные типы CSP:**

Станции башенного типа: состоят из поля гелиостатов (зеркал), зеркала фокусируют излучение на приемник на вершине башни, температура в приемнике достигает 500-1000°C, КПД преобразования - 15-20%,

Станции с параболическими желобами: используют длинные параболические зеркала, фокусируют свет на трубке с теплоносителем, рабочая температура 300-400°C, наиболее распространенный тип CSP,

Тарельчатые системы: отдельные параболические зеркала большого диаметра, фокусируют свет на двигатель Стирлинга, высокий КПД (до 30%), компактные, но дорогие в эксплуатации, **станции с линейными отражателями Френеля:** используют плоские или слабоизогнутые зеркала, более простая конструкция, меньшая эффективность по сравнению с параболическими системами.

Комбинированные (гибридные) солнечные станции современные разработки предлагают комбинации различных технологий: ФЭС + CSP (фотоэлектричество и тепловая энергия), солнечные станции с системами аккумулирования энергии, солнечно-дизельные гибридные системы, солнечно-ветровые комплексы.

Выбор типа солнечной электростанции зависит от множества факторов: климатических условий, требуемой мощности, наличия свободных площадей, экономической целесообразности. На Юге России, где отмечается высокая инсоляция и большое количество солнечных дней в году, могут эффективно работать все перечисленные типы СЭС, однако наибольшее распространение получили фотоэлектрические станции благодаря их относительно низкой стоимости и простоте эксплуатации.

Эффективность (КПД) солнечной панели - это показатель, определяющий, какая часть солнечной энергии, попадающей на поверхность панели, преобразуется в полезную электрическую энергию. Рассчитывается по формуле:

КПД = (Выходная электрическая мощность / Падающая солнечная мощность) × 100%

Факторы, влияющие на КПД:

Основные факторы, снижающие эффективность преобразования:

Физические ограничения: теоретический предел для кремниевых элементов - 33,7% (предел Шокли-Квайссера), потери на отражение (4-8%), неполное поглощение фотонов, тепловые потери (10-25%)

Внешние факторы: температура (рост на 1°C выше 25°C снижает КПД на 0,4-0,5%), загрязнение поверхности (до 30% потерь), угол падения солнечных лучей, частичное затенение.

Пути повышения эффективности: антибликовые покрытия, пассивация поверхности, двусторонние панели (bifacial, +5-20% выработки), системы охлаждения (жидкостные, воздушные), системы слежения за солнцем (трекеры), оптимальный угол наклона, регулярная очистка поверхностей, **перспективные разработки** квантовые точки (до 66% теоретически), органические фотоэлементы, термофотовольтаика (TPV), фотовольтаические концентраторы (CPV).

Практическая эффективность СЭС системные потери: инверторы (3-8%), кабельные линии (1-3%), загрязнение поверхности (до 25% потерь без очистки), частичное затенение в течение дня, погодные условия (облачность, осадки).

Максимальная эффективность достигается в ясные дни при перпендикулярном падении лучей, утренние/вечерние часы дают на 30-40% меньшую выработку, полуденный перегрев панелей снижает КПД на 10-15%

Сезонные изменения: летом - высокая производительность, но тепловые потери, зимой - меньше тепловых потерь, но ниже инсоляция, весенний/осенний периоды наиболее благоприятны по сочетанию факторов

Географические особенности: в южных регионах (Краснодарский край, Крым) среднегодовая эффективность на 15-20% выше, чем в центральных, горные районы имеют преимущество за счет более чистого воздуха, прибрежные зоны требуют защиты от солевых отложений.

Географические и климатические особенности Юга России представляет собой уникальную территорию с точки зрения развития солнечной энергетики. Регион охватывает обширные площади с благоприятными для солнечной генерации природно-климатическими условиями: включает территории Краснодарского края, Ставрополя, Ростовской области, Крыма, Астраханской области и Республики Дагестан, разнообразный рельеф: от равнин до предгорий Кавказа, умеренно-континентальный и субтропический климат, среднегодовая температура: +10°C до +14°C, количество солнечных дней: 220-280 в году, низкая облачность в летний период, высокая прозрачность воздуха, низкое содержание аэрозолей, минимальная промышленная задымленность.

Показатели солнечной инсоляции среднегодовые значения: прямая солнечная радиация: 1 400-1 800 кВт·ч/м², суммарная радиация: 1 600-2 000 кВт·ч/м²

Максимальные показатели в Астраханской области и Республике Крым: летний период (май-август): 60-70% годовой радиации, зимний период (декабрь-февраль): 8-12% годовой радиации, равномерность распределения по месяцам выше в прибрежных районах, пиковые значения в полдень: 800-1 000 Вт/м², продолжительность солнечного сияния: 7-9 часов в летний день, угол солнца над горизонтом в полдень: 67° (летом), 20° (зимой).

Краснодарский край: годовая инсоляция: 1 450-1 650 кВт·ч/м², благоприятные районы: Анапский, Темрюкский, Крымский районы, особенности: высокая влажность в прибрежной зоне.

Республика Крым: наивысшие показатели: до 1 800 кВт·ч/м², рекордные значения в Симферопольском и Джанкойском районах, минимальная облачность в степной части.

Астраханская область: стабильно высокие значения: 1 700-1 800 кВт·ч/м², максимальное количество солнечных дней, проблема пылевых бурь в отдельных районах.

Ставропольский край: средние показатели: 1 500-1 650 кВт·ч/м², благоприятные ветровые условия для охлаждения панелей, высотная дифференциация показателей.

Влияние климатических факторов на работу СЭС положительные аспекты: высокая интенсивность солнечного излучения, длительный световой день в летний период, умеренные зимние температуры (редкие отрицательные рекорды)

Проблемные факторы: летний перегрев панелей (до +65°C на поверхности), пылевые загрязнения в степных районах, сезонные песчаные бури в отдельных местностях, градовые явления в предгорных районах.

Адаптационные меры: специальные покрытия для уменьшения перегрева, системы автоматической очистки поверхностей, усиленные конструкции для ветровой нагрузки, оптимизация углов наклона по сезонам.

Перспективные зоны для развития солнечной энергетики: степные районы Калмыкии, полупустынные зоны Астраханской области, равнинные территории восточного Крыма, предгорные плато Ставрополья.

Критерии выбора площадок: годовая инсоляция не менее 1 500 кВт·ч/м², уклон территории не более 3-5°, близость к энергетической инфраструктуре, отсутствие природоохранных ограничений.

Зоны с ограничениями: черноморское побережье (высокая влажность), горные районы Кавказа (сложный рельеф), пойменные территории рек (паводковая опасность).

Юг России обладает исключительно благоприятными условиями для развития солнечной энергетики, превосходя по показателям инсоляции большинство других регионов страны. Климатические особенности региона позволяют добиться высоких показателей эффективности солнечных электростанций при условии правильного учета местных природных факторов и применения адаптированных технических решений. Наибольший потенциал сосредоточен в степных и полупустынных районах Астраханской области, Калмыкии и восточного Крыма, где сочетание высоких значений солнечной радиации и минимальных природных ограничений создает идеальные условия для масштабного развития солнечной генерации.

Юг России является лидером по развитию солнечной генерации в стране. По состоянию на 2023 год в регионе сосредоточено более 60% всех российских солнечных мощностей.

Суммарная установленная мощность: свыше 1,5 ГВт, более 50 крупных СЭС, **темпы роста** 15-20% в год, **доля в энергобалансе:** до 5% в отдельных регионах.

Заключение

Юг России обладает всеми необходимыми предпосылками, чтобы стать национальным лидером в области солнечной энергетики. Реализация этого потенциала будет способствовать как энергетической безопасности региона, так и выполнению климатических обязательств страны в целом. Дальнейшие исследования целесообразно сосредоточить на вопросах интеграции СЭС в единую энергосистему и разработке интеллектуальных систем управления генерацией.

Список использованных источников

1. Федеральный закон № 35-ФЗ "Об электроэнергетике" (ред. 2023).
2. Андрианов В. Н. Возобновляемая энергетика в России. – М.: Энергоатомиздат, 2020. – 320 с.
3. IEA (2022). Renewables 2022: Analysis and forecast to 2027.
4. Доклад Минэнерго РФ "Развитие ВИЭ в России" (2023).

УДК 628.9

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕТОВОДОВ

Я.А. Раскосов, А.И. Струков, Б.А. Якимович

В работе были рассмотрены варианты питания систем освещения с помощью альтернативных источников питания – световодов. Использование световодов в системах освещения и электроснабжения становится все более популярным. Световоды представляют собой гибкие трубки из прозрачного материала, способные передавать свет и обеспечивать эффективное распределение энергии. Их уникальные свойства делают их идеальным решением для разработки инновационных систем освещения, которые обладают высокой эффективностью и долговечностью.

Введение

Разработка систем освещения и электроснабжения с использованием световодов является актуальной задачей в современной инженерной практике. Световоды представляют собой необычайно эффективное средство передачи света, позволяющее создавать равномерное и комфортное освещение даже в труднодоступных местах. Они также обладают высокой устойчивостью и долговечностью, что делает их идеальным выбором для использования в системах освещения.

Световоды представляют собой инновационную технологию, позволяющую передавать свет извне внутрь здания без необходимости использования множества источников освещения или электричества.

Интеграция световодов в системы освещения и электроснабжения позволяет значительно улучшить эффективность потребляемой энергии и снизить общие эксплуатационные расходы.

Кроме того, использование световодов способствует снижению нагрузки на электросеть и обеспечивает более равномерное распределение света по всему помещению.

Цель работы

Целью данной работы является разработка комбинированной системы освещения и электроснабжения на базе трубчатых световодов для снижения энергопотребления.

Результаты исследований

Результаты исследования показали, что применение световодов в системах освещения и электроснабжения зданий имеет ряд значительных преимуществ. Вот некоторые из них:

- Во-первых, световоды обладают высокой эффективностью передачи света, что позволяет снизить энергопотребление и повысить экономичность системы.
- Во-вторых, они обеспечивают равномерное и мягкое освещение, что способствует комфортности пребывания людей в помещении.

Применение световодов позволяет также создавать эстетически привлекательные решения в дизайне интерьера, благодаря возможности использования гибких и тонких

световодных элементов различных форм и цветов. Это открывает широкие возможности для архитекторов и дизайнеров в создании уникальных световых решений.

Таким образом, использование световодов в системах освещения и электроснабжения зданий является эффективным и современным способом обеспечения качественного освещения, экономии энергоресурсов и создания привлекательного интерьера здания.

В ходе исследования был рассмотрен вариант применения световодов в промышленном здании. Выявлены следующие плюсы и минусы данного варианта:

Преимущества использования световодов в промышленных зданиях заключаются в эффективном использовании естественного света, что снижает энергозатраты на освещение и способствует снижению затрат на электроэнергию. Световоды также позволяют равномерно распределять свет по помещению, что улучшает условия труда сотрудников и сокращает усталость глаз. Кроме того, световоды не требуют частой замены ламп и обслуживания, что уменьшает операционные расходы.[1]

Однако недостатком использования световодов может быть ограниченный выбор дизайна и формы светильников, что может ограничить архитектурные решения при проектировании здания. Также, за счет того, что световоды зависят от погодных условий и направления солнечного света, они могут быть менее надежными в случае облачной или пасмурной погоды. Необходимо учитывать данные преимущества и недостатки при выборе использования световодов в промышленных зданиях.

Технические особенности установки световодов в промышленных зданиях очень важны для обеспечения оптимального освещения и эффективности производственных процессов.

При выборе световодов необходимо учитывать не только их длину и диаметр, но и материалы, из которых они изготовлены. В промышленных условиях важно использовать прочные материалы, устойчивые к механическим повреждениям и химическим воздействиям.[2]

Кроме того, необходимо учитывать возможность установки световодов на высоких высотах и в сложных условиях производства. Профессиональный монтаж и регулярное обслуживание световодов также играют важную роль в обеспечении их надежной работы в промышленных зданиях.

Рассмотрим структурную схему устройства световода.

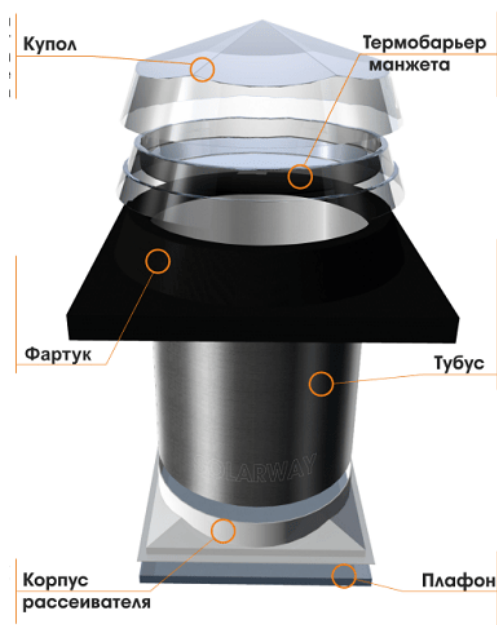


Рисунок 1 – Структурная схема световода

На данной схема расположены следующие составляющие световода:

1) Купол – это верхняя часть световода, выполненная из прозрачного и ударопрочного материала (чаще всего купол выполняется из поликарбоната или закаленного стекла). Он собирает солнечный свет и защищает внутренние элементы от осадков и загрязнений.

2) Термобарьер манжета служит для предотвращения проникновения холодного воздуха и конденсата в помещении, обеспечивая теплоизоляцию.

3) Фартук - обрамление световода, которое помогает герметично соединить его с крышей или стеной и предотвращает утечки света и воздуха.

4) Тубус - основная часть световода, по которой свет проходит в помещение.

В основном является зеркальным с серебряным напылением и отражает до 99% света. Служит для передачи света из верхнего сферического купола и поступает внутрь строения по рассеивателю.

5) Корпус рассеивателя устанавливается внутри помещения и распределяет свет по комнате, создавая мягкое и равномерное освещение. Обычно для изготовления корпуса используется двухслойный поликарбонат.

6) Плафон - завершает световод в помещении, добавляя декоративный элемент и обеспечивая дополнительную защиту.

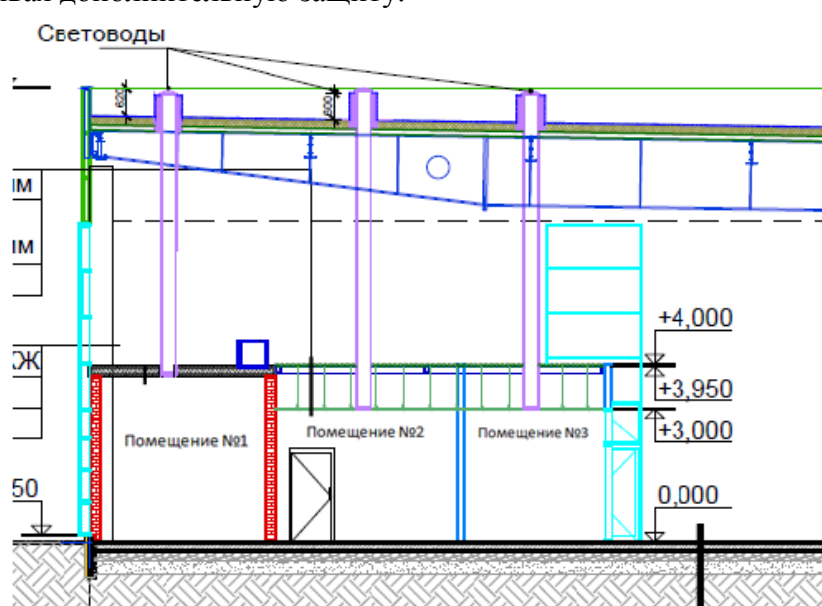


Рисунок 2 – Схема проводки световода

Структура световода обычно состоит из оптического волокна, оболочек, усилителей и разветвителей сигнала. Для подключения и питания световода используется специальная схема, включающая в себя блоки питания, коннекторы и приемопередатчики. Эти устройства обеспечивают стабильное электроснабжение и передачу сигнала по всей системе. Кроме того, существует возможность использования различных источников питания, таких как солнечные батареи или аккумуляторы, для обеспечения энергии системы. Разработка систем освещения и электроснабжения с использованием световодов позволяет создавать энергоэффективные и долговечные конструкции для освещения различных объектов и территорий.[3] Одни из преимуществ использования данной системы:

1. Световод не проводит ультрафиолетовых лучей, которые разрушительно влияют на большинство материалов.

2. Световод не проводит инфракрасных лучей, т.е. в месте свечения отсутствует нагрев: свечение, каким бы оно ярким ни было, холодное.

3. Световод обладает способностью проводить большие световые потоки при минимальном диаметре кабеля или нитей — это позволяет подсвечивать места, которые до этого подсвечивать было весьма сложно либо очень затратно.

4. Система световодов позволяет легко контролировать смену цвета или светоэффекта, в т. ч. механически с помощью светофильтров, что открывает огромные возможности для дизайна.[4]

Выводы

При разработке систем освещения и электроснабжения с использованием световодов были выявлены следующие выводы.

Световоды обладают высокой эффективностью и экономичностью, поскольку минимизируют потери энергии при передаче света. Они также обладают долгим сроком службы и надежностью работы.

Использование световодов позволяет осуществить равномерное и точное освещение помещений, а также создать уникальные световые эффекты. Однако, при проектировании систем необходимо учитывать технические особенности световодов, их требования к установке и обслуживанию, а также грамотно подбирать источники света и управляющее оборудование.

В современной промышленности использование световодов становится все более актуальным и востребованным. Они предоставляют энергосберегающее освещение больших помещений, уменьшая расходы на электроэнергию и обслуживание.

Перспективы развития использования световодов в промышленности включают в себя улучшение технологий производства, что приведет к снижению стоимости установки и обслуживания. Также возможны инновационные разработки, позволяющие сделать световоды более гибкими, долговечными и экологически безопасными.

В будущем использование световодов в промышленных зданиях станет стандартом, обеспечивая оптимальные условия освещения и экономическую выгоду для предприятий.

Список использованных источников

1. Карасева Л.В., Лузина Ю.Л. Современные методы повышения естественной освещенности помещений в уплотненной городской застройке Молодой исследователь Дона, 2018, № 4 (13). URL: mid-journal.ru/publications/4-2018/
2. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. Москва, 2008. 952 с.
3. Дженкинс Д., Мунир Т. Характеристики световодов и светопроемов, используемых в системах естественного освещения // Светотехника. 2003. №6. С.34-38.
4. Стецкий С.В., Корнеев С.С. Сравнительный анализ эффективности различных типов системы верхнего естественного освещения в общественных и производственных зданиях // Инженерный вестник Дона, 2020, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2020/6421
5. Бракале Дж. Естественное освещение помещений с помощью новой пассивной световодной системы «SOLARSPOT» // Светотехника. 2005. № 5. С. 34-42.

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА ПО ЮГУ РОССИИ

А.И. Струков, Я.А. Раскосов, В.В. Кувшинов

В работе были рассмотрены возможности развития ветроэнергетики на Юге России, включая анализ природно-климатических условий, технологических решений и ключевых проектов. Использование ветровых ресурсов в данном регионе становится стратегическим направлением для обеспечения энергобезопасности и снижения углеродного следа. Юг России обладает уникальным ветровым потенциалом, обусловленным сочетанием равнинных степей, горных хребтов и прибрежных зон.

Введение

Развитие ветроэнергетики на Юге России является ключевым направлением в переходе к альтернативным источникам энергии. Регион обладает уникальным ветровым потенциалом благодаря сочетанию природно-климатических условий: равнинные степи, горные хребты и морские побережья создают устойчивые воздушные потоки. Ветроэнергетика здесь не только снижает зависимость от традиционных энергоресурсов, но и способствует экономическому росту и экологической устойчивости.

Цель работы

Целью данной работы является анализ современного состояния ветроэнергетики на Юге России, включая оценку ветрового потенциала, ключевых проектов, технологических решений и перспектив развития до 2035 года.

Результаты исследований

Результаты исследования показали, ветровой потенциал Юга России выделяется высоким ветроэнергетическим потенциалом, который варьируется в зависимости от географических особенностей:

- прибрежные зоны (Крым, Таманский полуостров): средние скорости ветра — 6–8 м/с, время использования установленной мощности (ВИУМ) — до 3000 часов/год.
- степные районы (Ростовская область, Ставрополье): скорости ветра — 5–7 м/с, ВИУМ — 2000–2300 часов.
- горные перевалы Кавказа: скорости ветра — 7–9 м/с, ВИУМ — до 3500 часов.

Климатические риски, такие как пыльные бури и коррозия в прибрежных зонах, требуют адаптации технологий, включая антикоррозийные покрытия и системы автоматического отключения при экстремальных ветрах.

Ключевые ветроэнергетические проекты и их особенности:

- 1) Адыгейская ВЭС (150 МВт)

Первый крупный ветропарк, построенный по международным стандартам. Интеграция с солнечной энергетикой для повышения эффективности. Социальный эффект: создание рабочих мест и поддержка местных сообществ.

2) Сакская ВЭС в Крыму (100 МВт)

Обеспечивает 15% потребностей восточного Крыма. Использование антикоррозионных технологий для защиты от солёного воздуха.

3) Кумженская ВЭС в Ростовской области (90 МВт)

Применение искусственного интеллекта для прогнозирования выработки энергии. Накопители Tesla Powerpack для балансировки нагрузки.

Технологические особенности и инновации:

Типы ветротурбин и их особенности:

Горизонтально-осевые турбины (HAWT):

- Преобладают на Юге России (90% установок).
- Пример: турбины Siemens Gamesa SG 2.5-129 на Адыгейской ВЭС.

Особенности:

- Высота башен — 135 м, длина лопастей — 63 м.
- Регулировка угла лопастей (pitch control) для адаптации к сезонным ветрам.
- КПД до 45%.

Вертикально-осевые турбины (VAWT):

- Используются в горных районах (Кабардино-Балкария) и прибрежных зонах.
- Преимущества: устойчивость к турбулентности, упрощённый монтаж.
- Пример: QuietWind QW-200 (200 кВт) с эффективностью на 20% выше HAWT.

Локализация и импортозамещение:

Производственные мощности: лопасти: завод «Роснано» в Ульяновске (длина до 65 м, стеклопластик). Генераторы: Волгодонский завод (АТМО-3.0 для Кумженской ВЭС). Доля российских компонентов: 50% в новых проектах (против 15% в 2017 г.).

Климатическая адаптация ветроустановок к Южным регионам России:

- Антикоррозионные покрытия (графен — Сакская ВЭС).
- Пылезащитные фильтры (Астраханская область).
- Системы обогрева лопастей (предгорья Кавказа).

Вызовы и ограничения:

Инфраструктурные проблемы: износ сетей КЛД передачи — 78% (против 92% в ЕС), особенно в Ставрополье. Нехватка ЛЭП для подключения новых объектов. Коррозия оборудования, в прибрежных зонах (Крым) срок службы лопастей сокращается с 25 до 15 лет. Логистика сложности транспортировки турбин в горные районы Кавказа.

Административные препятствия развития: срок согласования проектов — до 2 лет (против 6 месяцев в других странах). Отсутствие «зелёных» тарифов. Низкая рентабельность малых ВЭС в Краснодарском крае. Технологические и экономические ограничения

Зависимость от импорта и проблемы на рынках сбыта и ранках турда: 70% оборудования (2023 г.) — китайского производства редукторы CRRC, в случае ухудшения отношения с Китаем, могут возникнуть трудности с эксплуатацией и ремонтом. Трудности с ПО для турбин Vestas установленных в Крыму. Лоббирование газовых компаний: субсидии для ТЭС в ущерб ВИЭ. Нехватка инженеров по эксплуатации ВЭС.

Перспективы до 2035 года

1. Цели развития

- Доля ВИЭ в энергобалансе Юга России — 15% к 2030 г. (Энергетическая стратегия РФ).
- Установленная мощность ветропарков — 5 ГВт к 2035 г. (против 1,2 ГВт в 2023 г.).
- 80% российских компонентов к 2030 г.
- Строительство завода по производству башен в Таганроге (совместно с Турцией).
- Партнёрство с Китаем (CRRC) и Индией в области R&D.
- Развитие образования в этой сфере, а так же популяризация этого направления среди ИТР

2. Приоритетные зоны развития

- Шельф Каспийского и Азовского морей:

Плавающие ВЭС (проект MingYang MySE 6.0-242, 6 МВт). Глубина установки — 15–20 м, обеспечение энергией прибрежных посёлков.

- Горные районы Кавказа:

Мини-ВЭС (до 1 МВт) для электроснабжения удалённых сёл. Вертикально-осевые турбины (VAWT) для сложного рельефа.

- Степные регионы:

Ветро-водородные кластеры (Астрахань, Волгоградская область).

3. Перспективные технические решения для внедрения в ВЭС

Внедрение нейросетей для управления гибридными системами. Предиктивная аналитика для снижения простоев на 20%. Использование лопастей из углепластика с кевларовым покрытием (срок службы — 30 лет).

Выводы

Развитие ветроэнергетики на Юге России демонстрирует значительный прогресс. Регион, обладающий уникальным сочетанием природных условий — от степных равнин до горных перевалов и прибрежных зон, — доказал свою способность генерировать устойчивую энергию ветра. Успехи воплотились в масштабных проектах, таких как Адыгейская ВЭС, где интеграция с солнечной энергетикой повысила эффективность, или Крымские ветропарки, обеспечивающие энергобезопасность полуострова. Технологические инновации, включая применение искусственного интеллекта для прогнозирования выработки, антикоррозионные покрытия для защиты оборудования и гибридные системы хранения энергии, позволили не только оптимизировать процессы, но и сократить эксплуатационные расходы. Однако

развитие отрасли сталкивается с серьёзными вызовами. Инфраструктурные ограничения, такие как износ сетей и нехватка ЛЭП, замедляют подключение новых объектов. Зависимость от импорта компонентов, особенно в условиях санкций, требует ускоренной локализации производства. Нормативные барьеры, включая длительные сроки согласования проектов и конфликты с местными сообществами, также остаются препятствием. Кроме того, конкуренция с традиционной энергетикой, поддерживаемой лоббистскими группами, создаёт дисбаланс в распределении субсидий. Перспективы ветроэнергетики на Юге России связаны с реализацией амбициозных планов до 2035 года. Расширение мощностей за счёт плавучих ВЭС на шельфе Каспийского моря, и развитие мини-станций в горных районах могут превратить регион в национальный центр «зелёной» энергетики. Для этого необходимы скоординированные усилия государства, бизнеса и научного сообщества: инвестиции в модернизацию сетей, поддержка НИОКР, подготовка кадров и создание гибкой регуляторной среды. В долгосрочной перспективе Юг России способен не только обеспечить собственную энергонеzáвисимость, но и стать экспортёром инновационных решений, демонстрируя, как природные ресурсы и технологический прогресс могут сочетаться для достижения устойчивого развития. Успех этой трансформации зависит от преодоления текущих ограничений и формирования комплексной стратегии, где ветер станет новой «нефтью» региона — чистым, возобновляемым и экономически выгодным источником энергии.

Список использованных источников

1. Доклад о состоянии ветроэнергетики в Южном федеральном округе за 2022 год / под ред. А.И. Петрова. – Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2023. – 98 с.
2. Отчёт о реализации программы ДПМ ВИЭ в 2018–2023 гг. / АО «НоваВинд». – М.: НоваВинд, 2023. – 67 с.
3. Климатические особенности и ветровой потенциал Юга России / В.С. Иванов, Л.М. Сидорова // Альтернативная энергетика и экология. – 2021. – № 5 (245). – С. 34–41.
4. Роль ветроэнергетики в энергобезопасности Крыма / С.К. Волков, Т.Н. Миронова // Энергетика: экономика, техника, экология. – 2022. – № 12. – С. 22–29.
5. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года [утв. распоряжением Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р]. – М.: Минэнерго России, 2020. – 184 с.

ТРЕХКОМПОНЕНТНАЯ ЛАЗЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАССЕЯНИЯ СВЕТА НА ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

**М.Р. Мыкал, А. Г. Сухоруков, Д. С. Чимирис, Б. С. Мельниченко, В.А. Нурзай,
Ф.А. Губарев**

На сегодняшний день применение лазерного излучения в промышленных системах измерения вибрации находит широкое распространение в научных трудах. Применение лазерного излучения позволяет осуществить бесконтактный контроль станков, оборудования, агрегатов и технологических узлов, а также объектов инфраструктуры, таких как мосты и сооружения на дорогах. Необходимость контроля таких объектов обусловлена необходимостью предотвращения развития аварий и их последствий для техники и человека. В данной статье предлагается бесконтактный метод вибрационного контроля с помощью подсветки объекта трехкомпонентным лазерным излучением. Произведено построение оптической системы и доработка её компонентов по температурному режиму работы.

Введение

Лазеры – устройства, которые знакомы нам с повседневной жизни. Но спектр их применения настолько широкий, что он выходит далеко за рамки повседневного. Лазер – это устройство, которое преобразует энергию накачки в энергию когерентного (волны одинаковой частоты с постоянной разностью фаз), монохроматического (имеет одну длину волны) узконаправленного пучка фотонов [1]. Под энергией накачки подразумевается такие виды энергии как электрическая, световая, тепловая и др. Идея о том, что лазеры теоретически возможны писал Альберт Эйнштейн в своих работах ещё в 1917 году. Он описывал процесс вынужденного излучения или же индуцированного излучения, который является базовым физическим принципом работы всех видов лазеров. Но построить первый лазер смог Теодор Нейман только в 1960 году.

На сегодняшний день, существует множество сфер применения лазерных установок [2]: медицина (лазерная коррекция зрения), передача информации на большие расстояния (оптоволоконные линии связи), промышленность (лазерные резак и граверы), военная промышленность (лазерные прицелы и дальномеры). Исключением не является и вибрационный контроль.

Вибрационный контроль – важная процедура для обнаружения и своевременного устранения дефектов исследуемого объекта, для улучшения условий его работы (продление сроков эксплуатации, понижение уровня шума, издаваемого прибором). Существует три группы методов вибрационного контроля по способу взаимодействия с исследуемым объектом: контактные, бесконтактные методы [3], а также квазибесконтактные – объединяющие преимущества обоих предыдущих. Контактные методы требуют непосредственного контакта объекта с измерительным прибором. При этом датчики могут оказывать нежелательное воздействие на объект. Контактный метод невозможно применить для приборов с вращающейся или движущейся рабочей частью. Бесконтактные методы не имеют данных недостатков. Их применяют в условиях, где невозможно или затруднительно применить контактные методы. С помощью бесконтактных методов можно проводить замеры на удалении от объекта. Мы полагаем, что бесконтактным методом можно исследовать крыльчатку турбины, так как не происходит вмешательства в конструкцию, в отличие от контактного метода.

Контроль вибрации необходим для снижения негативных последствий и аварийных ситуаций. Например, излишняя вибрация в электродвигателях приводит к уменьшению срока службы агрегата, повышению уровня шума или вообще к полному выходу из строя механической части. Также контроль необходим для оценки состояния инфраструктурных объектов. В качестве примера можно привести научное исследование [3]. Авторами проведен ряд экспериментов с применением методов лазерной спекл-корреляции и голографической фотомодуляции для контроля вибрации автомобильного моста. С помощью представленных методов осуществлён дистанционный контроль вибраций, а также подсчёт автомобильного трафика с учётом массы техники. Недостатком подхода, использованного в работе [4] являлось применение прожектора для обеспечения подсветки голографической метки, при этом, в связи с недостаточной яркостью прожектора и большим углом рассеяния света требовалось его расположение вблизи объекта исследования. На практике требуется обеспечение подсветки со значительного расстояния (более 10 м), что на наш взгляд, станет возможным с применением лазерного источника белого света.

Методика, положенная в основу исследования настоящей работы, основана на явлении дифракции на микроструктурах поверхностного рельефа [5]. Для осуществления принципа измерения по нескольким цветовым каналам необходимо использовать многокомпонентный лазер, состоящий из нескольких лазеров с разными длинами волн для формирования светового пучка белого цвета. В данной работе используется тонкая голографическая плёнка, представляющая собой двумерную дифракционную решетку. Она состоит из множества чередующихся структур, представляющих из себя решетку с квадратными ячейками. При попадании света на плёнку наблюдается дифрагирование исходного пучка, и в пространстве возникает дифракционная картина.

Традиционной в системах визуализации и отображения информации является аддитивная цветовая модель RGB (от англ. Red, Green, Blue – красный, зеленый, синий) [6]. В такой модели используется излучение, содержащее три длины волны. В результате смешения всех указанных цветов получается белый цвет. В качестве источников излучений могут использоваться три лазера, излучающих в красном, зеленом и синем диапазонах длин волн.

Цель работы

Целью данной работы является конструирование лабораторной установки на основе трёх лазеров с различными длинами волн (RGB) для формирования одного пучка излучения белого цвета, и использование этого пучка для исследования дифракции света на тонких пленках.

Техника эксперимента

В эксперименте использовались лазеры для создания RGB-системы:

- 1) гелий-неоновый лазер с длиной волны 632,8 нм (красный цвет);
- 2) твердотельный лазер с длиной волны 532 нм (зеленый цвет);
- 3) твердотельный лазер с длиной волны 473 нм (синий цвет).

Для сведения трёх лучей в один пучок использовались два дихроичных зеркала, представляющие собой полосовые фильтры, пропускающие и отражающие свет в определённых диапазонах длин волн. В нашем случае применялись зеркала производства ООО «ФОТООПТИК» LP450 и LP560. Ход лучей и фотография схемы эксперимента показаны на рисунке 1.

Зеркало LP450 имеет диапазон высокого пропускания от 460 нм до 1000 нм, а отражения от 400 нм до 430 нм. Зеркало LP560 пропускает свет с длиной волны от 510 нм до 1000 нм, а отражает в диапазоне 435 нм до 545 нм. Для обеспечения отражения в заданном диапазоне необходимо, чтобы зеркала располагались под углом 45° к падающему на них

лучу. Самым мощным из трех лазеров является зеленый, его мощность составляет 200 мВт, в то время как мощность синего равна 100 мВт, а красного 24 мВт. При попадании на зеркало, большая часть зеленого света пропускается, отражается ~6% всего светового потока, что равняется 12 мВт, что вполне достаточно для данного эксперимента. Излучение красного цвета практически полностью пропускается обоими зеркалами, таким образом доля красного излучения в общем пучке составляет ~20 мВт. Доля синего излучения в пучке могла регулироваться от 20 до 95 мВт, благодаря функции регулировки мощности излучателя.

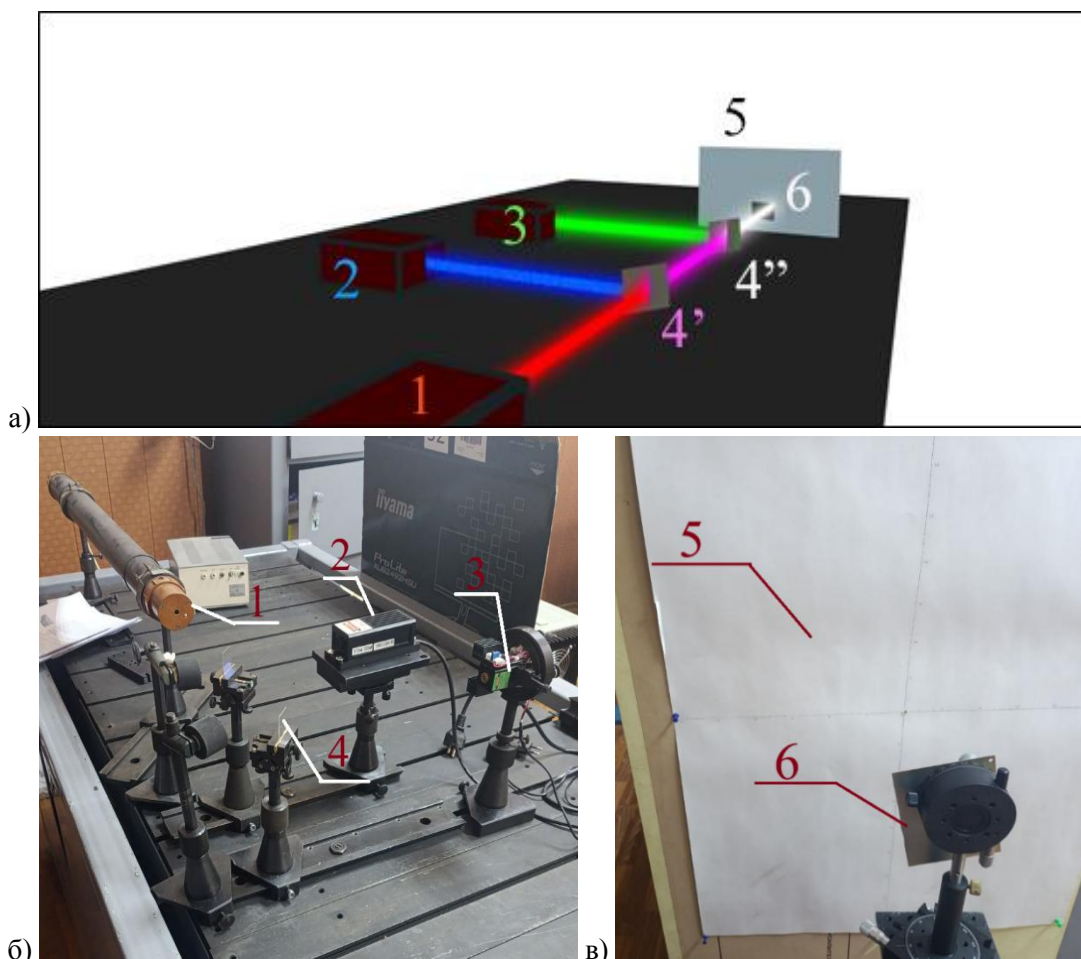


Рис. 1. Ход лучей (а), фото трехкомпонентной лазерной системы (б) и экрана (в):
1 – красный лазер, 2 – синий лазер, 3 – зеленый лазер, 4 – дихроичные зеркала LP 450 (справа) и LP 560 (слева), 5 – экран, 6 – дифракционная пленка на поворотной платформе

Вся система была собрана на специальном оптическом столе, схема установки изображена на рисунке 2. Для фотографирования дифракционной картины устанавливался белый экран с отверстием для прохождения лазерного луча. Фотография дифракционной картины представлена на рисунке 3. Тонкая пленка располагалась перпендикулярно падающему лучу. Как видно из представленного изображения, на экране возникает дифракционная картина с вертикальными, горизонтальными и диагональными максимумами первого порядка для трёх цветов, соответственно. В центре экрана виден отраженный луч (нулевой максимум). Плёнка ориентирована таким образом, что горизонтальные и вертикальные максимумы первого порядка симметричны относительно центра и находятся на осях, а диагональные максимумы первого порядка находятся под углом 45° к осям. Также на экране видны горизонтальные и вертикальные максимумы второго порядка синего цвета.

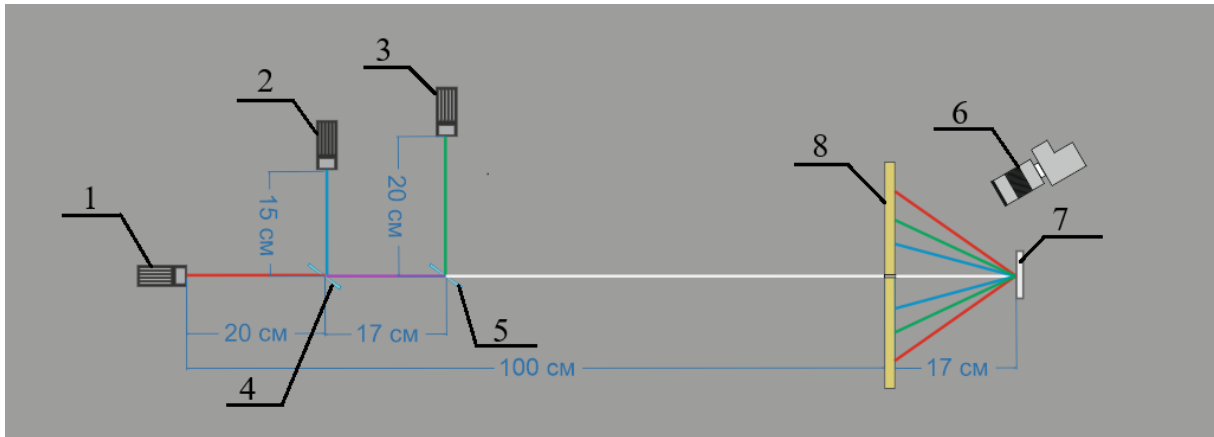


Рис. 2. Схема эксперимента. 1 – красный лазер; 2 – синий лазер; 3 – зеленый лазер; 4 – дихроичное зеркало LP 560; 5 – дихроичное зеркало LP 450; 6 – камера; 7 – тонкая дифракционная пленка; 8 – экран



Рис. 3. Дифракционная картина

Температурные режимы работы лазеров

Во время работы лазеры нагреваются. Гелий-неоновый лазер не выделяет большого количества тепла, поэтому не требует дополнительного охлаждения. Твердотельные лазеры выделяют большее количество тепла при работе. Перегрев этих лазеров может приводить к нарушению их физических свойств. Для обеспечения температурного режима на зеленый лазер был прикреплен радиатор и проведена проверка температурного режима с применением тепловизора, которая показала, что радиатор справляется со своей задачей. Температура корпуса лазера не превышала 40 °С.

Для крепления синего лазера было специально сконструировано основание и напечатано на 3D принтере из пластика, оно изображено на рисунке 4 (а). На рисунке 4 (б) приведена фотография теплового поля для некоторого неустановившегося режима, близкого

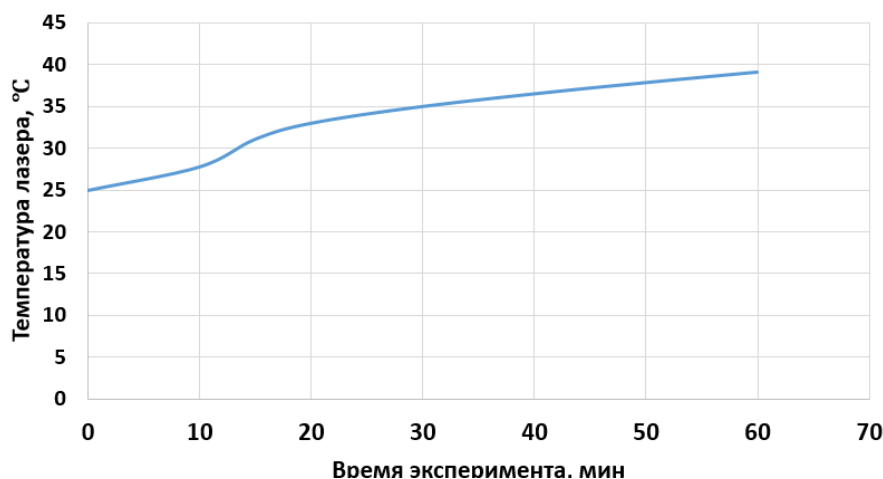


Рис. 6. Изменение температуры лазера

Вывод

В работе была проведена сборка и юстировка оптической схемы для формирования белого лазерного излучения на основе цветовой модели RGB, что позволило получить на тонкой пленке отраженную трехцветную дифракционную картину.

Были проведены температурные измерения режимов работы твердотельных лазеров с использованием промышленного тепловизора. На основании проведенных измерений сделаны выводы о перегреве лазеров и установлены соответствующие радиаторы.

Продолжением работ в данном направлении станет применение данной оптической схемы и трехкомпонентного лазерного луча для исследования рассеяния света при различных углах падения на тонкую пленку.

Список используемых источников

1. Hooker S., Webb C. Laser Physics. – New York: Oxford University Press, 2010. – 587 p.
2. Борейшо А.С., Борейшо В.А. Лазеры: применения и приложения : Учебное пособие. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 520 с.
3. Радиоволновой бесконтактный метод измерения параметров движения и вибрации / А. И. Волковец, Руденко Д. Ф., Гусинский А. В., Кострикин А. М. // Доклады БГУИР. - 2007. - № 4 (20). - С. 58 - 64.
4. Нурзай В.А., Губарев Ф.А., Елугачев П.А., Мостовщиков А.В. Применение оптических методов визуализации для контроля колебаний мостовых дорожных конструкций // Контроль. Диагностика. – 2024. – Т. 27, № 8. – С. 42-49.
5. Савельев И.В. Курс общей физики : учебное пособие : в 3 томах. – 12-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань. – Том 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – 2018. – 320 с.
6. Агеева А. И., Кретинина Н. С., Ходов С. И. Сравнительный анализ моделей СМУК и RGB при поканальном выводе полноцветных изображений // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2011. – Вып. 6. Ч. 2. – С. 386-391.
7. Губарев Ф.А. Приборы и методы исследования теплофизических процессов. Учебное пособие. – Севастополь: СевГУ, 2025. – 183 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ И ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Е.В. Мирошниченко, О.В. Матузаева, П.А. Корпач, А.С. Хоружий, А.В. Кунчев

В работе проведён сравнительный анализ двух методов исследования температурной зависимости сопротивления: с использованием жидкостного термостата и современной установки с электрическим нагревом и термопарой. Выполнены измерения для проводников и полупроводников, построены графики, рассчитан температурный коэффициент сопротивления и ширина запрещённой зоны. Показано, что современный метод обеспечивает более высокую точность, удобство и расширенные возможности по сравнению с традиционным подходом.

Ключевые слова: Сопротивление, температура, проводник, полупроводник, температурный коэффициент сопротивления, ширина запрещённой зоны, спиртовой термометр, термопара, электрический нагрев, точность измерений.

Введение

Современная энергетика немыслима без материалов с контролируемыми электрическими свойствами. Проводники, такие как медь и алюминий, обеспечивают передачу энергии на большие расстояния, а полупроводники — основу для преобразования солнечного света в электричество, управления потоками энергии в «умных» сетях и создания высокоэффективной электроники [1]. Однако их работоспособность напрямую зависит от температуры. Для металлов критичен температурный коэффициент сопротивления (ТКС), определяющий рост потерь энергии при нагреве, а для полупроводников — ширина запрещённой зоны (ШЗЗ), которая задаёт температурную стабильность устройств [2].

Традиционные методы изучения этих параметров, например, нагрев образцов в водяной бане с спиртовым термометром, долгое время оставались стандартом в лабораторной практике [3]. Этот подход прост и надёжен, однако ограничен по точности ($\pm 2-3^\circ\text{C}$) и температурному диапазону. Внедрение современных технологий, таких как электрический нагрев и термопары, открывает новые возможности [4]. Современная установка позволяет не только повысить точность измерения ТКС до $\pm 0.5^\circ\text{C}$, но и проводить эксперименты с полупроводниками для определения их ШЗЗ, что критично для разработки материалов с заданными свойствами.

Цель исследования

Провести сравнительный анализ традиционной (водяная баня + спиртовой термометр) и современной (электрический нагрев + термопара) установок для измерения температурной зависимости сопротивления, оценив точность определения температурного коэффициента сопротивления (ТКС) проводников, возможности изучения ширины запрещённой зоны (ШЗЗ) полупроводников, а также энергоэффективности, скорость нагрева и удобство эксплуатации.

Краткая теория

Согласно квантовой теории, электроны в атомах могут занимать только определённые энергетические уровни. При образовании кристалла эти уровни сливаются в энергетические зоны, между которыми находятся запрещённые зоны — области, где электроны находиться не могут [4]. Если валентная зона полностью заполнена, а зона проводимости пуста,

вещество не проводит ток и является диэлектриком. Для появления проводимости электронам необходимо преодолеть энергетический барьер, равный ширине запрещённой зоны ΔE . При комнатной температуре часть электронов может перейти в зону проводимости за счёт тепловой энергии, и если ΔE достаточно мала ($0,02\text{--}2\text{ эВ}$), вещество становится полупроводником [2].

Проводимость полупроводника при этом определяется концентрацией носителей заряда — электронов и дырок — которая экспоненциально возрастает с ростом температуры. Соответственно, сопротивление R уменьшается по закону:

$$R = Ae^{\frac{\Delta E}{2kT}} \quad (1)$$

где T — температура в Кельвинах, A — коэффициент, зависящий от физических свойств полупроводника, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана [2].

В отличие от полупроводников, в **проводниках** валентная зона частично заполнена или перекрывается с зоной проводимости, поэтому свободные электроны уже присутствуют, и их концентрация с температурой почти не меняется. Тем не менее, сопротивление проводника растёт при нагреве из-за усиления рассеяния электронов на фононах. Эта зависимость близка к линейной и описывается выражением:

$$R = R_0(1 + \alpha_t \cdot t) \quad (2)$$

где t — температура в градусах Цельсия; R_0 — сопротивление проводника при $0\text{ }^\circ\text{C}$; α_t — температурный коэффициент сопротивления [1].

Таким образом, исследуя график зависимости $R(t)$ для проводника, можно определить α_t , а по графику $\ln R_{\text{пп}}(1/T)$ для полупроводника — ширину запрещённой зоны ΔE [2, 4].

Описание методов исследования

Установка с жидкостным термостатом широко используется в учебных лабораториях при изучении температурной зависимости сопротивления металлов. Её принцип работы основан на передаче тепла от нагретой жидкости к образцу, сопротивление которого измеряется при разных температурах.

Образец представляет собой медный провод, намотанный на изолирующий цилиндр и размещённый внутри герметичной стеклянной колбы. Концы провода выведены наружу и подключены к цифровому мультиметру в режиме омметра. Колба погружается в ёмкость с водой, которая нагревается с помощью термонагревателя (или обычной водяной бани). Температура воды измеряется спиртовым или спиртовым термометром, погружённым в ту же ёмкость.

Эксперимент проводится поэтапно: по мере нагрева жидкости фиксируются значения температуры и соответствующее сопротивление проводника. Между измерениями делают паузы для термического выравнивания. Полученные данные $R(t)$ заносятся в таблицу, по ним строится график зависимости сопротивления от температуры, на основе которого рассчитывается ТКС.



Рис. 1. Традиционная установка с водяной баней и термометром

В отличие от традиционной методики, где нагрев осуществлялся через водяную баню, здесь используется электрический нагрев: образец помещается в специальный теплоизолированный блок, обогреваемый спиралью из нихромовой проволоки. Это позволяет плавно и равномерно повышать температуру за счёт подачи регулируемого напряжения.

Температура измеряется с помощью термопары, расположенной вблизи образца, и выводится на цифровой термометр с высокой точностью (до 0,1 K). Сопротивление рассчитывается на основе показаний цифрового вольтметра, подключённого параллельно образцу, при стабилизированном токе, подаваемом от отдельного источника.

Такое исполнение установки позволяет не только повысить точность и оперативность измерений температурного коэффициента сопротивления, но и провести исследование ширины запрещённой зоны полупроводника по методу построения графика $\ln R_{pp}$ от $1/T$, что невозможно реализовать на традиционной установке.



Рис. 2. Схема новой установки с электрическим нагревом, термопарой и цифровыми измерительными приборами.

Ход работы

В ходе эксперимента исследуется температурная зависимость сопротивления проводника (в обеих установках) и полупроводника (в современной установке). Измерения проводятся в серии с фиксированием температуры и соответствующего сопротивления.

В **традиционной установке** образец (медный провод) помещается в стеклянную колбу, которая погружается в воду. Температуру воды измеряют термометром, а сопротивление — мультиметром. После каждого нагрева даётся пауза на выравнивание температуры, затем снимаются показания. На основе полученных значений сопротивления R и температуры t строится график $R(t)$ рис.3.

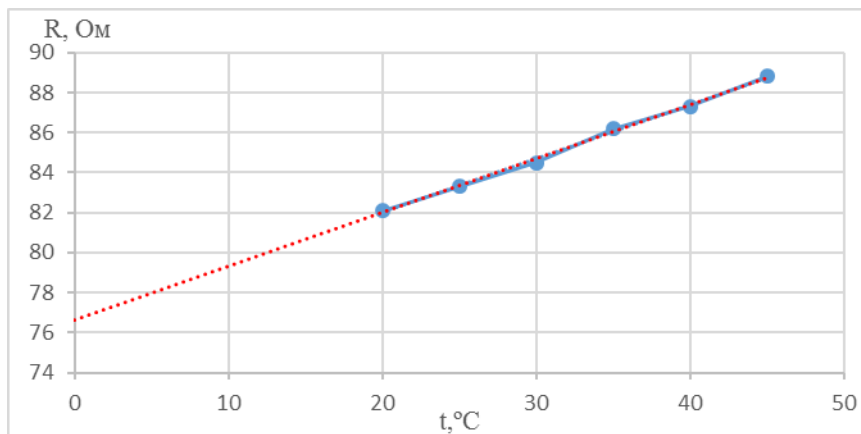


Рис. 3. График зависимости $R(t)$ для традиционной установки

По экспериментальным данным построен график зависимости сопротивления R от температуры T , который аппроксимируется прямой линией. На графике видно, что зависимость близка к линейной, что соответствует теоретической модели для металлических проводников.

Используя формулу (2), по результатам эксперимента, проведённого на традиционной установке, был вычислен температурный коэффициент сопротивления:

$$\alpha_t \approx 3,49 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Это значение соответствует типичным данным для металлических проводников, таких как медь, и подтверждает линейный характер зависимости сопротивления от температуры в данном диапазоне.

Эксперимент на **современной установке** проводился с использованием цифровых приборов и термопары для точного измерения температуры образцов. Исследованию подвергались два элемента — металлический проводник и полупроводник.

В современной установке образец нагревается за счёт прохождения электрического тока, при этом температура контролируется термопарой, установленной в непосредственном контакте с образцом. Сопротивление измеряется с помощью цифрового вольтметра при фиксированном токе. Измерения проводятся последовательно в процессе нагрева, и после стабилизации температуры фиксируются значения сопротивления R и температуры t . На основе полученных данных строится график $R_{\text{пр}}(t)$ для проводника (рис. 4), а также графики $\ln R_{\text{пп}}(1/T)$ для полупроводника (рис. 5).

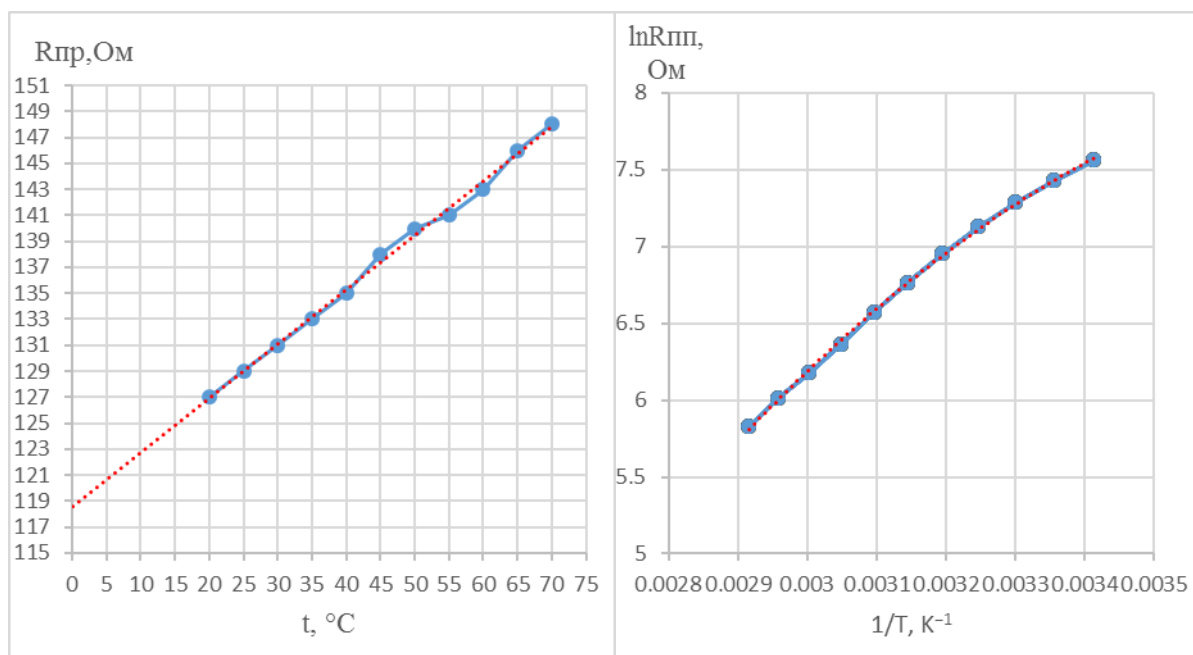


Рис. 4,5 Графики зависимости $R_{пр}(t)$ и $\ln R_{пп}(1/T)$ для современной установки

По экспериментальным данным построены графики зависимости сопротивления проводника от температуры (рис. 4) и логарифма сопротивления полупроводника от обратной температуры (рис. 5). График на рис. 4 показывает линейный рост сопротивления с увеличением температуры, что соответствует классической модели для металлических проводников. Для полупроводника исходная экспоненциальная зависимость сопротивления от температуры была преобразована в линейный вид с помощью логарифмирования. Это позволило построить график $\ln R_{пп}$ от $1/T$, изображённый на рис. 5, и использовать его для последующего расчёта ширины запрещённой зоны. Линейный характер графика подтверждает соответствие экспериментальных данных теоретической модели.

Используя экспериментальные данные и формулы (1) и (2), были получены следующие значения ключевых параметров: температурный коэффициент сопротивления проводника: $\alpha_t \approx 3,49 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$; ширина запрещённой зоны полупроводника: $\Delta E \approx 0,6 \text{ эВ}$

Полученные результаты соответствуют типичным значениям для меди и полупроводников типа германия, что подтверждает корректность проведённых измерений.

Сравнительный анализ методов

В рамках исследования были проведены измерения на двух установках: традиционной (с водяной баней и термометром) и современной (с термопарой и электрическим нагревом). Оба метода позволяют определить температурную зависимость сопротивления, но различаются по точности, удобству и возможностям.

Традиционная установка с жидкостным термостатом широко используется в учебных целях благодаря своей простоте. Нагрев осуществляется через воду, температура контролируется спиртовым термометром, а сопротивление измеряется мультиметром. Однако температура воды не всегда точно соответствует температуре самого образца, что приводит к задержкам в отклике и снижает точность измерений. Кроме того, визуальное считывание температуры с термометра и крупная цена деления (0,5–1 °C) ограничивают точность и создают риск субъективных ошибок. Также метод не предусматривает быструю смену образцов и имеет ограниченный температурный диапазон (до ~100 °C), что делает невозможным исследование полупроводников.

Современная установка, использующая электрический нагрев и термопару, обеспечивает принципиально иной уровень измерений. Температура измеряется непосредственно вблизи образца с помощью термопары и фиксируется цифровым прибором с высокой точностью (до 0,1 К), что исключает влияние человеческого фактора. Нагрев осуществляется за счёт прохождения тока через нихромовую спираль, позволяя точно регулировать скорость и уровень нагрева. Благодаря автоматизации процесса данные регистрируются и обрабатываются быстрее и точнее.

Кроме того, современная установка расширяет возможности эксперимента: она позволяет проводить не только измерение температурного коэффициента сопротивления у проводников, но и исследование ширины запрещённой зоны у полупроводников, что недоступно в рамках традиционного метода. Быстрая смена образцов и отсутствие необходимости перестройки схемы делают метод более удобным и универсальным.

Заключение

Проведённое исследование позволило провести всестороннее сравнение двух лабораторных установок для изучения температурной зависимости сопротивления. На основе экспериментов были получены значения температурного коэффициента сопротивления для проводника и ширины запрещённой зоны для полупроводника.

Сравнительный анализ показал, что традиционная методика с водяной баней пригодна лишь для простых измерений в ограниченном температурном диапазоне и не позволяет работать с полупроводниками. В то время как современная установка, оснащённая термопарой и цифровыми измерительными приборами, обеспечивает высокую точность, оперативность и расширенные возможности измерений.

Таким образом, современная установка более точно отражает реальные свойства материалов и позволяет проводить как учебные, так и исследовательские работы с более широким спектром задач.

Список использованных источников

1. Трофимова, Т. И. Курс физики: учеб. пособие / Т. И. Трофимова. — М. : Академия, 2003–2008.
2. Кузнецов, В. Г. Физика полупроводников: учебник / В. Г. Кузнецов. — М. : Наука, 2012. — 384 с.
3. Козлов, И. И. Методика электрических измерений: учеб. пособие / И. И. Козлов. — СПб. : БХВ-Петербург, 2014. — 352 с.
4. Савельев, И. В. Курс общей физики: в 5 т. Т. 5. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твёрдого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учеб. пособие / И. В. Савельев. — 5-е изд., испр. — СПб. : Лань, 2011. — 384 с.

ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЧРП НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

К.А. Дворецкий, Ю.А. Майорова

В статье приведены общие понятия о частотно-регулируемом приводе (ЧРП), классификация систем позиционирования асинхронных двигателей, приведены примеры промышленных предприятий на которых применяются асинхронные двигатели (АД) с ЧРП, проанализирована эффективность применения ЧРП с позиционирование АД.

Введение

С помощью современных ЧРП можно осуществлять контроль положения таких механизмов как высокоточные обрабатывающие станки, сборочные столы, конвейерные системы, поворотные столы, складском оборудовании. Таким образом становятся не нужны шаговые двигатели и дорогие сервоприводы с дополнительным контроллером. Весь функционал позиционирования конфигурируется в настройках ЧРП.

Цель работы

Целью данной работы является анализ возможностей применения ЧРП с системой позиционирования на промышленных предприятиях вместо шаговых двигателей и сервоприводов.

Общие понятия о ЧРП

Электропривод — это электромеханическое устройство для приведения в движение механизмов и машин, в котором источником механической энергии является электродвигатель.

Частотный преобразователь, или преобразователь частоты - электротехническое устройство (система управления), используемое для контроля скорости и/или момента двигателей переменного тока путем изменения частоты и напряжения питания электродвигателя. Состоит из выпрямителя, фильтра и инвертора.

При работе преобразователя частоты группы тиристоров в определенной последовательности открывается, подавая напряжение на обмотки двигателя. Выходное напряжение таких преобразователей имеет "пилообразную" форму, а его частота не может превышать частоту питающей сети. Вследствие чего, в настоящий момент применение ПЧ подобного типа ограничено для большинства применений в связи с высокими требованиями, которые предъявляются к характеристикам входного напряжения и диапазону регулирования.

Классификация частотно-регулируемых приводов приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Классификация частотно-регулируемых приводов по различным признакам

По принципу построения силовой части	По конструктивным характеристикам	По классу напряжения	По принципу управления	По назначению
с промежуточным звеном постоянного тока; без звена постоянного тока	электромашинные; электронные.	низковольтные; высоковольтные.	скалярные; векторные.	общепромышленные; специализированные.

Системы позиционирования

Системой позиционирования электропривода называется режим работы электропривода, при котором задачей системы управления является перемещение рабочего органа механизма из одного фиксированного положения в другое.

Примеры применения приводов позиционирования

- сборочные автоматы
- делительно-поворотные столы
- выставление упоров в серийных машинах
- привод подачи станка
- устройства смены инструмента

Для достижения высокой точности регулирования положения необходимо использование замкнутого электропривода с обратной связью по положению. Такую связь обеспечивают внешние контроллеры, которые можно классифицировать следующим образом:

С датчиком положения:

- с одной командой;
- с несколькими командами.

С датчиком перемещения:

- дискретные;
- аналоговые.

Датчики положения используются для фиксирования перемещения подвижных элементов станка в определенных положениях, без контроля всех промежуточных значений.

Датчики перемещения, в свою очередь, преимущественно используются в системах позиционирования, где требуется частое изменения величины и цикла перемещения.

Промышленные предприятия с перспективой применения АД с ЧРП

Асинхронные двигатели с частотно-регулируемыми приводами могут использоваться в различном оборудовании на предприятиях, в зависимости от отрасли. Некоторые примеры:

- нефтедобыча и переработка. Насосное оборудование, привод аппаратов воздушного охлаждения и градилен, комплексная автоматизация технологических линий.
- металлургия. Приводы рольгангов, конвейеров, прокатных станов, наматывающих устройств волочильных станов, насосов, вентиляторов.
- машиностроение. Привод обрабатывающих станков, насосы, конвейерные линии, полиграфические машины.
- горнодобывающее и обогащительное производство. Дробилки, мешалки, конвейеры, песковые и пульповые насосы.
- химическая промышленность. Насосы, мешалки, грануляторы, экструдеры, центрифуги, приводы дымососов и вентиляторов, АСУ.

- пищевая промышленность. Грануляторы, экструдеры, мельницы, дробилки, куттеры, жом-прессы, этикетировочные аппараты, конвейеры, технологические линии, насосы, вентиляторы.

Системы позиционирования применяются в различных станках и механизмах, где требуется обеспечить точное движение и управление. То есть данную систему можно использовать на станках с ЧПУ, что позволит работать с более крупными механизмами, а также повысит их точность.

Эффективность применения ЧРП с позиционированием АД

Эффективность применения ЧРП с позиционированием АД заключается в возможности контроля положения различных механизмов, таких как высокоточные обрабатывающие станки, сборочные столы, конвейерные системы, поворотные столы и складское оборудование. Они могут заменить шаговые двигатели и дорогие сервоприводы с дополнительным контроллером.

Преимущества их использования:

- экономия электроэнергии. ЧРП позволяет подбирать скорость вращения двигателя в соответствии с требованиями нагрузки и снижать потребление электроэнергии.

- увеличение ресурса оборудования. Например, на насосных станциях ЧРП уменьшает число аварийных ситуаций, что повышает срок службы оборудования минимум в 1,5 раза.

- возможность позиционирования крупных механизмов. Позволяет управлять механизмами с двигателями большой мощности.

Однако у применения ЧРП есть и недостатки: большинство моделей являются источником помех, а для ЧРП большой мощности характерна сравнительно высокая стоимость.

Выводы

Применение преобразователей частоты при управлении электроприводами позволяет напрямую подстраивать регулируемые производственные характеристики под различные нужды с сохранением высокого КПД, обеспечивая при этом существенное снижение энергопотребления.

Список использованных источников

1. Цуканов А.В. Применение систем позиционирования для точности электроприводов // В сборнике: Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. МАТЕРИАЛЫ XX ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ. Старый Оскол, 2024. С. 560-564.
2. Федорова И.А. Преимущества применения частотно регулируемых приводов // В сборнике: НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ: ОПЫТ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ. Материалы международной научно-практической конференции. Красноярск, 2021. С. 247-249.
3. Сиренко Д.В., Артамонова А.В. Частотный преобразователь как средство управления асинхронным двигателем // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 46. С. 1104-1111.

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ЯДЕРНЫЕ РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

М. А. Дягилев, А. Н. Фролова

С древних времен человечество интересовалось звездами, глядя в ночное небо и думая, что там за пределами родной земли. Сегодняшние ракетные двигатели способны доставить искусственный модуль на орбиту Земли, но если задумываться о более дальних полетах к Луне, Марсу или к другим звездам, то тут возникают проблемы о скорости самого корабля, а тем более о времени. В прошлом веке были разработаны проекты ракетных двигателей на ядерном топливе, мощность которых способна разогнать корабль до больших скоростей.

Введение

Первые мысли об использовании ядерной энергии в летательных аппаратах высказывались исследователями в России и за рубежом ещё в начале XX века. Но конкретную, инженерную форму эти идеи начали приобретать лишь к середине столетия, когда в США и СССР были введены в эксплуатацию первые ядерные реакторы и с огромным не только научным, но и политическим были созданы первые американская (1945 г.) и советская (1949 г.) атомные бомбы.

В начале 60-х годов в США и в СССР были созданы основные предпосылки для практической реализации планов создания ядерных ракетных двигателей (ЯРД) и испытания их на стендах и в полете. При этом каждая страна шла своей дорогой – США создавали одну за другой конструкции твердофазных реакторов ЯРД и испытывали их на натурных стендах, притом делали это открыто, СССР в секретном порядке вел натурную поэлементную отработку ТВС (тепловыделяющих сборок) и других элементов двигателя, готовя производственную, испытательную, кадровую базу для более широкого наступления.

Первым из экспериментальных реакторов ЯРД «Киви-А» был разработан в США в Лос-Аламосской лаборатории (ЛАСЛ) и собран в июне 1958 г. на Альбукеркском заводе ядерного оружия. Активная зона этого реактора была выполнена из большого числа тепловыделяющих элементов (ТВЭлов) в форме графитовых, пропитанных обогащенным ураном (90% по изотопу уран-235) плоских пластин, в каналах между которыми должен был протекать и нагреваться примерно до 1900 К газообразный водород. В центре активной зоны располагалась группа из тринадцати управляющих стержней-поглотителей нейтронов. Замедлителем нейтронов служила тяжелая вода.

Что же касается первых (расчетно-теоретических) работ в СССР по ядерным двигателям для ракет, то они также относятся к 1954 году и были выполнены И. М. Бондаренко, В. Я. Пупко и другими в лаборатории «В» (ныне ГНЦ «Физико-энергетический институт») в г. Обнинске Калужской области. В 1955 году к этим исследованиям по инициативе М. В. Келдыша подключается небольшая группа инженеров НИИ-1 Минавиапрома (ныне Исследовательский Центр имени М. В. Келдыша) во главе с В. М. Иевлевым. Первые конструкции ТВС разработаны и изготовлены в НИИ-1, для чего была создана специализированная производственная мастерская (ТВЭлы для ТВС поставлялись в НИИ-1 из НИИ-9). Первые три серии петлевых испытаний ТВС на импульсивном графитовом реакторе, подтвердившие правильность положенных в основу их разработки идей, проведены Институтом атомной энергии имени И. В. Курчатова (ответственным за работу реактора – руководители работ С. М. Фейнберт, Б. В. Петунин, М. А. Козаченко, Я. В. Шевелев, В. М. Талызин, О. П. Руссков) и НИИ-1 (ответственным за работу стенда и испытуемой

ТВС — руководители работ В. М. Иевлев, В. А. Зайцев, Е. П. Терехов); сами испытания ЯРД были проведены в 1962 году на Семипалатинском полигоне.

Цель работы

Целью данной работы является характеристика общего устройства и принципа работы ЯРД, а также анализ применения этих двигателей в ракетной технике.

Общее устройство двигателя

Принципиальная схема ЯРД (Рис. 1) дает наиболее общее представление о двигателе в целом, в значительной мере определяет состав двигательной установки и характер взаимодействия ее агрегатов, а также основные характеристики двигателя: массу, габариты, расход рабочего тела на единицу тяги, некоторые особенности, конструкции. Схема выбирается с учетом необходимости максимально упростить эксплуатацию двигателя, в том числе запуск, стационарный и промежуточные режимы, его остановку, а также такой специфический для ЯРД процесс, как расхолаживание ядерного реактора; при проектировании подобного двигателя необходимо разработать возможность возникновения в нем в процессе работы нештатных (предаварийных или аварийных) ситуаций и предусмотреть необходимые меры для их предотвращения.

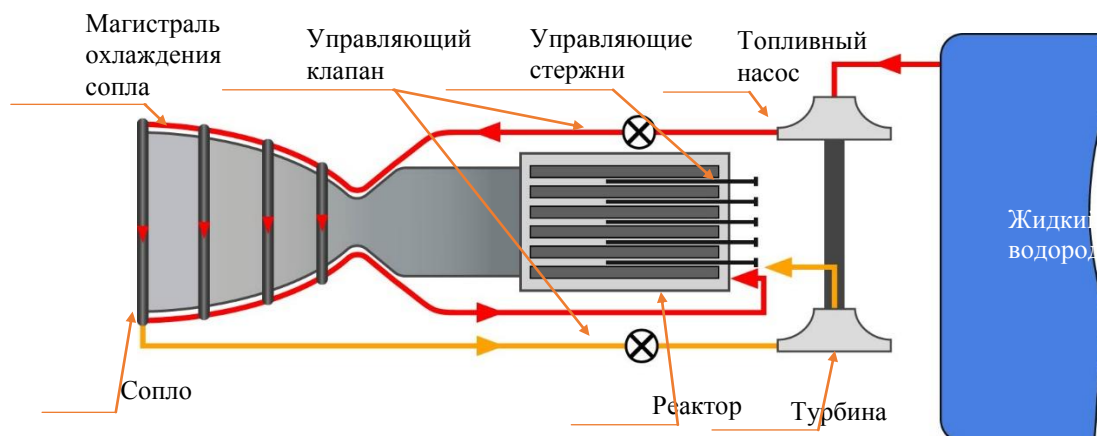


Рис. 1. Конструктивная схема ЯРД

На схему двигателя сильное влияние оказывает выбор основного рабочего тела и других агентов рабочего процесса, их физические и химические характеристики. Одна из главных особенностей ЯРД состоит в том, что максимально достижимые в них значения удельного импульса тяги определяются не энергетическим потенциалом реакции (как, например, в жидкостных ракетных двигателях или двигателях на твердом топливе), а почти исключительно схемой двигателя и физико-химическими свойствами выбранных конструкционных материалов.

В общем случае схема ЯРД содержит следующие основные системы и агрегаты:

1. Ядерный реактор;
2. Камера сгорания (для схем с двухкомпонентным рабочим телом);
3. Сверхзвуковое сопло;
4. Система подачи рабочего тела;
5. Система управления реактором и двигателем в целом.

Задача максимизации использования реактора приводит к необходимости

неравномерного распределения по активной зоне концентрации делящегося вещества, плотности размещения охлаждающих каналов и так далее.

Основной показатель экономичности ракетного двигателя – удельный импульс тяги (I) – прямо зависит от температуры, до которой нагревается и затем входит в реактивное сопло рабочее тело.

$$I \sim \sqrt{\bar{c}_p (T_k - T_a)}, \quad (1)$$

где T_k и T_a – температуры рабочего тела соответственно на входе и выходе из реакторного сопла, $\bar{c}_p$ – средняя теплоемкость рабочего тела в интервале от T_k до T_a .

Нейтронная физика реактора ЯРД

Сочетание разноречивых требований к реактору ЯРД со стороны нейтронной физики и теплофизики приводит к необходимости применения в ЯРД реактора на тепловых или надтепловых нейтронах, то есть такого реактора, в котором основная часть делений ядер делящегося материала происходит в результате соударения с нейтронами, снизившими свою энергию до 2 МэВ в процессе взаимодействия с ядрами замедлителя до уровня от 0,025 до 0,4 эВ.

Наиболее приемлемым для реакторов ЯРД делящимся материалом является уран, обогащенный до 90% по изотопу уран-235 (более высокая степень обогащения приводит к значительному росту стоимости урана и в реакторной технике почти не используется). Нейтронно-физические характеристики его таковы что критические размеры реактора обеспечиваются при величинах загрузки урана, составляющих, в зависимости от уровня тяги двигателя, единицы или десятки килограммов при приемлемых – с позиций обеспечения термостойкости и прочности применяемых в твэлах тугоплавких материалов – концентрациях урана.

Отметим, что в действительности почти все ядра (включая и ядра делящихся веществ) могут захватывать нейтроны без последующего деления, так что в любом устройстве, содержащем делящееся вещество и другие материалы, некоторое количество нейтронов будет теряться в результате захвата без деления. Кроме того, поскольку на практике неизвестны вещества, способные полностью отражать все нейтроны, еще часть нейтронов будет потеряна для реактора из-за их утечки через границы конечной по размерам системы. Таким образом, очевидно, что для создания реактора, в котором осуществляется самоподдерживающаяся цепная реакция деления, необходимо, чтобы в каждом процессе деления испускалось в среднем более одного нейтрона. В таблице 1 приведены значения выхода нейтронов на один акт поглощения нейтрона, приводящий к делению, для ядер U^{233} , U^{235} и Pu^{239} при делении на низкоэнергетических и высокоэнергетических нейтронах.

Таблица 1 - Среднее число нейтронов, испускаемых при одном делении для тепловых и быстрых нейтронов

Ядро	Для нейтронов с энергией:	
	1/40 эВ	1 МэВ
U^{233}	2,54	2,70
U^{235}	2,46	2,65
Pu^{239}	2,88	3,00

Теоретические и экспериментальные исследования в области ядерной физики показывают, что еще энергетический член E_{sym} , учитывающий симметрию (или так называемый изотопический член), должен давать вклад в энергетический баланс совокупности нуклонов. Из положений квантовой механики (которые выходят за пределы рассматриваемых здесь вопросов) следует, что изотопический член должен соответствовать притяжению при взаимодействии двух нуклонов с отличающимися зарядами и отталкиванию для нуклонов с одинаковыми зарядами. Эта поправка пропорциональна превышению числа нейтронов N над числом протонов Z или наоборот:

$$E_{sym} = a_{sym} \frac{(N - Z)^2}{A}, \quad (2)$$

где $a_{sym} \approx 19 \pm 0,9$ МэВ – эмпирически подобранный коэффициент, A – массовое число.

Радиационная и тепловая защита реактора

Ядерные реакторы (в том числе реакторы ЯРД) являются мощными источниками нейтронов и γ -излучения, действующими как в процессе работы реактора, так и длительное время после его остановки. Уменьшение интенсивности генерируемых реактором потоков нейтронов и γ -квантов на испытательном стенде или в космическом аппарате достигается путем установки вблизи реактора конструкции радиационной защиты. Эта же конструкция может выполнять функции и тепловой защиты агрегатов и оборудования, чувствительных к радиационному перегреву.

Защита реактора может быть полной (ослабляющей излучения реактора по всем направлениям) или частичной. Реакторы ЯРД, проходившие испытания в США и в СССР с открытым выхлопом в атмосферу, имели по необходимости частичную защиту (со стороны выхлопного сопла реактор не мог быть защищен). Реактор ЯРД на космическом аппарате также должен иметь частичную защиту – теньевую, поскольку достаточным в этом случае (в связи с отсутствием в космосе рассеянного во внешней среде излучения) окажется снижение радиационных потоков в большем или меньшем телесном угле, где расположено оборудование, топливные баки и другие требующие защиты системы космических аппаратов.

Учитывая, что масса защиты составляет весьма значительную часть общей массы двигателя или энергоустановки (иногда до 30-40%), вызвало у конструкторов желание максимально уменьшить массу установки. Такое стремление приводит, в частности, к появлению кажущихся экзотичными компоновок космических аппаратов с ЯРД и ЯЭУ (ядерной энергетической установкой), в которых источники энергии располагаются на максимальном удалении от других агрегатов и систем космического аппарата (при этом достигается двойная цель: уменьшается величина необходимого телесного угла радиационной тени, а значит, и масса конструкции защиты, и увеличивается расстояние от источника излучений до других частей космического аппарата, что не менее важно, поскольку мощность излучений от точечного источника обратно пропорциональна квадрату расстояния от него).

Исходными данными для проектирования радиационной защиты являются, с одной стороны, расчетные или экспериментально определенные потоки нейтронов и γ -квантов с поверхности реактора, а с другой – заданные инженерами аппараты максимально допустимые значения этих характеристик на внешней, по отношению к реактору, поверхности защиты.

Как указано выше, конструкция радиационной защиты включает два компонента: тяжелый (от γ -квантов) и легкий (от нейтронов). На практике в конструкцию защиты приходится вводить еще и третий, так называемый блокирующий компонент из материала, интенсивно поглощающего тепловые нейтроны. Его назначение – предотвратить переход тепловых нейтронов в тяжелую и легкую защиту, где они, поглощаясь ядрами материала

защиты, рожают мощные потоки вторичных, так называемых захватных γ -квантов. С учетом этого обстоятельства конструкция слоистой теневой защиты ЯРД или ЯЭУ может, например, включать:

1. блокирующий слой толщиной 1 см из карбида бора (B_4C);
2. слой тяжелой защиты толщиной 9 см из стали X18H10T;
3. слой легкой защиты толщиной 24 см из гидрида лития (LiH).

Такая защита (суммарной толщиной 35 см) снижает потоки нейтронов и γ -квантов приблизительно на 4 порядка.

Перспективы применения ЯРД

В настоящее время разработано большое количество двигателей, способных доставить груз полезной массы к Луне, Марсу, другим планетам Солнечной системы и к звездам; современные разработки в основном определяются интенсивной экспериментальной отработкой технологий, необходимых для космических полетов, включая инерциальный термоядерный синтез, высокотемпературную сверхпроводимость, нанотехнологии.

Достаточно кратко можно охарактеризовать аннигиляционные двигатели. Пока способы получения антивещества в скольких-нибудь приемлемых количествах неизвестны. При современных технологиях наработка 1 грамма антиматерии стоит 10 триллионов долларов, а производят её менее 100 нанограммов в год. Это означает, что аннигиляционные (фотонные) двигатели выходят за рамки предвидимых технологий. Тем не менее компания Nbar Technologies получила грант в 75 тысяч долларов от Института перспективных концепций NASA на проработку межпланетного аппарата, который мог бы использовать антивещество, собранное в пределах нашей Солнечной системы. Кроме того, появление и проработка самой идеи фотонных звездолетов дала существенный толчок к изучению динамики релятивистских полетов (Е. Зенгер, Б. К. Федюшин и др.).

Наиболее реалистичные и проработанные проекты ракетных двигателей для межзвездных полетов основаны на использовании технологий инерциального термоядерного синтеза (ИТС), концепция которого была независимо разработана А. Д. Сахаровым и Э. Теллером в 1951-1953 годах. В реакторах ИТС небольшое количество (0,001-1 г) термоядерного топлива (так называемая «мишень») облучается высокоэнергичными лазерными либо ионными лучами. Под действием облучения верхние слои мишени испаряются, а возникающие реактивные силы приводят к кумулятивному сжатию мишени до уровня, когда в ее центре начинается самоподдерживающаяся реакция.

Работы по практической реализации ИТС ведутся в России, США, Франции, Японии. В настоящее время ученые близки к реализации «критического эксперимента», то есть выходу на режим, когда энергия термоядерного горения сравнивается с энергией, требующейся для его поджига.

Выводы

В данной работе было разобрано общее устройство ЯРД, принцип его работы и радиационной защиты реактора от ионизирующего излучения.

Если ограничиться уже созданными технологиями, термоядерная ракета будет, вероятно, наиболее эффективна. Для однокамерного термоядерного ракетного двигателя вполне реально развить достаточно большую скорость – это будет лучший двигатель для полетов внутри Солнечной системы, а для того чтобы в приемлемые сроки реализовать и межзвездный перелет, понадобится связка из сотни таких двигателей. К сожалению, в ближайшее время нам не долететь до звезд, но сегодняшние разработки дадут пищу для ума будущим поколениям и, возможно, они найдут новый способ путешествия по Вселенной.

Список использованных источников

1. Ядерные ракетные двигатели Ю. Г. Демьяненко, Г. В. Конюхов, А. С. Коротеев, Е. П. Кузьмин, А. А. Павельев ООО «Норма-Информ». 2001 г. – 416 с.
2. Бассард Р. и Делауэр Р. Ядерные двигатели для самолетов и ракет, сокращенный перевод с английского Р. Авалова, В. Матвеева, Л. Соркина, Н. Трубицына. М. «Военное издательство», 1967.
3. Двигатели для межзвездных перелетов [Электронный ресурс] // URL: https://path-2.narod.ru/design/base_r/p_if.pdf (дата обращения 13.04.2025).
4. Без атомной энергии галактики не освоить [Электронный ресурс] // URL: [https://archive.atomicexpert.com/spacenuclear technologies](https://archive.atomicexpert.com/spacenuclear_technologies) (дата обращения 13.04.2025).

ТРАНСПОРТИРОВКА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ К МЕСТУ ЗАХОРОНЕНИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, БЕЗОПАСНОСТЬ И МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

С.А. Полехин, И.А. Линьков, Д.М. Ретунский, А.В. Губин

Радиоактивные отходы (РАО) представляют собой особую категорию опасных материалов, обращение с которыми требует соблюдения строгих норм безопасности. Их транспортировка является одним из ключевых этапов обращения с отходами, включающим комплекс мероприятий от подготовки груза до доставки на специализированные объекты захоронения или временного хранения.

Введение

Процесс транспортировки РАО основывается на использовании специализированных контейнеров, мультимодальных транспортных систем и соблюдении международных стандартов безопасности. За последние десятилетия сформировалась комплексная система логистики, сочетающая железнодорожные, автомобильные и морские перевозки.

Подготовка ОЯТ к транспортировке

Подготовка отработавшего ядерного топлива к транспортировке включает в себя несколько основных этапов:

1. Выдержка и начальная обработка.

После извлечения из активной зоны реактора ОЯТ помещается в бассейны выдержки на срок от 3 до 10 лет для снижения тепловыделения и радиоактивности. Вода в бассейнах выполняет функции теплоотвода и радиационной защиты, а борная кислота в составе воды предотвращает случайную цепную реакцию [1].

2. Загрузка в транспортные контейнеры

Для транспортировки используются:

1) Контейнеры типа В. Используются для перевозки высокоактивных материалов, включая отработавшее ядерное топливо (ОЯТ), высокоактивные отходы (ВАО) и некоторые активные изотопы (например, кобальт-60). Эти контейнеры обеспечивают исключительную защиту окружающей среды и самого содержимого от внешних воздействий. Они оснащены защитными демпферами и оболочками, образуя транспортно-упаковочный комплект (ТУК).

2) Контейнеры типа А. Предназначены для перевозки радиоактивных материалов с низкой активностью. Такие контейнеры сертифицированы как упаковка типа «А» и рассчитаны на небольшие объемы и массы.

3. Специализированные контейнеры для твердых и жидких отходов:

- КРАД-1,36, КРАД-3,0: для твердых и отвержденных радиоактивных отходов, используются для хранения, транспортировки и захоронения;

- КО-1340: предназначен для солевого плава или битумного компаунда – продуктов переработки жидких радиоактивных отходов;

- ЖЗК-1, ЖЗК-2: для вторичных твердых и цементированных жидких отходов низкой активности, используются на всех этапах обращения с отходами, включая захоронение;

- УКТ-контейнеры (УКТ IA-70, УКТ IA-30, УКТ ПА): для транспортировки и хранения твердых отходов и источников гамма-излучения, обеспечивают биологическую защиту персонала и окружающей среды.

4. Контейнеры для медицинских и малогабаритных отходов. Для перевозки небольших объемов радиоактивных материалов, например, в медицине, используются пластиковые контейнеры типа А, оснащенные экранированием, герметичной крышкой и ударопоглощающими элементами.

5. Нестандартные упаковки. Для крупногабаритных объектов (парогенераторы, компенсаторы давления и др.) применяются нестандартные упаковки, обеспечивающие защиту от радиоактивного загрязнения при транспортировке.

Таблица 1 - Перечень специализированных контейнеров для твердых и жидких отходов

Тип контейнера	Предназначение	Примеры моделей/серий
Тип В	Высокоактивные отходы, ОЯТ, ВАО	ТУК с контейнерами типа В
Тип А	Низкоактивные отходы, объекты с загрязнением	КТБН-3000, медицинские кейсы
Специализированные	Твердые, жидкие, отвержденные отходы	КРАД, ЖЗК, УКТ, КО-1340
Нестандартные упаковки	Крупногабаритные объекты	Индивидуальные решения

Основные транспортные режимы

1. Железнодорожные перевозки. Доминирующий метод для континентальных перевозок. Специальные эшелоны формируются из вагонов-контейнеров массой до 200 тонн, оснащенных:

- Амортизирующими платформами;
- Системами телеметрии;
- Противотаранными устройствами.

ТУК-137 (и его модификации, например, ТУК-137Т) предназначен для перевозки по железной дороге. Контейнер устанавливается на специальный железнодорожный транспортер ТК-У-141О, который обеспечивает надежную фиксацию и безопасную транспортировку [2].

- Дублированными двигательными системами;
- Усиленными грузовыми трюмами;
- RO-RO рампами для контейнерной погрузки.



Рис. 1. Специальный железнодорожный транспортер ТК-У-1410

2. Морские перевозки.

Прибрежные АЭС (например, шведские Oskarshamn и Forsmark) используют суда типа M/S Sigrid - это специализированные суда, предназначенные исключительно для безопасной морской транспортировки ядерного топлива и радиоактивных отходов между атомными электростанциями, временными хранилищами и пунктами окончательной утилизации.

Основные технические характеристики судна M/S Sigrid:

- Длина корпуса: 99,5 м.
- Ширина: 18,6 м.
- Осадка: 4,5 м.
- Скорость хода: 12 узлов.
- Экипаж: 21 человек.
- Грузовместимость: 12 специальных контейнеров с ядерным веществом (на 20% больше, чем у предшественника).

Дополнительные особенности: двойной корпус для защиты от радиации, четыре дизельных двигателя, кормовая аппарель для погрузки/разгрузки трейлеров с низкоактивными отходами, современные системы безопасности и мониторинга



Рис. 2. Специализированное судно M/S Sigrid

Каждое судно сопровождается планом ликвидации аварийных ситуаций, согласованным с прибрежными государствами согласно конвенции МАРПОЛ.

3. Автомобильный транспорт.

- Короткие расстояния - автомобильный транспорт используется преимущественно для доставки ОЯТ от места загрузки (например, АЭС) до железнодорожного узла, порта или аэропорта, где груз перегружается на другой вид транспорта.

- Маршруты и графики - маршруты выбираются с учетом минимизации рисков, исключения проезда через густонаселенные районы и оптимизации времени доставки

Производятся с использованием тяжелых платформ типа Goldhofer THP/SL. Контейнеры фиксируются гидравлическими зажимами, а маршруты планируются с обходом населенных пунктов. В Германии такие перевозки сопровождаются полицейским эскортом.

Таблица 2 - Основные способы транспортировки РАО

Вид транспорта	Преимущества	Недостатки	Где используется чаще всего
Автомобильный	Гибкость, доступность	Ограничения по объему/массе, риски	Короткие расстояния, доставка до ж/д
Железнодорожный	Большая вместимость, безопасность	Ограниченная сеть путей	Россия, Европа, США
Морской	Возможность перевозки крупных партий	Сложности логистики, риски аварий	Япония, Швеция, Россия (флот)
Воздушный	Скорость	Очень высокая стоимость, риски	Чрезвычайные ситуации

Основные характеристики Goldhofer THP/SL:

- Нагрузка на ось: до 45 тонн (при скорости 1 км/ч)

- Высота загрузки: 1175 мм

- Модульность: Возможность комбинировать оси и секции для достижения нужной грузоподъемности и длины платформы. Число осей может быть разным - от 8 до 27 и более (в зависимости от конфигурации)

- Подвеска: Гидравлическая, позволяет регулировать высоту платформы и обеспечивает плавность хода

- Габариты: Ширина платформы - около 3 м.

- Управление: Может быть прицепным (буксируемым) или самоходным, в зависимости от комплектации.



Рис. 3. Тяжелая платформа типа Goldhofer TNP/SL

Системы безопасности

Инженерная защита контейнеров в составе многослойной конструкция включает:

1. Внутренний стальной сосуд (толщина 30-50 см).
2. Свинцовый экран для гамма-излучения.
3. Нейтронные поглотители на основе бора.
4. Внешняя оболочка из нержавеющей стали с антикоррозийным покрытием.

Испытания включают краш-тесты с ударными скоростями 160 км/ч и пожарные тесты с использованием керосиновых горелок.

Перспективные разработки

1. Использование облачных платформ, искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения для оптимизации маршрутов, прогнозирования спроса, управления запасами и предотвращения сбоев. ИИ помогает выбирать наиболее безопасные и экономичные маршруты, учитывая погодные условия, дорожную обстановку и исторические данные.

2. Тестирование и внедрение автономных (беспилотных) грузовиков и железнодорожных платформ для снижения рисков, связанных с человеческим фактором, и повышения безопасности.

3. Переход на электромобили, водородные и другие экологичные виды транспорта для снижения выбросов и соответствия требованиям устойчивого развития.

4. Применение дополненной и виртуальной реальности для обучения специалистов, моделирования нештатных ситуаций и отработки действий в безопасной виртуальной среде.

5. Использование роботов для погрузки/разгрузки, сортировки и контроля состояния упаковок, что минимизирует риски для персонала и повышает точность операций [3].

Заключение

Транспортировка ОЯТ представляет собой синтез инженерных решений и нормативного регулирования. Современные технологии обеспечивают уровень безопасности, при котором за 50 лет коммерческих перевозок не зафиксировано ни одного случая радиационного поражения. Развитие направлено на увеличение грузоподъемности (проекты вагонов на 600 тонн) и интеграцию искусственного интеллекта в системы логистики. Финский опыт строительства объекта Онкало демонстрирует возможность создания сквозной цепочки от реактора до геологического хранилища с полным соблюдением экологических стандартов.

Список использованных источников

1. Р.М. Джефферсон, Дж.Д. МакКлур Коммерческий опыт транспортировки отработанного топлива // БЮЛЛЕТЕНЬ МАГАТЭ. - 1979. - №21. - С. 67-75.
2. Новый железнодорожный вагон, предназначенный для перевозки отработанного ядерного топлива, завершил финальные испытания // Департамент энергетики США URL: <https://www.energy.gov> (дата обращения: 05.05.2025).
3. Перевозка отработанного ядерного топлива // Комиссия по ядерному регулированию США URL: <https://www.nrc.gov> (дата обращения: 05.05.2025).

МИРОВОЙ ОПЫТ В ОБРАЩЕНИИ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ

А.В. Никоненко, Д.В. Котлов, М.В. Буренков

Отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) представляет собой один из наиболее сложных и актуальных вопросов в области ядерной энергетики и экологии. После использования в реакторах, это топливо становится радиоактивным и требует ответственного обращения для обеспечения безопасности человека и окружающей среды. В условиях растущего интереса к ядерной энергетике как к источнику низкоуглеродной энергии, проблема эффективного и безопасного управления ОЯТ становится особенно важной.

Введение

Разные страны применяют различные стратегии обращения с отработавшим ядерным топливом, что обусловлено их историческим опытом, технологическими возможностями и общественным восприятием ядерной энергии. В то время как некоторые государства активно перерабатывают ОЯТ для повторного использования, другие сталкиваются с вызовами, связанными с его долгосрочным хранением или утилизацией.

Цель работы

В данной работе рассмотрены мировые практики и международное сотрудничество в области обращения с отработавшим ядерным топливом, проанализированы технологические, экологические и социальные аспекты. Понимание существующих подходов и проблем, связанных с ОЯТ, позволит выработать рекомендации для повышения безопасности и эффективности управления этим важным ресурсом в будущем.

Общие подходы к обращению с отработавшим ядерным топливом

Развития ядерной энергетики в России и в мире основано на концепции замкнутого топливного цикла, включающего радиохимическую переработку ОЯТ. Для обеспечения снижения радиоактивности и остаточных тепловыделений ОЯТ после выгрузки из реактора выдерживается в бассейне, заполненном раствором борной кислоты необходимой концентрации, при реакторе в течение 3-5 лет. Это облегчает транспортировку топлива в места хранения, на радиохимическую переработку и в места захоронения, упрощает ряд вопросов технологии, радиационной защиты и охраны окружающей среды.

Обращение с отработавшим ядерным топливом включает в себя несколько этапов:

- Извлечение ОЯТ из реактора;
- Перевозка ОЯТ к оборудованию постоянного и временного хранения;
- Хранения отработавшего ядерного топлива;
- Переработка ОЯТ и постоянное захоронения радиоактивных отходов с высоким уровнем радиоактивности.

Данная работа рассматривает вопросы хранения, переработки и захоронения ОЯТ в России и других странах.

Хранение отработанного ядерного топлива

Сейчас в мире используется две основные технологии хранения ОЯТ: «сухая» и «мокрая». Сухой способ хранения может осуществляться двумя способами: скважинным и контейнерным. При скважинном способе хранения ОЯТ подвешивается в среде из инертного газа или осушенного воздуха в бетонной трубе. При контейнерном способе хранения ОЯТ находится внутри контейнера, который, в свою очередь, помещается в герметичный чехол. Сухой способ хранения используется многими странами. В России, например, сухое хранения применяется на Запорожской АЭС. В основе проекта – технология сухого вентилируемого контейнера хранения (в дальнейшем – ВКХ) отработавших тепловыделяющих сборок (в дальнейшем — ОТВС) в вертикальном положении. Система сухого хранения отработавшего ядерного топлива, которая используется на Запорожской АЭС, условно поделена на три зоны: зона загрузки, транспортировки и хранения.

Предназначение зоны загрузки – безопасная загрузка ОТВС в корзину, выполнение транспортно-технологических операций по герметизации, дренированию, вакуумной сушки и заполнению многоместной герметичной корзины (МГК) гелием, а также загрузки МГК в вентилируемый контейнер хранения (ВКХ). Зона загрузки находится непосредственно в реакторных отделениях энергоблоков. Зона транспортировки представляет собой сеть путей, по которым осуществляется доставка ВКХ-ВВЭР в зону хранения с помощью специально предназначенного для этого транспортер-контейнеровозом.



Рис. 1. Транспортер-контейнеровоз ОЯТ

Зона хранения – предназначена для безопасного хранения ВКХ-ВВЭР в течение не менее чем 50 лет. К зоне хранения относится площадка хранения, образованная железобетонной плитой, предназначенной для установки ВКХ-ВВЭР. Зона хранения имеет самостоятельный контур физической защиты. В целом комплекс сухого хранения ОЯТ (СХОЯТ) рассчитан на 380 вентилируемых контейнеров хранения, которые могут вместить более 9000 ОТВС.



Рис. 2. Площадка СХОЯТ

Сухое хранение позволяет значительно сократить объем необходимого пространства по сравнению с бассейнами для хранения и может использоваться на протяжении десятилетий или даже столетий.

Как уже было сказано, на предприятиях используется также мокрый способ хранения ОЯТ. Этот способ осуществляется в приреакторных бассейнах выдержки, отдельно стоящих хранилищах АЭС и на радиохимических заводах. Мокрый способ хранения заключается в том, что после извлечения из ядерного реактора отработавшее топливо помещается в специальный бассейн выдержки для хранения. Эти бассейны заполнены раствором борной кислоты (РБК) требуемой концентрации. Бассейн выдержки выполняет несколько функций: охлаждение ОЯТ, защита персонала от радиации и изоляция ОЯТ от окружающей среды.



Рис. 3. Бассейн выдержки

ОЯТ выделяет значительное количество тепла из-за радиоактивного распада, и РБК помогает поддерживать безопасную температуру. РБК также служит барьером, уменьшая радиационное воздействие на окружающую среду. Бассейны выдержки обеспечивают физическую изоляцию от окружающей среды и предотвращают доступ к радиоактивным материалам.

Хранение ОТВС в хранилищах при реакторах производится в течение такого времени, чтобы мощность остаточных тепловыделений снизилась до уровня, при котором ОТВС можно транспортировать либо в хранилище длительного хранения, либо на перерабатывающий завод. Использование хранилищ ОЯТ, в основе которых заложен мокрый способ хранения, связана с поддержанием температурного режима, очисткой охлаждающей воды от механических примесей и радиоактивных частиц, а также экологическим контролем, если речь идет об отдельно стоящих хранилищах АЭС и радиохимических заводах.

Переработка ОЯТ

В настоящее время в атомной промышленности используется два принципиально различных пути в обращении с ОЯТ. Первый – открытый топливный цикл, основанный на захоронении топлива без его регенерации. Второй – замкнутый топливный цикл, предусматривающий регенерацию ценных компонентов топлива, таких как уран и плутоний с возвратом их в энергетику, отделение высокорadioактивных отходов и их захоронение в компактной и безопасной форме с фракционированием. Замкнутый ЯТЦ позволяет, во-первых, вернуть в энергетику обогащенный уран и плутоний. Во-вторых, при регенерации достигается разделение продуктов деления и основной массы актиноидов, имеющих большой период полураспада и требующих жестких условий при захоронении. В-третьих, переработка ОЯТ может обеспечить создание безопасных условий длительного хранения и захоронения радиоактивных отходов.

Переработка ОЯТ — это процесс извлечения полезных компонентов, таких как уран и плутоний, которые могут быть использованы повторно в качестве топлива для ядерных реакторов. Этот процесс включает несколько этапов: дробление ОЯТ и обработка их специальными растворами для получения ценных компонентов, отделение урана и плутония от других радиоактивных изотопов и отходов, а также производство из извлеченных урана и плутония новых топливных таблеток.

С развитием радиохимической промышленности были исследованы и ныне используются многие методы и способы переработки различных видов ОЯТ. Часть этих способов основана на вскрытии ТВЭЛов без разделения топливных и конструкционных материалов, а другая – с разделением. Для первой части способов исследованы и опробованы совместное растворение топлива и оболочек ТВЭЛов в водных электролитах, а также разрушение ТВЭЛов в газообразных средах и расплавах. Для второй части из всех исследованных методов и способов практическое применение в России и за рубежом нашел, как самый простой, надежный и в то же время эффективный по очистке урана, плутония и других делящихся нуклидов метод механического разрушения сборок с вскрытием ядерного топлива и последующем растворении его в азотной кислоте – процесс «резка-растворение» с дальнейшей переработкой полученных растворов по технологии «пыюрекс-процессов». Это значит, что после растворения ТВЭЛов в азотной кислоте полученный раствор фильтруют и выделяют делящиеся нуклиды.

Утилизация высокорadioактивных отходов

Основополагающий принцип в обращении с отходами ядерного топливного цикла – их надежная изоляция от биосферы на весь период, в течение которого сохраняется опасность их вредного воздействия на окружающую среду.

Радиоактивные отходы делятся по своему агрегатному состоянию (твердые, жидкие и газообразные), уровням активности, радионуклидному составу. Наибольшие проблемы на утилизацию создают жидкие отходы, а среди них особую сложность создают высокоактивные отходы (ВАО). Независимо от уровня активности, основным направлением

в обработке жидких ВАО является приведение их в твердые формы. К этому направлению относится остекловывание жидких отходов. Помимо остекловывания, жидкие отходы могут включаться в битум и храниться на территории станции.

Для уменьшения массы и объема твердых отходов применяется прессование либо сжигание. Прессование твердых отходов перед помещением их в хранилища осуществляется на специальных установках. Сжигание твердых РАО происходит в печах из огнеупорного кирпича. После прессования твердые отходы поступают либо на глубокое захоронения, либо их помещают в бетонные хранилища. Захоронение твердых отходов, для изоляции которых необходимы сотни и тысячи лет, предусматривается в глубоких формациях, в толле слабопроницаемых горных пород, в районе с тектонической стабильностью на весь период существования опасности.

Газообразные отходы представляют собой радиоактивные выбросы от АЭС в атмосферу. В условиях АЭС выбросы содержат большое количество мелкодисперсных радиоактивных частиц и требуется обеспечить их фильтрацию. Основным радиоактивный компонент выбросов – это изотоп йода ^{131}I . Для его удаления широко применяются угольные фильтры.

В России и за рубежом ведутся исследования по использованию новых технологий для уменьшения радиотоксичности и времени полураспада некоторых изотопов. Самым перспективным на данный момент исследованием является процесс трансмутации. Трансмутация — это преобразования радиоактивных изотопов в менее опасные или стабильные формы с помощью ядерных реакций. Это может значительно сократить время, в течение которого отходы остаются опасными.

Обращение с отработавшим ядерным топливом в России и за рубежом

Методы обращения с ОЯТ могут значительно отличаться в разных странах. Это зависит от того, какой применяется топливный цикл, может ли промышленный комплекс обеспечить необходимые темпы переработки ОЯТ и так далее. Рассмотрим описанные выше методы обращения с ОЯТ применительно к России и другим странам.

Как уже было сказано, хранения ОЯТ происходит либо в сухим, либо мокрым способом. В России широкое применение получило хранение ОЯТ в приреакторных бассейнах выдержки. Однако на некоторых АЭС, например на Запорожской АЭС, применяется сухое хранение ОЯТ. За рубежом, в таких странах как США и Япония отдается предпочтение сухому методу временного хранения. Во Франции и Китае также применяется мокрый способ временного хранения ОЯТ.

В ряде стран, например в США, Китае и Японии ОЯТ не перерабатывается, а направляется на длительное хранение с перспективой захоронения. В России часть ОЯТ перерабатывается, а оставшееся высокорadioактивные ОЯТ подвергают захоронению. Основными предприятиями, занимающимися хранением и переработкой ОЯТ, являются такие предприятия, как радиохимический завод «Маяк», «Горно-химический комбинат», предприятие «Атомфлот». Завод «Маяк» обслуживает Кольскую, Нововоронежскую и Белоярскую АЭС, а также занимается переработкой ОЯТ с атомных подводных лодок. ФГУП «Атомфлот» оказывает услуги по обращению с ОЯТ, в том числе производит работы по выгрузке ОЯТ с корабельных энергетических установок. «Горно-химический комбинат» занимается приемом, хранением и переработкой ОЯТ.

Высокоактивные отходы утилизируют путем глубокого захоронения. Для такого способа утилизации выбирают толстый слой горной породы со слабой проницаемостью. В России для таких целей предназначен ФГУП «Горно-химический комбинат» и радиохимический завод «Маяк». В США эти же функции выполняет сухое хранилище ОЯТ «Юкка-Маунтин» в Неваде. Во Франции разрабатывается проект глубокого геологического

захоронения «Цирклюд», который предполагает создание хранилища на глубине 500м в геологическом образовании Тюль. В Китае разрабатываются технологии переработки ОЯТ и для этой цели строятся предприятия и заводы. В Японии ведутся поиски подходящих для глубокого захоронения мест. На данный момент высокоактивные отходы передаются на хранения США.

Заключение

США, Франция, Япония, Россия и Китай имеют свои уникальные подходы к обращению с отработавшим ядерным топливом, включая временное хранение, переработку и геологическое захоронение. Все страны сталкиваются с вызовами в области хранения и утилизации ОЯТ, но активно работают над улучшением своих систем обращения с ним, учитывая интересы общества и экологические аспекты.

Список использованных источников

1. Сваровский А. Я. Обращение с отработавшим ядерным топливом АЭС в России, 2011.
2. Легасов В.А., Петросьянц А.М., Синев Н.М. Атомная наука и техника СССР // Энергоатомиздат, 1987, с. 178-182.
3. Андрюшин И.А., Юдин Ю.А. Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом // Энергоатомиздат, 2010, с. 72-99.
4. Starks J.B., The Purex Process / Separation technology department, 1977.

УДК 621.039.542.5:621.039.003

РОЛЬ ГАЗООХЛАЖДАЕМЫХ РЕАКТОРОВ В РАЗВИТИИ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЕЁ РАЗВИТИЯ

Н.Д. Рыжов, А.В. Ковалев

Водородная энергетика, объединяющая потенциал водорода как экологичного энергоносителя и атомных электростанций (АЭС) как источника экономически выгодной энергии, представляет собой перспективное направление для достижения климатической нейтральности и энергетической безопасности. В статье исследуется синергия между АЭС и водородными технологиями, позволяющая оптимизировать производство «зелёного» водорода за счёт использования избыточной электроэнергии и тепла реакторов. Рассматриваются экономические аспекты развития водородной энергетики, анализируя затраты на производство, транспортировку, хранение, реализацию водорода.

Введение

Глобальный энергетический переход к низкоуглеродным технологиям актуализирует развитие водородной экономики, где водород выступает ключевым элементом обезуглероживания промышленности, транспорта и энергетики. Однако для России, обладающей значительными ресурсами для производства водорода, интеграция в этот тренд сопряжена с комплексом научных и экономических проблем.

Цель работы

Оценить роль и потенциал атомных станций, в том числе использования газоохлаждаемых реакторов, в развитии водородной энергетики, проанализировать их технологические, экономические и экологические аспекты в контексте глобального перехода к низкоуглеродным технологиям, а также определить возможности и барьеры интеграции России в водородную экономику.

Водородный энергетический комплекс на базе АЭС

Создание водородного энергетического комплекса на базе атомных электростанций с использованием технологии электролиза воды позволяет эффективно комбинировать производство водорода с работой атомных энергоблоков. Ключевое преимущество проекта - доступ к электроэнергии по себестоимости станции в периоды низкого спроса (например, ночью), что обеспечивает экономичную выработку водорода и кислорода. Полученные газы могут быть направлены на покрытие пиковых нагрузок самой АЭС за счет обратного преобразования в электроэнергию или реализованы на рынке как коммерческая продукция. Такая интеграция не только повышает гибкость атомной станции в управлении нагрузками, но и позволяет ей участвовать в балансировке энергосистемы - как в течение суток, так и в сезонных пиках спроса.

Технологии производства водорода

В настоящее время основным методом крупномасштабного получения водорода в мире остаётся паровая конверсия метана (ПКМ). Процесс предполагает разделение молекул метана на водород и углерод с использованием водяного пара и высоких температур. Химическая реакция проходит в паровых риформерах на каталитических поверхностях при температуре 750–850°C. Оксиды углерода, содержащиеся в продуктах конверсии, отделяются от газовой смеси и утилизируются.

Для осуществления эндотермического процесса ПКМ сжигается около половины исходного газа, что приводит к загрязнению окружающей среды продуктами сгорания. С целью экономии природных ресурсов и снижения негативного влияния на окружающую среду в России, США ведутся разработки технологии ПКМ с подводом тепла от высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов (ВТГР).

Создание тандема, высокотемпературных реакторов и метода получения водорода за счет паровой конверсии метана, расширяет возможности использования атомной энергии в энергоёмких отраслях промышленности. Этот симбиоз также способствует формированию ядерных энерготехнологических комплексов, ориентированных на региональное обеспечение теплом и электроэнергией. Такие системы могут поставлять вторичные энергоносители, включая топливо для транспорта и низкопотенциальное тепло для коммунального хозяйства, коммерческих предприятий и бытовых нужд.

В современных исследованиях производства водорода акцент смещается на поиск ресурсоэффективных и экологичных методов. Ограничения, связанные с зависимостью от природного газа при паровой конверсии метана (сырьевая истощаемость и экологические риски), стимулируют переход к технологиям с повышенной долей воды в качестве основного сырья. Прогнозируется, что в долгосрочной перспективе вода станет ключевым источником для получения водорода благодаря внедрению процессов, интегрированных с атомной энергетикой. Это позволит минимизировать углеродный след и обеспечить устойчивое производство энергии.

В контексте атомной водородной энергетики ключевыми методами получения водорода из воды считаются электролиз, термохимические циклы или комбинированные термоэлектрохимические циклы. Термохимический процесс получения водорода, например, через серно-йодный цикл, основано на последовательности реакций с участием химически активных соединений и требует постоянного теплоподвода при температурах выше 900°C. Эта технология активно исследуется в ведущих странах как перспективный способ получения водорода из воды с использованием высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов. Источником тепла в таких процессах выступает высокотемпературный реактор, а на отдельных стадиях процесса наряду с термическим воздействием для отщепления водорода может использоваться электролиз участвующих в процессе химических реагентов. В гибридных системах (термохимия + электролиз) ядерный реактор обеспечивает одновременно тепловую и электрическую энергию, что делает процесс энергетически сбалансированным.

Высокотемпературные газовые реакторы (ВТГР) — ключевой элемент энерготехнологического компонента атомной энергетики. Благодаря гелиевому теплоносителю и микрострелам с многослойным керамическим покрытием эти реакторы сочетают высокий уровень безопасности с возможностью генерации тепла при температурах теплоносителя 950–1000°C. Интеграция ВТГР с промышленными технологиями позволяет эффективно производить пар, а из него водород, закладывая основу для экологически чистой водородной энергетики. Это открывает путь к замещению ископаемого топлива в энергоёмких отраслях, снижая углеродный след и обеспечивая устойчивое развитие промышленности.

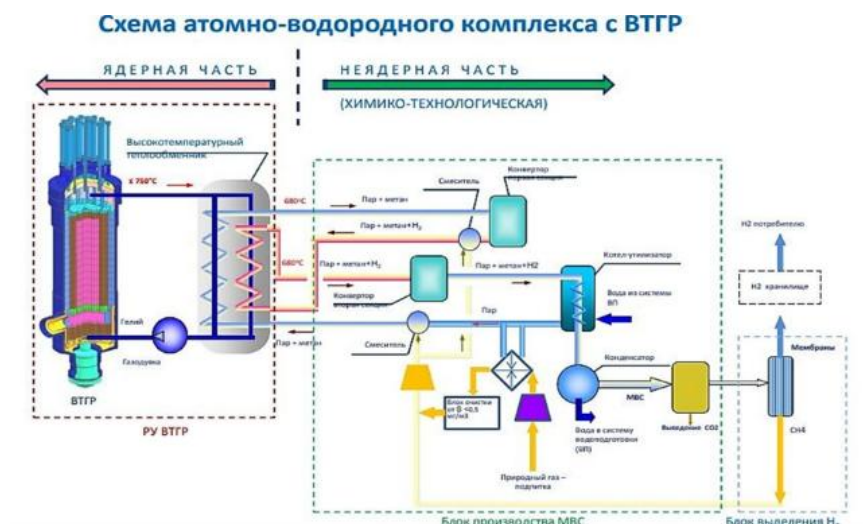


Рис. 1. Схема атомно-водородного комплекса в составе с высокотемпературным газохлаждаемым реактором

В таблице 1 приводится анализ способов получения водорода с использованием атомных электростанций.

Таблица 1 - Сравнительный анализ основных методов производства водорода

Метод	Стоимость (\$/кг H ₂)	Выбросы CO ₂	КПД (%)	Использование избытка АЭС
Паровая конверсия метана (ПКМ)	Низкая стоимость (~1–2 \$/кг H ₂)	Выбросы CO ₂ (9–12 кг на 1 кг H ₂)	60–75	Не используется, так как требует ископаемого топлива
Электролиз воды	Высокая стоимость (~4–6 \$/кг H ₂), зависимость от электроэнергии	Нулевые выбросы, если энергия от АЭС	60–70	Допускается
Щелочной электролиз	Высокая стоимость (~4–6 \$/кг H ₂), зависимость от электроэнергии	Нулевые выбросы, если энергия от АЭС	70–80	Допускается
РЕМ (протонообменная мембрана)	Высокая стоимость (~4–6 \$/кг H ₂), зависимость от электроэнергии	Нулевые выбросы, если энергия от АЭС	до 90% в составе АЭС	Допускается
Высокотемпературный электролиз	Высокая стоимость (~4–6 \$/кг H ₂), зависимость от электроэнергии	Нулевые выбросы, если энергия от АЭС	до 90% в составе АЭС	Допускается
Термохимические циклы	5–10 (прогноз)	Нулевые выбросы, если энергия от АЭС	40–50	Требуется ВТГР, который может поставлять тепло и электроэнергию
Газификация угля	Низкая стоимость (~1–2 \$/кг H ₂).	Высокие выбросы CO ₂ (18–20 кг на 1 кг H ₂)	60–70	Не используется, так как требует ископаемого топлива

Применение избыточной энергии АЭС для генерации водорода повышает рентабельность атомной энергетики и сокращает выбросы CO_2 , электролиз воды становится выгодным при использовании дешёвой электроэнергии особенно в ночное время, когда энергопотребление снижается. Получение «красного водорода» на основе АЭС может стать основным энергоносителем в странах с мощной атомной энергетикой для России, Китая, США.

Перспективность с точки зрения извлечения прибыли

С точки зрения извлечения прибыли водородная энергетика считается перспективной. Водородное топливо считают универсальным, потому что оно находит применение в самых разных областях и может быть произведено из множества доступных ресурсов. Его можно использовать в транспорте в виде топливных элементов, энергетике, промышленности для производства аммиака и стали, а также для сезонного накопления энергии.

Основная характеристика горючего — высокая энергоёмкость. Один килограмм водорода содержит около 120 МДж энергии. Это значительно превосходит показатели любого другого традиционного вида топлива. При этом единственным побочным продуктом его использования является вода. Это делает водородное топливо идеальным с точки зрения экологической безопасности.

Однако производство водорода – дорогостоящий процесс. Водород редко встречается в чистом виде, требуя энергоёмкого производства. Методы добычи классифицируются по цветам:

- серый/коричневый/голубой - из метана, угля, природного газа с выбросами CO_2 ;
- красный- с использованием атомной энергии;
- зелёный - через электролиз воды, но его себестоимость слишком высока.

Большинство методов, кроме «зелёного» нарушают экологичность концепции из-за загрязнения атмосферы. Имеются проблемы хранения и транспортировки водорода. Водород (H_2) - газ с низкой плотностью. Для транспортировки его необходимо сжижать при температуре - 253 °С, хранить под высоким давлением. Такие условия повышают стоимость перевозки и создают риск утечек. Из-за низкой плотности даже в сжатом состоянии для хранения газа нужно существенно больше места, чем для традиционного горючего. Кроме того, газообразный водород относится к горючим взрывоопасным газам.

В таблице 2 приводится сравнительный анализ экономических показателей водородной энергетики России и США.

Таблица 2 - Сравнительный анализ водородной энергетики России и США

Название страны	Россия	США
Методы добычи водорода	Паровой риформинг метана (99,9 % вырабатываемого водорода). Электролиз (Ограничен в России до 0,1%)	Паровой риформинг метана (до 96 % от общего выработанного водорода в стране). Электролиз (от 2-4 % от выработанного водорода)
Виды добываемого водорода	Серый (95%) Зеленый (5%). Начаты и продолжаются проекты по увеличению объемов добываемого «голубого» и «зеленого» водорода.	Серый (60%) Голубой (20%) Зеленый (20%) - Планируется значительный рост.

Выбросы при выработке газа	Высокие выбросы (CO ₂)	Выбросы есть (80 % водорода Серый+Голубой). Выбросы нулевые-Зеленый водород
Экспортируемые объемы	~0,1 млн тонн на момент 2024 года. Планы увеличить объем экспорта до 2 млн тонн в Азию и Европу к 2030 году.	Экспорт минимален, фокус на внутренний рынок. Планы увеличить объем добываемого водорода, для экспорта в ЕвроСоюз и Канаду к 2028 году.
Целевое потребление в государстве	Потребляют примерно 3,5 млн тонн\год. Идет на нефтепереработку, химию и металлургию (2024 год)	Около 10 млн тонн\год. На нефтепереработку аммиак и транспортные пилоты (2023 год)
Планы на идеальный объем добываемого водорода	Целевой объем увеличить до 15-20 тонн к 2035 году (50% водорода уйдет на экспорт)	Объем увеличить до 10 млн тонн Зеленого водорода к 2030 году (остальные виды водорода исключить из выработки)
Цена добываемого водорода на момент 2024 года)	Серый водород (1-2\$ \кг)	Серый водород (1,5-3 \$\кг). Голубой (3-4 \$ \кг). Зеленый (от 10 \$ \кг) - от цене зеленого водорода 3\$ субсидии от InflationReduction Act (IRA)

Выводы

Усовершенствованные газоохлаждаемые реакторы обеспечат производство водорода и опреснение воды, что позволит потребителям получать энергию в наиболее удобной форме. Освоение этой технологии снизит использование углеродного топлива для энергетических целей, уменьшит его негативное воздействие на окружающую среду и откроет новые возможности для его неэнергетического применения.

Список использованных источников

1. Аминов Р.З., Шкрет А.Ф., Бурденкова Е.Ю., Гариевский М.В. Эффективные способы обеспечения базовой нагрузкой АЭС в энергосистемах // Теплоэнергетика, 2011. №5. С. 10–15.
2. Аминов Р.З., Байрамов А.Н. Комбинирование водородных энергетических циклов с атомными электростанциями. — М.: Наука, 2016. 254 с.
3. Аминов Р.З., Байрамов А.Н., Гариевский М.В. Оценка системной эффективности атомно-водородного энергетического комплекса // Теплоэнергетика, 2019. №3. С. 57–71.
4. Столяревский А.Я., Пономарёв-Степной Н.Н. Атомно-водородная энергетика. — М.: Альтернативная энергетика и экология, 2010.
5. Митрова Т., Мельников Ю., Чугунов Д. Водородная экономика — путь к низкоуглеродному развитию. — М.: ЦЭ МШУ «Сколково», 2019. 63 с.
6. Blue Fuel - Gazprom Export Global Newsletter / 2018, Issue 48.

УДК: 621.039.003

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОТКРЫТОГО И ЗАКРЫТОГО ЯДЕРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЦИКЛОВ

Павлова И.А., Губин А.В.

В статье приведен анализ целесообразности применения открытого и закрытого ядерных топливных циклов на атомных электростанциях. Составлена структура основных экономических издержек на АЭС. Рассмотрены особенности, преимущества и недостатки открытого и закрытого ядерных топливных циклов, а также приведено обоснование выбора ядерного топливного цикла.

Введение

Современная жизнь человека не представляется возможной без электрической энергии. Атомные станции зарекомендовали себя как превосходный способ выработки электроэнергии. В России доля выработки электроэнергии атомными станциями составляет 20% от всего производства электричества. В мире, по данным на 2023 год, на долю атомной энергетики пришлось 9% произведенной в мире электроэнергии. Самым главным преимуществом атомной энергетики перед другими способами генерации электроэнергии является цепная реакция деления, которая не требует окислителя для получения тепловой энергии, как это происходит на тепловых станциях. Данная особенность обуславливает отсутствие вредных выбросов в атмосферу при нормальной эксплуатации, что позволяет располагать станции ближе к потребителю. Также, благодаря большой теплотворной способности ядерного топлива в сравнении с ископаемым топливом, уменьшаются издержки на транспортировку топлива до станции, его хранение и так далее. Также, в отличие от возобновляемых источников энергии, АЭС не зависят от погодных условий и не занимают большие территории. На сегодняшний день в мировом сообществе и Российской Федерации идет дискуссия насчет развития атомной отрасли: использование открытого ядерного топливного цикла (ЯТЦ) или переход к замкнутому ЯТЦ. [1]

Цель работы

Целью данной работы является анализ стоимостной составляющей открытого и закрытого ядерного топливного цикла. В частности стоит задача обосновать независимость затрат на захоронение отработанного топлива от выбранной программы.

Структура экономических издержек на АЭС

Структура экономических издержек для атомных электростанций включает несколько ключевых категорий.

Распределение издержек атомных электростанций можно представить следующим образом:

1. Капитальные затраты:

- Составляют 55% от общей себестоимости электроэнергии;
- Расходы на проектирование и строительство энергоблоков.

2. Топливо:

- Занимает 25% от общей стоимости;
 - Расходы на ядерное топливо включают добычу урана, его обогащение и изготовление топливных сборок;
 - В отличие от традиционных угольных или газовых станций, чувствительность себестоимости электроэнергии к изменениям цен на ядерное топливо сравнительно низкая.
3. Эксплуатация и ремонт:
 - Доля составляет 10%;
 - Включает текущие расходы на обслуживание оборудования и персонал.
 4. Обращение с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ):
 - Занимает 5%;
 - Расходы на переработку топлива и хранение радиоактивных отходов.
 5. Вывод из эксплуатации:
 - Занимает 5%;
 - Включает затраты на демонтаж энергоблоков и утилизацию оборудования. [2]

На основе этих данных был построен круговая диаграмма, который визуально демонстрирует распределение издержек в себестоимости электроэнергии на АЭС.

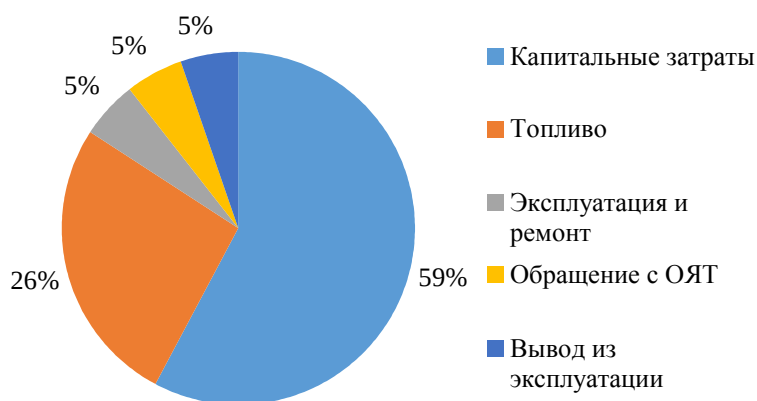


Рисунок 1 – Усредненное процентное содержание издержек на АЭС

Этот график позволяет быстро оценить пропорции различных категорий расходов и понять, какие аспекты требуют наибольших финансовых вложений в атомной энергетике.

Особенности открытого ЯТЦ

Применение открытого ядерного топливного цикла подразумевает под собой тот факт, что отработавшие в ядерном реакторе тепловыделяющие сборки (ТВС) не подвергаются последующей переработке, а отправляются на длительное хранение в специальных контейнерах.[3] Однако, существуют следующие трудности открытого ЯТЦ:

1. Ненадежность прогнозирования безопасности хранения отработавшего топлива на тысячи лет (ничтожность опыта хранения по сравнению с конечным сроком хранения);
2. Отсутствие данных по длительной устойчивости конструкционных материалов; необходимость большого расхода дорогостоящих материалов при захоронении ОЯТ;
3. Отсутствие методов расчета для подтверждения безопасности захоронения ОЯТ;
4. Необходимость специальных геологоразведочных работ большого объема;
5. Невозможность осуществления радиационно-эквивалентного захоронения.

Особенности закрытого ЯТЦ

Переход к закрытому ЯТЦ подразумевает повторное использование урана (первичное топливо) и плутония (вторичное топливо) после переработки в виде смешанного уран-плутониевого топлива. Замкнутый топливный цикл обеспечивает:

1. Снижение темпов расходования урана;
2. Вовлечение в цикл плутония;
3. Снижение радиоактивности и токсичности материалов для вечного хранения;
4. Упрощение проблемы обеспечения нераспространения ядерных материалов;
5. Улучшение перспективы экспорта реакторов;
6. Стабильную работу АЭС независимо от добычи урана;
7. Использование ценных радионуклидов и трансурановых элементов.

Экономическое обоснование выбора ЯТЦ

Уровень затрат на электроэнергию является самой базовой метрикой для сравнения затрат на генерацию электроэнергии. Это фактически минимальная цена, по которой электроэнергия должна продаваться, чтобы выйти на безубыточность при заданной норме доходности на протяжении срока службы установки. В настоящее время топливо представляет собой относительно небольшую долю от общих затрат, так как уран имеет феноменально большую теплотворную способность, что позволяет уменьшать издержки на логистику и эксплуатацию. Хотя увеличение цены на уран может в конечном итоге привести к выбору более эффективного, современного топливного цикла, предполагается, что к этому может привести только значительный и постоянный рост цен на U_3O_8 . В свою очередь, этот фактор может повлиять на конкурентоспособность ядерной энергии как способа генерации энергии с низкими выбросами, что приводит к необходимости значительного сокращения капитальных затрат. Затраты, связанные с управлением и захоронением ядерных отходов, как правило, составляют небольшую часть, но зависят от выбора топливного цикла, при этом открытые топливные циклы обычно предлагают более дешевые затраты на захоронение.

Стоимость открытого топливного цикла была оценена на основе затрат из шведского плана захоронения. Шведская концепция захоронения хорошо развита и имеет много сходств с моделью захоронения, которая будет находиться в кристаллической породе и будет вмещать аналогичное количество отработанного ядерного топлива LWR. Шведская ядерная программа также имеет значительно меньше радиоактивных отходов, чем в Великобритании или Франции, чьи топливные циклы используют переработку отработанного топлива. Эти затраты были сопоставлены с другими источниками для проверки оценки. В данном случае, затраты, связанные со строительством ядерной электростанции (29 %) и последующей эксплуатацией и управлением (48 %), доминируют над остальными затратами проекта. Установлено, что капитальные затраты доминируют над затратами на топливный цикл как для существующих PWR, так и для будущих систем быстрых реакторов. Принятие любой дальнейшей степени закрытия топливного цикла приведет к дополнительным затратам в топливном цикле (например, переработка и производство топлива, а также современные реакторные системы, которые в настоящее время ожидаются как относительно более дорогие). Изменение стоимости захоронения не оказывает значительного влияния на общую стоимость проекта. Захоронение HNGW (переменные затраты, связанные с раскопками и захоронением отходов) составляет скромные 5.6 – 9.8 % от стоимости топливного цикла. Топливные циклы, которые могут сэкономить на затратах на захоронение, уменьшая объем отходов или требования к площади, введут большие затраты на начальной стадии топливного цикла. Важно отметить, что, хотя большинство затрат проекта зависят от

установленной мощности (например, затраты на реактор и топливо), фиксированные затраты на строительство хранилища останутся примерно одинаковыми. Если будет выбран меньший масштаб программы перехода на закрытый ЯТЦ, фиксированные затраты (и общие затраты на захоронение) составят большую, но все же незначительную долю от общих затрат проекта. Большинство государств, в таком случае, вынуждены выделять средства для строительства хранилищ. Поскольку стоимость денег растет со временем, ставка дисконтирования фактически является процентной ставкой, которая позволяет оценить эффективность вложенных инвестиций на данный момент времени. Хотя финансирование хранилища потребует значительных капиталовложений, даже слегка положительная ставка дисконтирования (1,5 – 3,0 %) приводит к значительно меньшему количеству текущей стоимости. Обычно ставки дисконтирования для ядерной энергетики могут варьироваться от 3 – 10 %, но зависят от типа инвестиций (государственные или частные; частные инвесторы, как правило, стремятся к более высокой доходности). При относительно скромной ставке дисконтирования в 3 %, через 180 лет стоимость оказывается более чем на 2 порядка ниже. При 5 % и 180 лет это становится почти на 4 порядка. При такой небольшой процентной ставке для любой системы реакторов (~7% для открытого топливного цикла PWR), и с минимальным сроком от 50 до 100 лет перед захоронением, затраты на захоронение становятся относительно небольшими и, следовательно, вряд ли окажутся значительным фактором при выборе ядерной программы. Другие факторы, такие как национальная политика и общественное мнение, являются как факторами для захоронения или переработки, так и имеют последствия для выбора топливного цикла, и важно признать, что приоритет этих факторов, вероятно, будет меняться со временем.

Выводы

Данные, полученные в результате исследования сценариев, демонстрируют, что, хотя площадь захоронения для ядерных отходов может быть уменьшена более чем на 90 % с закрытым топливным циклом, это не делает данный фактор решающим при переходе на более продвинутый замкнутый цикл. Различия в значительной степени можно объяснить тем, что стоимость раскопок является фактором, зависящим от количества контейнеров, отправляемых на захоронение (т.е. плотность захоронения). Стоит отметить, что капитальные и эксплуатационные затраты на ядерную энергетику значительны независимо от выбора системы, в то время как затраты на захоронение обычно составляют небольшую долю от общей стоимости проекта. Даже для наименее дорогого и наиболее понятного топливного цикла (открытый топливный цикл PWR) изменение стоимости захоронения (5,6 % – 9,8 %) не кажется значительным для общей стоимости топливного цикла. Эти эффекты усиливаются с введением даже небольшой ставки дисконтирования, что дополнительно снижает оценочную стоимость захоронения на начальном этапе проекта. Разработка продвинутой ядерной программы, которая может либо уменьшить объем, остаточные тепловыделения или радиотоксичность отходов, приведет к большим затратам в остальной части топливного цикла, которые вряд ли компенсируют любое снижение затрат на захоронение. Даже если применять стоимость захоронения для HTR, который производит гораздо больший объем теплогенерирующих отходов (примерно в 8 раз больше, чем открытый топливный цикл PWR), увеличенные затраты на захоронение не представляют собой значительное изменение общей стоимости проекта (моделируется как 3 % увеличение стоимости проекта). В конечном итоге стоимость захоронения не изменяется существенно при выборе различных топливных циклов или времени охлаждения, хотя может быть некоторое преимущество в сокращении площади и объема радиоактивных отходов в закрытых топливных циклах. Таким образом, стоимость захоронения не кажется значительным фактором, влияющим на выбор топливного цикла.

Список использованных источников

1. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года: утвержден указами Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 года N 596-606.
2. Шаманин И.В. Открытый и замкнутый ядерные топливные циклы: преимущества и недостатки.
3. Петрушов В.А., Тихомиров Г.В. Замкнутый ядерный топливный цикл // «Энергетический вестник», 2023.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ И СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

И.А. Лапшин, И.С. Колесников, А.В. Губин

Атомная энергетика остается ключевым элементом низкоуглеродной энергетики, однако сталкивается с серьезными экономическими вызовами, такими как высокие капитальные затраты, длительные сроки строительства, конкуренция с ВИЭ и общественное сопротивление. В статье анализируются основные экономические проблемы отрасли и рассматриваются современные решения, включая модульные реакторы (ММР), новые финансовые модели, оптимизацию жизненного цикла АЭС и интеграцию в энергосистемы с возобновляемыми источниками.

Введение

Атомная энергетика обеспечивает около 10% мировой электроэнергии и играет важную роль в декарбонизации, представляя собой источник низкоуглеродной электроэнергии и тепла, который может способствовать достижению углеродной нейтральности. Декарбонизация электроэнергии является серьезной задачей, которая требует использования всех доступных низкоуглеродных технологий. [1, 2] Глобальные цели в области климата не будут достигнуты в случае исключения атомной энергетики.

Однако в последние десятилетия отрасль сталкивается с экономическими трудностями: рост стоимости строительства новых АЭС, конкуренция с дешевеющими ВИЭ и газом, высокие затраты на вывод из эксплуатации, зависимость от государственных субсидий.

Несмотря на это, новые технологии и управленческие подходы могут повысить конкурентоспособность атомной энергетики.

Цель работы

Целью данной работы является анализ существующих экономических вызовов в атомной энергетике, экономических проблем отрасли и современных решений, включая модульные реакторы (ММР), новые финансовые модели, оптимизацию жизненного цикла АЭС и интеграцию в энергосистемы с возобновляемыми источниками.

Высокие капиталовложения при строительстве и эксплуатации АЭС

Одним из важнейших экономических вызовов являются высокие капитальные затраты и сроки строительства АЭС. Капитальные затраты на строительство АЭС включают расходы на подготовку площадки, собственно строительство, закупку необходимого оборудования, ввод в эксплуатацию, включая расходы на инжиниринг и трудовые ресурсы, а также на финансирование инвестиций. Строительство крупных АЭС (например, EPR, ВВЭР-1200) требует \$5–10 млрд и 7–12 лет, что приводит к рискам перерасхода бюджета (например, в проектах Olkiluoto-3 и Flamanville-3), удорожанию кредитного финансирования. [4]

Существует ряд методов для расчета и сравнения стоимости энергетических проектов, однако наиболее широко используется нормированная стоимость энергии (НСЭ). Самый

существенный фактор, влияющий на НСЭ ядерной энергетики, – это капитальные затраты на строительство атомной электростанции. Затраты на топливо, эксплуатацию и техническое обслуживание и ремонт обычно ниже, чем у электростанций на ископаемом топливе, что в действительности является ключевым экономическим преимуществом ядерной энергетики. Атомные станции характеризуются высокими первоначальными капитальными затратами (требуемый объем инвестиций составляет от 5 до 10 миллиардов долларов США на энергоблок). Однако, АЭС обеспечивают стабильное производство недорогой электроэнергии на протяжении многих десятилетий. В отличие от других энергоисточников, эксплуатирующие организации ядерных установок должны аккумулировать средства для выполнения обязательств по обращению с отходами и выводу из эксплуатации в течение всего срока службы атомной электростанции. Обычно эти затраты добавляются к стоимости ядерного топливного цикла. [3]

Одним из путей решения этой проблемы могут быть малые модульные реакторы (ММР) и микрореакторы.

Современные ММР проектируются с электрической мощностью до 300 МВт. Самые первые ядерные энергетические реакторы имели малую мощность, и сегодня реакторы малой мощности эксплуатируются на подводных лодках и морских судах. Отличие современных ММР заключается в подходе к проектированию и производству, который использует преимущества, связанные с их небольшим размером, для интеграции инновационных систем безопасности, применения новых производственных технологий (увеличение объемов заводской сборки и стандартизация) и освоения новых бизнес-моделей. Многие ММР разрабатываются с перспективой использования на рынках, для которых большие реакторы были бы просто слишком велики ввиду недостаточного спроса на электроэнергию либо параметров сети. [3]

ММР могут обеспечить гибкое производство электроэнергии для широкого круга потребителей и сфер применения, включая модернизацию электростанций, работающих на ископаемом топливе, с заменой основного оборудования; когенерацию, небольшие электроэнергетические системы, а также удаленные или неэлектрифицированные районы. [3]

В настоящее время разрабатывается более 70 конструкций ММР различного назначения. Проекты на базе ММР находятся на разном уровне технологической готовности. Некоторые технологии, например реакторы с водяным охлаждением, можно считать глубоко проработанными: одна такая установка уже построена и работает на Севере России, обеспечивая комбинированное производство тепла и электроэнергии для удаленных населенных пунктов.

Микрореакторы являются подгруппой ММР. Их тепловая мощность составляет до 20 МВт (электрическая – около 10 МВт), они проектируются для транспортировки в виде полностью смонтированной тепловой или электроэнергетической установки к потенциальному месту размещения и обратно. [3]

Еще одним путем решения является снижение капитальных затрат за счет серийного производства (3–5 тыс./кВт против 6–8 тыс./кВт у крупных АЭС). При этом сроки строительства снижаются до 3–5 лет. В качестве примеров можно привести малый ядерный реактор NuScale Power (США), российский водо-водяной ядерный реактор РИТМ-200 (Россия), HTR-PM (Китай).

Огромную роль в решении проблемы высоких капиталовложений в строительство АЭС и сроков строительства имеют несомненно финансовые модели и господдержка, а также частно-государственное партнерство.

Финансовые модели в проектах сооружения АЭС включают комбинированное финансирование, которое включает привлечение акционерного капитала и корпоративного долга с точечной государственной поддержкой на различных этапах проекта. Наиболее действенными в настоящее время являются следующие:

- модель крупного энергопотребителя: поставщик или группа поставщиков, выступающая в форме консорциума, обязуется построить АЭС за фиксированную цену;
- модель «связанного инвестора»: в основе лежит совладение и разделение всех затрат по проекту на этапах сооружения и эксплуатации, а также совместное принятие стратегических решений между участниками;
- модель альянса энергокомпаний: финансирование проекта обеспечивается за счёт собственных средств альянса акционеров АЭС, поддержки кредитно-экспортных агентств, а также за счёт банковских займов, в том числе под долгосрочные соглашения о поставках электроэнергии. [4]

Государственная поддержка может включать льготное кредитование, субсидирование производства оборудования, изготовление топлива и обогащение, а также контроль за национальной атомной отраслью. [4]

Государственно-частное партнёрство (ГЧП) — это симбиоз государственных и частных компетенций и интересов, который позволяет правительствам стран решать проблемы с финансированием инфраструктурных объектов. [4]

Также путем снижения себестоимости производства электроэнергии служит оптимизация жизненного цикла, т.е. продление эксплуатации действующих АЭС до 60–80 лет (США, Франция) и применение реакторов замкнутого топливного цикла на быстрых нейтронах (БН-800, БРЕСТ).[7]

Оптимизация жизненного цикла АЭС направлена на достижение высокой технико-экономической и социальной эффективности производства энергии при минимизации ущерба для общества и окружающей среды на всех стадиях жизненного цикла. Оптимизация жизненного цикла АЭС предусматривает управление рисками, управление безопасностью, профилактическое техническое обслуживание, оптимизацию срока службы энергоблока.

Для оптимизации жизненного цикла АЭС может использоваться создание цифровой платформы, которая объединяет все стадии жизненного цикла АЭС, систематизирует информацию обо всех событиях и элементах в цифровом формате с учётом факторов: безопасности, стоимости, долговечности, времени. [5]

Управление жизненным циклом АЭС требует комплексного подхода, сочетающего стратегическое, тактическое и оперативное планирование.

Конкуренция с возобновляемыми источниками энергии

Следующим серьезным вызовом является конкуренция с ВИЭ и газом. Стоимость солнечной и ветровой энергии упала в 5–10 раз за 20 лет (LCOE ~\$30–50/МВт·ч). Газовые ТЭС остаются более гибкими и дешевыми в строительстве.

ВИЭ несомненно имеют существенные преимущества: экологическую чистоту, бесконечность, сроки строительства и низкие эксплуатационные расходы. В отличие от традиционных источников энергии, использующих ископаемые топлива, возобновляемые источники не способствуют увеличению эффекта парникового газа, что помогает бороться с изменением климата. Кроме того, возобновляемые источники, такие как солнечная и ветровая энергия, будут существовать всегда, поскольку они основаны на природных процессах. Однако, есть и недостатки: высокая стоимость установки и масштабирования, а также зависимость от погодных условий. [3]

Достоинствам ВИЭ атомная энергетика противопоставляет свои конкурентные преимущества: высокую производительность, низкую себестоимость производства и круглосуточную работу, не зависящую от погодных условий. Экологическая конкурентоспособность. АЭС практически превосходят ВИЭ (кроме ветростанций), с точки зрения эколого-экономической эффективности в комплексном и долгосрочном плане. 1

Энергия, полученная на атомных электростанциях, демонстрирует ценовую конкурентоспособность. 1

Также важным преимуществом является возможность регулирования выработки электроэнергии. Современные АЭС способны при определённых условиях регулировать выработку электроэнергии в соответствии с изменяющимися потребностями. 3

По мнению Международного энергетического агентства (МЭА), к 2050 году более 62 трлн кВт·ч электроэнергии в год будет приходиться на ВИЭ, из которых около 48 трлн кВт·ч — это суммарно ВЭС и СЭС. Доля же АЭС вырастет с нынешних 2,7 трлн кВт·ч (2020 год) только до 5,5 трлн кВт·ч, то есть будет на порядок ниже, чем производство электроэнергии на ВИЭ.

Выходом из этой ситуации могут быть гибридные системы, где АЭС работает в базовом режиме несения нагрузки, а ВИЭ в режиме пиковых нагрузок.

Вывод из эксплуатации и обращение с отработанными ядерными отходами

Существенным экономическим вызовом являются затраты на вывод из эксплуатации и обращение с отработанными ядерными отходами (ОЯТ).

Вывод из эксплуатации объектов ядерной энергетики — важное направление, актуальность которого будет возрастать на протяжении следующих десятилетий. В процессе вывода из эксплуатации решают широкий спектр задач, связанных с обеспечением радиационной безопасности, обращением с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом, реабилитацией загрязнённых территорий и другими аспектами. Вывод АЭС из эксплуатации может стоить \$1–3 млрд (20–30% от стоимости строительства).

Экономические аспекты вывода из эксплуатации ядерных объектов включают в себя оценку стоимости и схемы финансирования работ по выводу из эксплуатации объектов ядерного «наследия», установок ядерного топливного цикла, реакторного парка. Вывод и эксплуатации ядерных объектов имеет ряд важных особенностей:

- сложность и дороговизна процесса: вывод из эксплуатации ядерных установок связан с необходимостью работать в условиях повышенного радиационного фона, что требует высокого уровня квалификации рабочих и инженерных кадров. Кроме того, существует значительная неопределённость реальной стоимости процессов вывода из эксплуатации; [8]

- использование различных источников финансирования. В большинстве стран практикуется включение в цену произведённой на АЭС электроэнергии налога (обычно 2–6%), который идёт в фонд для оплаты будущих операций по снятию станций с эксплуатации и захоронению отходов;

- необходимость в долгосрочных инвестициях. Реализация программ ядерного «наследия» требует огромных капиталовложений. Например, в 2023 году упоминалась приблизительная оценка общей стоимости вывода 35 энергоблоков на российских АЭС: более 2 трлн рублей в нынешних ценах.

Обращение с радиоактивными отходами включает в себя извлечение накопленных твёрдых радиоактивных отходов из хранилищ, их сортировку, переработку и кондиционирование, транспортировку и оптимизацию схем обращения с радиоактивными отходами. Хранение ОЯТ требует долгосрочных инвестиций. До сих пор не существует общепризнанной концепции обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ). Существующие технологии обеспечивают только два способа обращения с ОЯТ: «прямое» захоронение после промежуточного хранения в течение нескольких десятилетий и переработка (регенерация) ОЯТ с выделением урана и плутония для использования в составе свежего топлива.

Экономические аспекты обращения с отработанными ядерными отходами также имеют свои особенности:

– экономическая привлекательность захоронения радиоактивных отходов (РАО), что с экономической точки зрения выгоднее, чем долговременное контролируемое хранение отходов;

– влияние объема отходов на затраты: чем больше отходов, тем больше перевозок потенциально опасных грузов и, как следствие, выше вероятность транспортных аварий с радиологическими последствиями;

– влияние категории отходов на затраты: увеличение тарифов может ограничивать масштабы допустимого сокращения объема РАО. [9]

Постоянно образующиеся в настоящее время ОЯТ, требуют системного подхода к решению проблемы и разработки инновационных технологий. Развитие технологий позволяет почти в 20 раз сократить массу захороняемых радиоактивных отходов, а остальную массу ОЯТ использовать для производства нового топлива в замкнутом ядерном топливном цикле. Согласно прогнозам, в период до 2030 г. рынок обращения, переработки и утилизации использованного ядерного топлива будет развиваться со среднегодовыми темпами роста около 6 %. Россия планирует переход на замкнутый ядерный топливный цикл, в котором все виды облученного топлива атомных электростанций будут перерабатываться.

Выводы

Атомная энергетика является важным и перспективным источником энергии, однако, сталкивается с рядом проблем и вызовов, которые необходимо решать для обеспечения безопасности и экономической эффективности ее использования. Ядерная энергетика продолжает развиваться за счет новых разрабатываемых технологий, которые позволят расширить сферу применения атомной энергии и углубить ее интеграцию с другими низкоуглеродными источниками энергии, такими как возобновляемые источники с переменным режимом генерации и ископаемые виды топлива в сочетании с технологиями улавливания и хранения углерода, в декарбонизированном энергетическом балансе будущего.

К сильным сторонам атомной энергетике можно отнести мультипликативный характер развития отрасли. Атомная энергетика обеспечивает заказами машиностроение, металлургию, материаловедение, геологию, строительный комплекс, сферу информационно-коммуникационных технологий, сферу образования и др. видов экономической деятельности, являясь таким образом драйвером их развития [6].

Ядерные реакторы обеспечивают стабильные поставки электроэнергии в течение 60–80 лет. Ядерная энергетика является экологически чистой. Реализуемые в настоящее время проекты ядерных исследований и разработок направлены на повышение ядерной безопасности, снижение рисков распространения, минимизацию отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и улучшение экономических показателей АЭС [6].

Таким образом, атомная энергетика сохраняет потенциал, но требует инновационных решений для снижения затрат и повышения гибкости. Развитие ММП, новые финансовые механизмы и интеграция с ВИЭ могут обеспечить ее устойчивость и дальнейшее развитие.

Список использованных источников

1. IEA (2023). Nuclear Power in a Clean Energy System.
2. WNA (2024). Economics of Nuclear Power.
3. Ядерный бриф: "Обзор технологий атомной энергетики 09/08/2021
https://unece.org/sites/default/files/2021-08/Nuclear%20brief_RU.pdf

4. Дубовцев Д. Роль государственно-частного партнерства в развитии атомной энергетики России. <file:///C:/Users/User/Downloads/389-740-1-PB.pdf-cziklom-aes/energetika/2023/19/24/>
5. Алышрайдах М., И. Енговатов, Морозенко А., Вопросы управления жизненным циклом АЭС. Энергетическая политика. <https://energypolicy.ru/voprosy-upravleniyazhiznennym>
6. OECD NEA (2022). Small Modular Reactors: Cost Competitiveness.
7. Дубовцев Д. Роль государственно-частного партнерства в развитии атомной энергетики России. <file:///C:/Users/User/Downloads/389-740-1-PB.pdf-cziklom-aes/energetika/2023/19/24/>
8. Кайгородцев А.А. Проблемы и перспективы развития атомной энергетики в глобализированном мире // Научное обозрение. Экономические науки. 2021. № 1. С. 20-24

ИНЖЕНЕРНЫЕ НАУКИ

РАЗВИТИЕ АНАЭРОБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОДВОДНЫХ ЛОДОК

Р.И. Алехин, В.В. Матковский

В статье рассматривается история создания отечественных подводных лодок с анаэробными (воздухонезависимыми) энергетическими установками. Оснащение анаэробными энергетическими установками позволяет подводным лодкам гораздо дольше находиться в подводном положении, что затрудняет их обнаружение противолодочными средствами. Приводится описание конструкции и принципа действия основных типов воздухонезависимых энергетических установок подводных лодок.

Введение

Современные подводные лодки (ПЛ) с анаэробными энергетическими установками являются высокоэффективным средством вооруженной борьбы на море, способны нести разнообразное оружие и совершать длительное плавание в отрыве от мест базирования. Боевая эффективность дизельных ПЛ напрямую зависит от необходимости всплытия на перископную глубину в режим работы дизеля под водой для периодической подзарядки аккумуляторных батарей, что снижает скрытность их действий и повышает вероятность обнаружения. Проблема увеличения продолжительности подводного плавания, исключающего необходимость частого подвсплытия для зарядки аккумуляторных батарей, может быть решена благодаря применению анаэробных энергетических установок.

Цель работы

Целью данной работы является изучение мирового опыта создания анаэробных энергетических установок подводных лодок и рассмотрение перспектив оснащения отечественных ПЛ анаэробными энергетическими установками.

История и перспективы развития анаэробных энергетических установок ПЛ

Современные тенденции развития подводного флота свидетельствуют о необходимости оснащения отечественных ПЛ анаэробными (воздухонезависимыми) энергетическими установками.

Анаэробная (воздухонезависимая) энергетическая установка (англ. Air-Independent Propulsion или AIP) - понятие, которое предусматривает использование технологии, позволяющей ПЛ двигаться длительное время без необходимости всплывать на поверхность или использовать устройство для обеспечения работы дизеля под водой. Анаэробная энергетическая установка может дополнять или заменять дизель-электрическую установку неатомных субмарин [2].

Впервые оснастить подводное судно паровым двигателем удалось в 1854 году. Французский инженер Проспер Пайерн создал на его основе аппарат с паровым двигателем. Паровая машина размещалась в корме, она приводила в движение двухлопастный гребной винт. Пар для нее вырабатывали два котла. Один был обычным, он использовался для плавания на поверхности воды. Другой котел работал в подводном положении. В его

герметичной топке сжигалось специальное топливо (спрессованные брикеты смеси селитры с углем), при горении выделявшее кислород. Одновременно в топку подавалась пресная вода. Водяной пар и продукты сгорания топлива направлялись в паровую машину. Оттуда, завершив работу, они отводились за борт через невозвратный клапан, не позволявший морской воде заливать топку.

В 1908 году в состав Российского Императорского Флота вошла подводная лодка «Почтовый», которая при движении под водой использовала бензиновый двигатель, работающий на сжатом воздухе, с выпуском выхлопных газов под воду.

В 1933 году немецкий инженер-изобретатель Гельмут Вальтер разработал серию двигательных установок, которые использовали в качестве энергоносителя и одновременно окислителя концентрированную перекись водорода (80 - 85%), разлагаемую с помощью различных катализаторов, главным из которых был перманганат натрия, калия или кальция. Продукты реакции разложения высококонцентрированного раствора перекиси водорода подавались в турбину, которая через редуктор вращала гребной винт, а затем выводились за борт.

После Великой Отечественной Войны в некоторых странах, в том числе в США, Великобритании и СССР, осуществлялись проекты по разработке двигателей ПЛ с использованием «Цикла Вальтера».

В СССР тема разработки подводных лодок с ПГТУ Вальтера получила название проекта 617. При проектировании ПЛ проекта 617 учитывался как советский, так и зарубежный опыт создания одномоторных двигателей. Топливо составляло 103 т перекиси водорода, дизельное топливо - 88,5 т и специальное топливо для турбины - 13,9 т. Все компоненты находились в специальных мешках и баках снаружи прочного корпуса. Новинкой, в отличие от немецких и английских разработок, стало использование в качестве катализатора не оксида марганца, а перманганата калия (кальция). Будучи твердым веществом, он легко наносился на сетки и решетки, не терялся в процессе работы, занимал гораздо меньше места, чем растворы, и не разлагался со временем. Во всем остальном парогазовые турбинные установки являлись копией двигателя Вальтера.

В 1956 – 1958 годах были спроектированы крупные лодки проекта 643 с надводным водоизмещением 1865 тонн и уже с двумя парогазовыми турбинами, которые должны были обеспечить лодке подводную скорость в 22 узла. Однако в связи с созданием эскизного проекта первых советских подводных лодок с ядерными энергетическими установками проект был закрыт.

ПЛ проекта 615А строились в СССР в период с 1953 по 1956 год. Проект 615А - серия подводных лодок с подводным движением на дизельном двигателе. Для обеспечения работы дизельного двигателя под водой, использовался жидкий кислород. Последняя подводная лодка, использовавшая эту технологию, была списана в начале 1970-х годов [1].

Современные неатомные подводные лодки ряда стран используют топливные элементы в качестве вспомогательного источника энергии. Первые топливные элементы были изобретены У. Гроувом в 1838 году. Топливный элемент (электрохимический генератор) является по сути, аккумуляторной батареей с постоянной подзарядкой. Две платиновые полоски, обдуваемые – одна кислородом, а другая – водородом, помещенные в водный раствор серной кислоты, дают ток. В результате реакции, кроме электрического тока, образовывались тепло и вода. При этом энергетическое превращение происходит бесшумно, а единственным побочным продуктом реакции является дистиллированная вода, которой достаточно легко найти применение на ПЛ. Топливные элементы могут непрерывно вырабатывать электроэнергию до тех пор, пока поступают горючее и окислитель.

На подводных лодках ВМС Германии (тип 212) и ВМС Италии (тип Salvatore Todaro) установлены топливные элементы с протонообменной мембраной (Рис. 1), в которых используется кислород и водород высокой чистоты, получаемый при разложении биоэтанола

в специальных реакторах. Использование топливных элементов позволяет ПЛ оставаться под водой более недели без необходимости всплытия на поверхность.

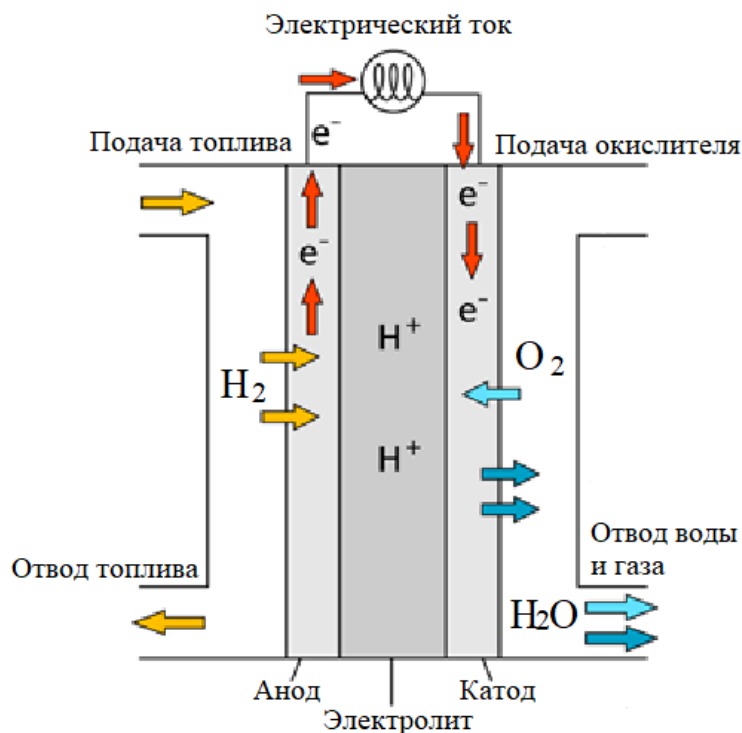


Рис. 1. Схема топливного элемента с протонообменной мембраной

По критериям эффективности и безопасности водород находится в связанном состоянии в форме металлогидрида (специальный сплав металла в соединении с водородом), а кислород — в сжиженном виде в специальных емкостях между легким и прочным корпусами ПЛ. Между водородным и кислородным катодами находятся полимерные электролитные мембраны протонного обмена, выполняющие функцию электролита [4].

Несмотря на очевидные преимущества энергетической установки на топливных элементах, она не обеспечивает требуемые оперативно-тактические характеристики ПЛ океанского класса, прежде всего в части, касающейся выполнения скоростных маневров при преследовании цели или уклонении от атаки противника. Зарубежные ПЛ, как правило, оснащаются комбинированной двигательной установкой, в которой для движения на высоких скоростях под водой используются аккумуляторные батареи или топливные элементы, а для плавания в надводном положении — традиционный дизель-генератор, применяемый также для подзарядки аккумуляторных батарей.

В России с первой половины 1970-х гг., центральным конструкторским бюро морской техники (ЦКБ МТ) «Рубин» ведутся работы по созданию ВНЭУ с электрохимическим генератором. Была разработана энергетическая установка большей мощности «Кристалл-27» со щелочным электролитом. Дополнительная энергетическая установка «Кристалл-27» на базе топливных элементов, позволит увеличить срок автономного подводного плавания до 60 - 90 суток. Установка отличается интерметаллидным и криогенным хранением водорода и кислорода, а также низкотемпературным электрохимическим генератором со щелочным матричным электролитом. Она отвечает всем предъявляемым к ней требованиям и конкурентоспособна с энергетической установкой немецкой подводной лодки проекта 212, которую превосходит по экономичности и базовому обеспечению за счет наличия автономного берегового комплекса заправки.

В 1980-х гг. центральное конструкторское бюро «Лазурит» разработало проект оснащения ПЛ воздухонезависимой энергетической установкой на основе топливных

элементов мощностью 280 кВт (проект 613Э). Кроме того, ЦКБ МТ «Рубин» и предприятием «Адмиралтейские верфи» была разработана установка непрерывного получения водорода методом гидротермального окисления порошков алюминия. За рубежом подобные установки получили название «полутопливные элементы», в них используют алюминий или другой металл для получения водорода. Основным недостатком энергетических установок на топливных элементах является её высокая стоимость.

Наиболее перспективным направлением в области создания анаэробных энергетических установок ПЛ является использование в них двигателей Стирлинга [3].

От всех известных преобразователей энергии прямого цикла (дизелей, паровых и газовых турбин, электрохимических генераторов и др.), которые могут использоваться в составе анаэробных установок, двигатели Стирлинга выгодно отличаются целым рядом качеств, которые обуславливают перспективу их применения на неатомных ПЛ: практическая бесшумность в работе из-за отсутствия взрывных процессов в цилиндрах двигателя и клапанного механизма газораспределения и достаточно плавного протекания рабочего цикла при относительно равномерном крутящем моменте, что напрямую влияет на акустическую скрытность ПЛ – главную составляющую обобщенного показателя – «скрытность ПЛ»; высокий КПД (до 40 %), возможность использования в качестве горючего нескольких типов углеводородного топлива (соляровое топливо, сжиженный природный газ, керосин и др.); эксплуатация двигателей Стирлинга, работающих на традиционном топливе, не требует создания сложной береговой инфраструктуры (в отличие от электрохимических генераторов); моторесурс современных двигателей Стирлинга составляет 20 - 50 тыс. часов, что в 3 - 8 раз превышает срок жизни топливных элементов (около 6 тыс. часов); при сроке эксплуатации ПЛ порядка 25 - 30 лет применение двигателей Стирлинга позволит сократить необходимое количество подводных лодок на 35 - 40 % по сравнению с потребным числом лодок с электрохимическими генераторами (из-за более высокой надежности) [5].

По прогнозам специалистов – до 2030 года на мировом рынке потребность в неатомных ПЛ будет составлять до 400 субмарин. Козырными картами в борьбе за выигрыш, несомненно, станут субмарины с анаэробными установками на основе двигателей Стирлинга. По мнению ведущих специалистов, данные неатомные ПЛ уже в настоящее время по своим характеристикам не только приблизились к атомоходам, но по некоторым показателям даже превосходят их. Например, в ходе двух учений в Атлантике, прошедших в 2003 году, шведская лодка «Халланд» с анаэробными двигателями Стирлинга «победила» в дуэльной ситуации испанскую субмарину с обычной дизель-электрической установкой, а затем и французскую атомную ПЛ Подводная лодка «Халланд» в Средиземном море, одержала верх в «схватке» с американской атомной подлодкой «Хьюстон» (тип Los-Angeles). При этом необходимо отметить, что малозумная и высокоэффективная ПЛ «Халланд» стоит в 4,5 раза дешевле своих атомных соперников.

Анализируя современный уровень в создании анаэробных энергетических установок, необходимо отметить отставание России в решении данного вопроса от передовых промышленно развитых стран. За рубежом первые анаэробные энергетические установки для ПЛ появились в 80 - 90 годы прошлого века. В настоящее время в Германии, Швеции, Франции, Италии, США созданы, прошли испытания и начато серийное производство анаэробных (воздухонезависимых) энергоустановок на основе двигателей Стирлинга, парогазовых турбин и электрохимических генераторов.

В России неоднократно предпринимались попытки создания отечественных двигателей Стирлинга, однако они, из-за отсутствия адекватных методов расчета и трудностей финансового порядка, серьезного успеха не имели. В 1996 году Акционерным обществом «Машиностроительный завод АРСЕНАЛ» были начаты работы по теме «Исследование и разработка электроагрегатов на базе многотопливных двигателей Стирлинга». Из-за отсутствия реального финансирования из федерального бюджета данные работы не были

завершены в полном объеме. При успешной реализации проекта планировалось к 2004 году наладить мелкосерийное производство двигателей и холодильных машин Стирлинга производительностью до 100 кВт. Однако, данные работы из-за отсутствия финансирования пока не реализованы. За последние 15 лет во многих российских научных организациях, в которых ранее велись работы по тематике создания машин Стирлинга, исследования из-за финансовых трудностей были полностью прекращены.

По мнению специалистов, уже в ближайшие 5 - 7 лет неатомные подводные лодки без анаэробной установки не смогут в полном объеме выполнять стоящие перед ними боевые задачи в условиях усиливающейся противолодочной борьбы. Соответственно, ПЛ, представляемые российскими фирмами на экспорт, без анаэробных энергетических установок будут не конкурентоспособны на мировом рынке морского вооружения. Если не разрабатывать современные двигатели с воздухомнезависимыми энергетическими установками, то технологический разрыв, имеющий место сейчас, со временем станет непреодолимой пропастью. Все это приводит к необходимости активизации как теоретических, так и экспериментальных работ по созданию перспективных анаэробных ЭУ для отечественных подводных лодок [6].

Выводы

Впервые за прошедшие 100 лет, с постройки первой российской ПЛ, наша страна стремительно теряет лидерские позиции в области мирового подводного кораблестроения и мировые рынки сбыта.

Совершенно очевидно, что Россия, не освоив технологию создания анаэробных энергетических установок, практически не имеет будущего в создании неатомных подводных лодок 5-го поколения. Если в ближайшее время ситуация в отечественном подводном кораблестроении коренным образом не изменится в лучшую сторону, то с появлением зарубежных неатомных подводных лодок 5-го поколения, российские военно-морские силы будут вынуждены отказаться от услуг отечественных проектировщиков и кораблестроительных компаний не только в области анаэробных технологий, но и перейти к прямым закупкам иностранных подводных лодок для российского военно-морского флота.

Применение анаэробных энергетических установок, позволит создать подводные лодки, конкурентоспособные на мировом рынке по скрытности и продолжительности автономного подводного плавания.

Список использованных источников

1. Барановский В.В., Злобин В.Г., Пилипенко Н.Н., Рыбалко В.В. Корабельные энергетические установки. – СПб.: ВМА, 2003. – 525 с.
2. Бродянский В.М. Вечный двигатель – прежде и теперь. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 260 с.
3. Ридер Г., Хупер Ч. Двигатели Стирлинга: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 464 с.
4. Довыдовский В.А., Рюмин Р.В., Чукарев А.Г. Энергетические установки воздухомнезависимых подводных аппаратов. Молодой ученый, 2016. – № 10 (114). – С. 183-187
5. Уокер Г. Двигатели Стирлинга: - М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.
6. Кириллов Н.Г. Энергетическая безопасность России и ресурсосбережение – как магистральное направление развития российской энергетики. // Энергетическая политика. №1, 2002.
7. <https://moluch.ru/archive/114/29436/>.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И МЕХАНИЗМОВ В МАШИННОМ ОТДЕЛЕНИИ

Я.В. Оводов, К.А. Остролюцкий

В статье рассматривается влияние размещения механизмов и устройств на повышение их функционирования и удобство эксплуатации. Проведен анализ современных исследований в области размещения оборудования и механизмов в машинных отделениях. Определены проблемные составляющие, предлагаются рекомендации для повышения эффективности использования.

Введение

В зависимости от предназначения, типа и размеров судна его оснащают различным оборудованием, механизмами, устройствами, как для удовлетворения энергетических потребностей судна, так и для обеспечения движения судна. Качественное, своевременное перемещение и доставка различных грузов является основополагающим фактором функционирования судна по назначению. Поэтому грамотное размещение оборудования и механизмов в машинном отделении представляет собой интерес для судостроения.

Использование современных тенденций размещения оборудования и механизмов в машинном отделении позволит не только улучшить монтаж, демонтаж оборудования, но и упростить и повысить качество их обслуживания.

Цель работы

Целью данной работы является изучение современного опыта в размещении механизмов и устройств в машинных отделениях судов, а также рассмотрение перспектив развития.

История и перспективы развития в размещении оборудования и механизмов в машинных отделениях судов

Благодаря правильному размещению механизмов и оборудования решается проблема по повышению эффективности их функционирования. Более правильное расположение сводится к тому, что устанавливать механизмы и оборудование следует в местах, где они будут наиболее эффективно выполнять свои функции.

Определённых успехов достигло установление вспомогательного оборудования вблизи обслуживаемого главного механизма, а взаимосвязанные механизмы располагать как по горизонтали, так и по вертикали. Трассировка же коммуникаций, как правило, должна проходить в трех взаимно перпендикулярных направлениях: параллельно диаметральной плоскости судна, перпендикулярно ей и перпендикулярно основной плоскости судна. Так же необходимо предусматривать достаточные пространства для монтажа, обслуживания и ремонта. Учитывать, что механизмы, за которыми необходимо постоянное наблюдение во время работы, должны устанавливаться непосредственно около поста управления [3].

Наиболее современные судовые энергетические установки komponуют, используя метод «агрегатирования». Данный метод показал себя как наиболее эффективный при

эксплуатации установок. Метод «агрегатирования» состоит в объединении нескольких механизмов, теплообменных аппаратов и устройств, выполняющих определенные функции, в один блок, смонтированный на общей раме, что позволяет упростить их эксплуатационное обслуживание и ремонт, используя при этом агрегатно-блочную замену необходимого механизма [2].

Итак, при размещении механизмов и оборудования в машинных отделениях необходимо учитывать следующие современные рекомендации:

- компактность размещения с минимальной протяженностью трубопроводов и кабельных трасс;
- соблюдение удобного доступа для обслуживания и ремонта;
- обеспечение надежного всасывания насосов судовых энергетических установок и систем судового назначения во время различных эксплуатационных факторах - осадках, кренах, дифферентах при качке и волнении;
- расположение механизмов с горизонтальными валами (генераторы) параллельно диаметральной плоскости, что исключает влияние гироскопического эффекта на работу подшипников при бортовой качке;
- установка механизмов с высоким уровнем шума в наибольшем удалении от постов управления, переборок и палуб для снижения структурного шума в жилых и общественных помещениях;
- размещение электродвигателей вспомогательных механизмов без соприкосновения с судовыми конструкциями.

Расходные цистерны (топливные и масляные) целесообразно располагать у бортов, на платформах и в шахтах машинных помещений, цистерны циркуляционные масляные – под настилом машинного помещения или в выгородках двойного дна, а цистерны расширительные, замкнутой системы охлаждения – над обслуживаемыми ими двигателями.

Котлоагрегаты автономные и утилизационные и обслуживающие их механизмы, устройства необходимо размещать на платформе в выгороженном помещении или в трюме, а глушители и искрогасители целесообразно размещать в кожухах дымовых труб.

Главный распределительный щит целесообразно размещать на платформе или в трюме машинного помещения на площадке, которая находится выше уровня плит. При наличии в машинном помещении специально выгороженного отделения центрального поста управления ГРЩ часто устанавливают в этом отделении.

Вместе с тем размещение оборудования и механизмов в машинных отделениях судов различных флотов должно производиться с соблюдением Правил классификации и постройки [1].

Например, при размещении главных и вспомогательных механизмов в машинных отделениях необходимо учитывать, чтобы из их постов управления и мест обслуживания были обеспечены свободные проходы к выходам из помещений шириной не менее 600 мм и высотой не менее 1900 мм. Ширина прохода со стороны поста управления главными механизмами, а также между главными механизмами должна быть не менее 1000 мм. При дистанционном управлении главными механизмами ширина прохода может быть снижена до 800 мм. Каждое машинное помещение должно иметь не менее двух выходов. Выходы должны быть расположены на противоположных бортах и как можно дальше удалены друг от друга. Размеры в свету шахт, в которых установлены трапы, должны быть не менее 600 × 600 мм.

Грузовые насосные помещения на танкерах могут иметь один выход, ведущий непосредственно на открытую палубу.

Ступени сходных трапов должны быть шириной не менее 560 мм и иметь глубину не менее 100 мм. Наклон трапов должен быть не более 60° к горизонтали. Ступени трапов, должны быть рифлеными. Вертикальные трапы должны иметь ширину не менее 300 мм.

Расстояние от ступеней трапов до жестких корпусных конструкций, находящихся за трапами, должны быть не менее 150 мм. Расстояние между отдельными ступенями должно составлять не более 300 мм.

Площадки, предназначенные для обслуживания и ремонта механизмов, вспомогательных котлов приборов и различных устройств механических установок должны быть шириной не менее 450 мм и иметь прочные поручни высотой не менее 900 мм. Все движущиеся части механизмов и приводы, представляющие опасность для обслуживающего персонала, должны быть ограждены поручнями или кожухами.

Узлы механизмов, приборы и трубопроводы, нагрев которых может достигать температуры выше 60°C должны быть оборудованы устройствами для предупреждения или ограничения теплового излучения. Нагретые выше 220°C поверхности механизмов, оборудования и трубопроводов должны иметь изоляцию, выполненную из негорючих материалов.

Расстояние от наружной поверхности изоляции котлов и деталей механизмов, нагретых выше 60°C, до стенок цистерн жидкого топлива должно составлять не менее 600 мм.

Вспомогательные котлы, устанавливаемые в одном помещении с двигателями внутреннего сгорания, должны быть ограждены металлической выгородкой в районе топочного устройства.

Автономные котлоагрегаты, расположенные на платформах или промежуточных палубах и не выгороженные непроницаемыми перегородками, должны ограждаться непроницаемыми комингсами высотой не менее 200 мм. Автономные котлоагрегаты на нефтеналивных судах должны устанавливаться за коффердамами вне зоны грузовых нефтяных цистерн. Топливные и масляные цистерны не должны размещаться над трапами, ДВС, котлами, газо-выпускными трубами, дымоходами, электрическим оборудованием и постами управления главными механизмами.

Двигатели для привода грузовых насосов и вентиляторов насосных помещений на нефтеналивных судах, за исключением паровых, гидравлических и электрических двигателей во взрывозащищенном исполнении, не допускается устанавливать в грузовых помещениях.

Выводы

Совершенно очевидно, что в современных реалиях судовое оборудование и механизмы в машинном отделении komponуют, используя метод «агрегатирования». Данный метод показал себя как наиболее эффективный при эксплуатации установок. Метод «агрегатирования» состоит в объединении нескольких механизмов, теплообменных аппаратов и устройств, выполняющих определенные функции, в один блок, смонтированный на общей раме, что позволяет не только улучшить их эксплуатационное обслуживание но и упростить ремонт, используя агрегатно-блочную замену необходимого механизма.

Применение современных тенденций в размещении оборудования и механизмов в машинном отделении, позволит достойно конкурировать на мировом рынке при создании современных судов.

Список использованных источников

1. Российский речной регистр. Правила в 4-х томах. Т. 3. – М.: По Волге, 2002. – 419 с.
2. Новые технологии для модернизации судов. Судостроение, 2014. – № 7 (8). – С. 39-56.
3. Конков Г.А. Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация судов, – М.: Транспорт, 1980. – 423 с.

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВЫХ КОМПЛЕКСОВ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

М.В. Киселев, А.Н. Гулевич

В настоящее время создаются выполняющие самые разные задачи научно-исследовательские, аварийно-спасательные, рабочие, промысловые, военного назначения и другие обитаемые и необитаемые подводные аппараты. Все они существенно отличаются по внешним, весовым и габаритным характеристикам, а также по принципу движения, стабилизации и управления. В статье изложена информация о движительно-рулевых комплексах подводных аппаратов. Приводится краткое описание основных типов движителей, особенности их размещения в зависимости от назначения и внешней формы подводного аппарата.

Введение

Движительно-рулевой комплекс (ДРК) подводного аппарата (ПА) – это комплекс специально ориентированных движителей, позволяющий осуществлять продольное движение, пространственное маневрирование и стабилизацию ПА в водной среде при выполнении им рабочих операций в соответствии со своим предназначением.

При выполнении ПА множества работ скорости близки к нулю или отсутствуют. При столь малых скоростях эффективность таких традиционных средств управления, как горизонтальный и вертикальный рули, недостаточна. Они не могут обеспечить управление в таких специфичных режимах эксплуатации, как перемещение лагом, зависание над объектом, вертикальное подводное всплытие при отсутствии продольного движения, удержание ПА при работе манипулятором и др. Это приводит к необходимости осуществлять управление движением ПА с помощью ДРК, эффективность которого не зависит от скорости продольного движения. Конструктивные решения по размещению ДРК в соответствии с формой корпуса очень разнообразны и определяются назначением ПА и требованиями к его маневренным качествам.

Цель работы

Целью данной работы является анализ существующих типов и структурных схем движительно-рулевых комплексов подводных аппаратов, принципов их размещения, определяемых назначением подводного аппарата, формой его корпуса и требованиями к его маневренным качествам.

Анализ движительно-рулевых комплексов подводных аппаратов

При движении ПА перемещается в трехмерном пространстве, для чего ему необходимы шесть степеней свободы – поступательное движение параллельно осям координат x , y , z и вращательное движение вокруг этих осей.

Движительно-рулевые комплексы современных аппаратов позволяют осуществлять поступательное движение по оси x (передний и задний ход) и по оси y (погружение и всплытие), вращение вокруг оси y (поворот) и вокруг оси z (дифферент), перемещение вдоль оси z (движение лагом) и вращение вокруг оси x (крен). Изменение крена обычно требуется

для транспортных или спасательных ПА, стыкующихся с выходным люком подводных объектов [6].

В сочетании с рационально выбранной уравнильно-дифферентной системой и внешней формой корпуса аппарата ДРК в общем случае должен обеспечивать хорошие ходовые и маневренные качества при минимальной затрате энергии для выполнения следующих операций:

- погружение под воду и всплытие ПА на поверхность;
- движение в любом направлении с возможностью реверса и изменения скорости в широком диапазоне;
- зависание в заданной точке толщи воды в горизонтальном положении или с определенным углом дифферента;
- маневрирование в ограниченном пространстве и на сложном рельефе вблизи дна;
- безопасная посадка и всплытие с грунта.

На многих телеуправляемых ПА уравнильно-дифферентная система отсутствует, и все перечисленные функции выполняются только ДРК [1].

В состав ДРК могут входить маршевые и подруливающие движители различного типа, горизонтальные и вертикальные рули и стабилизаторы, количество и размещение которых на ПА зависят от его назначения и внешней формы. В качестве движителей на современных ПА наиболее часто используются гребные винты в направляющих насадках, а также водометные и крыльчатые движители.

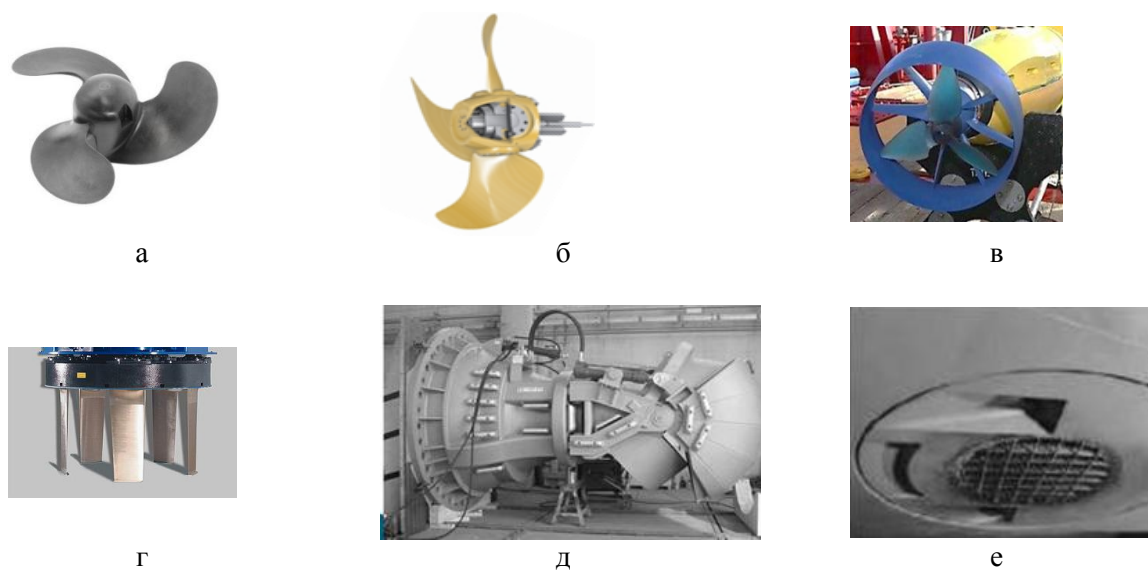


Рис. 1. Движители подводных аппаратов:

- а – винт фиксированного шага; б – винт регулируемого шага;
 в – направляющая поворотная насадка; г – крыльчатый движитель;
 д – водометный движитель с осевыми насосами;
 е – водометный движитель с центробежными насосами

Гребной винт (ГВ) представляет собой конструкцию в виде ступицы с размещенными на ней лопастями, которые расположены радиально на равных угловых расстояниях друг от друга. Различают винты фиксированного шага (ВФШ) и винты регулируемого шага (ВРШ).

ВФШ изготавливаются цельнолитыми или со съемными лопастями (Рис. 1, а).

ВРШ внутри полый ступицы имеют механизм изменения шага. (Рис. 1, б). ВРШ обеспечивает реверс ПА не меняя направления вращения гребного вала. Благодаря ряду

преимуществ, винты регулируемого шага нашли самое широкое применение на ПА различных назначений.

Отличительной чертой ГВ является высокий КПД до 0,75, малая масса и большая надежность.

Для повышения эффективности работы гребных винтов используют специальные направляющие насадки (рис. 1, в). Направляющая насадка представляет собой кольцевое крыло с авиационным профилем сечения, соосное с ГВ. Ее жестко скрепляют с корпусом аппарата или с корпусом поворотной колонки. Положительное действие насадки проявляется не только в том, что она создает дополнительный упор. Из-за сужения потока в насадке возрастает скорость воды, протекающей через диск винта, и выравнивается поток воды к ГВ, что повышает КПД движителя. Применение направляющих насадок тем более целесообразно, чем больше нагрузка на ГВ при малых скоростях движения, что характерно для большинства типов ПА.

Крыльчатый движитель (рис. 1, г) объединяет в себе функции движителя и руля. Он представляет собой ротор, вращающийся вокруг вертикальной оси, по окружности которого на равных угловых расстояниях располагаются от 3 до 8 перпендикулярных к его поверхности лопастей, выполненных в виде крыльев. Вращаясь вместе с ротором, лопасти периодически поворачиваются вокруг своей собственной оси, создавая упор, направление которого может изменяться в пределах от 0° до 360° вправо или влево при изменении углов установки лопастей, что позволяет очень хорошо маневрировать ПА и в состоянии почти мгновенно изменить его упор. КПД крыльчатого движителя почти равен КПД ВРШ, но крыльчатый движитель значительно сложнее по конструкции. Крыльчатые движители нашли широкое применение в подруливающих устройствах.

Водометный движитель представляют собой установку, состоящую из водопроточной трубы (канала) и мощного насоса. Насос засасывает воду через приемное отверстие и выбрасывает ее с повышенной скоростью через напорный канал. Реакция выбрасываемой струи и является той силой, которая движет ПА в сторону, противоположную направлению выброса струи. Чтобы избежать засасывания посторонних предметов; приемное отверстие канала защищено специальной сеткой. Напорный канал водомета обычно снабжается на конце поворотными насадками, реверсивными рулями или иными устройствами для управления ПА путем изменения направления струи воды. Наибольшее распространение получили водометы с осевыми пропеллерными насосами (рис. 1, д) и водометы с горизонтально расположенными центробежными насосами (рис. 1, е). Водометные движители имеют невысокий пропульсивный КПД и применяются обычно для ПА с глубинами погружения не более 300 м.

Варианты размещения ДРК можно свести к двум типовым схемам. Наиболее простая схема состоит из двух ГВ в насадках, которые размещаются по бортам на поворотных кронштейнах, которые могут поворачиваться на угол до 90° градусов относительно горизонтальной плоскости, что позволяет изменять направление тяги ГВ. При необходимости количество движителей может увеличиваться. Совместно с реверсом такая система обеспечивает ПА отличные маневренные характеристики и простоту управления.

Другая схема состоит из одного или двух маршевых движителей в кормовой части, обеспечивающих продольное движение. Для осуществления пространственного маневрирования несколько подруливающих движителей устанавливаются в поворотных пилонках на корпусе ПА. Могут применяться подруливающие устройства туннельного типа, устанавливаемые в специальных шахтах внутри корпуса перпендикулярно продольной оси ПА в вертикальной и горизонтальной плоскостях [1].

Одновременное обеспечение хорошей устойчивости, маневренности и поворотливости ПА является трудной задачей, которая решается как составом и размещением ДРК, так и выбором соответствующей формы внешнего корпуса.

Удлинение корпуса увеличивает устойчивость ПА на курсе и уменьшает сопротивление воды движению аппарата, однако ухудшает его маневренность и поворотливость.

Форма ПА в виде сферы способствует наилучшим маневренным качествам, но приводит к наибольшему лобовому сопротивлению.

Недостаточность удлинения корпуса для обеспечения удовлетворительной динамической устойчивости ПА обычно компенсируется вертикальными и горизонтальными стабилизаторами, а требуемая маневренность при чрезмерном удлинении ПА достигается установкой разнообразных подруливающих устройств.

При выборе формы необходимо предусматривать получение приемлемых гидродинамических качеств ПА, обеспечение жизнедеятельности экипажа, размещение оборудования и аппаратуры. Эти требования в основном определяют габарит и внешнюю форму ПА. Для безопасного плавания ПА должен быть на всех режимах надежно стабилизирован, что достигается ДРК различной эффективности и сложности, выбор которых производится в зависимости от формы аппарата.

Не менее важным и сложным является вопрос обеспечения прочности аппарата, особенно если он предназначен для значительных глубин погружения. Требования прочности приводят к формам, которые часто противоречат требованиям гидромеханики. В этих случаях наиболее распространенным способом разрешения противоречий является создание прочного и легкого корпусов ПА [6].

Исследования, проведенные в Институт океанологии им. П.П. Ширшова (ИО РАН), показали, что все многообразные формы ПА можно свести к нескольким типовым хорошо обтекаемым формам (сфера, эллипсоид вращения, торпедообразная форма) и плохо обтекаемой пространственной конструкции [2].

Обитаемые подводные аппараты (рис. 2). Обитаемые ПА подразделяются на исследовательские и поисково-спасательные.

Большинство исследовательских обитаемых ПА имеет каплевидную форму корпуса с относительным удлинением от 2 до 3 («Пайсис», «Алвин», «Аргус»).

ДРК ПА «Пайсис» состоял из двух бортовых винтов в насадках. Гондолы могли разворачиваться вокруг горизонтальной оси в пределах 120° , таким образом, движители использовались как в качестве маршевых, так и в качестве вертикальных.

У ПА «Алвин» устанавливался кормовой винт в поворотной насадке.

ДРК ПА «Аргус» был с фиксированным положением гребных винтов в насадках по бортам и носовыми и кормовыми вертикальными винтами.

Для поисково-спасательных ПА характерно удлинение свыше 3, а также форма вытянутого эллипсоида вращения. Выбор этого варианта объясняется удобством размещения людей, бортовых систем и устройств в корпусе ПА, а также стремлением создания оптимальных конструкций ПА, когда их стабилизация осуществляется за счет развития конструкции по вертикали [3].

У одного из первых поисково-спасательных ПА «Алюминаут» был установлен ДРК с фиксированным положением двух гребных винтов и управлением ПА с помощью вертикального кормового руля. На ПА «Дип Квест» помимо двух кормовых маршевых винтов в насадке, были установлены два вертикальных винта в носу и корме.

В состав ДРК современных поисково-спасательных ПА «Мистик», «Приз», «Бестер» входит 1 – 2 кормовых маршевых движителя в поворотных насадках и 2 лаговых движителя в носовой и кормовой части корпуса, установленных в поперечных шахтах.



«Пайсис»



«Алвин»



«Аргус»



«Алюминаут»



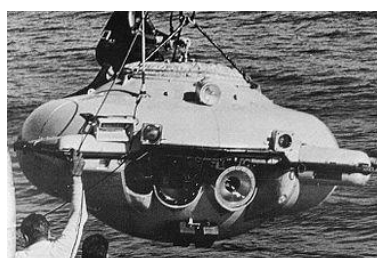
«Дип Квест»



«Мистик»



«Приз»



«Дениза»



«Океанолог»

Рис. 2. Обитаемые подводные аппараты

Наиболее удачными в отношении гидродинамических характеристик и минимизации энергозатрат для исследовательских ПА является форма сплюсненной сферы с обводами двояковыпуклого блюда («Дениза», «Океанолог»).

ДРК «Дениза» состоял из двух водометных движителей, установленных по бортам в носовой части ПА.

ПА «Океанолог» был оснащен ДРК горизонтального и вертикального перемещения, состоящим из четырех крыльчатых движителей, установленных в корпусе на взаимоперпендекулярных осях.

Необитаемые ПА подразделяются на автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) и телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА).

Автономные необитаемые подводные аппараты (рис. 3). Наиболее распространенной формой корпуса АНПА является хорошо обтекаемая торпедообразная цилиндрическая форма, которая обеспечивает достаточно высокую скорость продольного движения при удовлетворительной поворотливости [5].

ДРК АНПА торпедообразной формы имеет, как правило, кормовое оперение с вертикальными и горизонтальными рулями и маршевые движители в кормовой оконечности, например, АНПА «Концепт-М», «Алистер».

В качестве движителей АНПА, как правило, применяются один или несколько гребных винтов без насадок или с насадками для придания аппарату необходимой маневренности.

Иногда АНПА оснащаются вертикальными и горизонтальными туннельными подруливающими устройствами для более точного пространственного позиционирования, когда аппарат имеет малую скорость хода, например, АНПА «Платформа».

У АНПА имеются и многвинтовые варианты компоновки ДРК. Так, например, ДРК АНПА «Клавесин-1Р» имеет четыре свободных ГВ, расположенных между Х-образно закрепленных стабилизаторов.

Примером аппарата цилиндрической, но не круглой формы, может служить АНПА «Эхо Вояджер». ДРК аппарата состоит из пятилопастного ГВ и четырех поворотных стабилизаторов.

Также имеются АНПА хорошо обтекаемой нецилиндрической формы. Одним из примеров таких АНПА может служить «Тандерфиш», ДРК которого представлен четырьмя вертикальными и четырьмя горизонтальными стабилизаторами, двумя кормовыми ГВ в насадках и четырьмя вертикальными подруливающими устройствами туннельного типа.



«Концепт-М»,



«Алистер»



«Платформа»



«Клавесин-1Р»



«Эхо Вояджер»



«Тандерфиш»

Рис. 3. Автономные необитаемые подводные аппараты

Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (рис. 4). Для ТНПА, работающих в режиме динамического позиционирования и сложного траекторного движения, наиболее часто используется форма осесимметричного эллипсоида, например, ТНПА «Плуту Плюс». Это дает не только уменьшение сопротивления движению, но и устойчивость и управляемость по курсу.

Многие ТНПА, типа ПАП-104, имеют также промежуточные внешние формы корпусов, где за счет некоторых выступающих элементов нарушается хорошо обтекаемая форма, приближаясь к формам обитаемых аппаратов. Эти формы являются наиболее удачными с точки зрения управляемости ТНПА на стабилизированных режимах движения. ДРК таких ТНПА представлены обычно двумя кормовыми маршевыми ГВ в насадке и вертикальным ГВ в носовой части («Плуту Плюс») или двумя маршевыми ГВ в бортовых гондолах и вертикальным движителем в хвостовой части (ПАП-104).

К ТНПА хорошо обтекаемой нецилиндрической формы могут быть отнесены аппараты без цилиндрической вставки, чаще сплюснутой формы, а также многокорпусные аппараты класса «Мини». В качестве движителей и подруливающих устройств используются ГВ в насадках или тоннелях. Количество движителей варьируется от 1 до 8.

Аппараты плохо обтекаемой формы, как правило, представляют собой открытую рамную конструкцию с отсеком плавучести, закрепленным в верхней части. К нижней части рамы крепится навесное оборудование и движители. Главным преимуществом ТНПА такой конструкции является универсальность оснащения, поскольку нет необходимости вписываться в заранее установленные проектировщиком обводы корпуса. Кроме того, подобная конструкция позволяет производить переоснащение непосредственно перед спуском, в том числе установку дополнительных винтовых комплексов для обеспечения нужных ходовых или маневренных характеристик.

Недостатком является большое сопротивление формы аппарата и, как следствие, увеличенные затраты энергии на перемещение и позиционирование [4].



«Плуту Плюс»



ПАП-104



«Марлин-350»



Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты класса «Мини»

Рис. 4. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты

Особенностью подобных ТНПА типа «Марлин-350» является необходимость обеспечения стабилизации и изменения плавучести за счет практически непрерывной работы ДРК. Это определяет целесообразность установки нескольких ГВ в поворотных насадках (как минимум четырех), ориентированных в разных направлениях и выполняющих попеременно, в зависимости от направления движения, роль подруливающих устройств.

Выводы

В настоящее время в российской судостроительной отрасли активно развивается сегмент подводного судостроения. Создаются выполняющие самые разные задачи подводные аппараты: обитаемые и необитаемые, автономные и телеуправляемые, с небольшой глубиной погружения и глубоководные.

Для подводных аппаратов крайне важно, чтобы движительно-рулевой комплекс имел максимальный КПД и оптимальные гидродинамические обводы.

Оптимальной формой корпуса подводного аппарата можно считать хорошо обтекаемую цилиндрическую форму с относительным удлинением не менее 5.

Особые условия работы движителей подводных аппаратов, призванных обеспечивать пространственные перемещения аппарата в различных режимах движения, предъявляют гораздо более жесткие требования по сравнению с движителями надводных кораблей.

В качестве маршевых (основных) движителей подводных аппаратов наибольшее применение получили гребные винты в насадках за счет высоких пропульсивной эффективности и КПД, хороших массо-габаритных характеристик и большой надежности, а для и маневровых (подруливающих) – гребные винты и водометы.

Список использованных источников

1. Дмитриев А.Н. Проектирование подводных аппаратов. – Л.: Судостроение, 1978. – 239 с.
2. Дуков Н.Г. Разработка и исследование структуры и внешней формы подводных необитаемых аппаратов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: ИО АН, 1981. – 18 с.

3. Войтов Д. В. Подводные обитаемые аппараты. – М.: ООО «Издательство Астрель», 2002. – 303 с.
4. Войтов Д. В. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты. М.: Моркнига, 2012. – 504 с.
5. Инзарцев А. В., Киселев Л. В., Костенко В. В. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение. – Владивосток: Издательство ИПМТ ДВО РАН, 2018. – 368 с.
6. Пантов Е. Н.» Махин Н. Н., Шереметов Б. Б. Основы теории движения подводных аппаратов. – Л.: Судостроение, 1973. – 216 с.

АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Г.Б. Григоренко, А.В. Губин

В настоящее время человечество использует различные виды электростанций. Каждый тип электростанций имеет свои положительные и отрицательные стороны. К тому же, каждый из объектов топливно-энергетического комплекса требует особенные условия строительства и эксплуатации, которые должны совпадать определенным требованиям.

Введение

На сегодняшний день в мире эксплуатируются множество электростанций, но несмотря на это, есть различные населенные пункты, которые испытывают нехватку энергоснабжения, в силу удаленности или особенностей ландшафта. Не стоит забывать про влияние каждого вида электростанции на экологическое состояние региона, в котором она располагается, что требуется учитывать это при строительстве новых или эксплуатации уже имеющихся станций.

Цель работы

Целью данной статьи является анализ каждого из типов электростанций (ТЭС, АЭС, ГЭС, солнечные электростанции, ветровые электростанции) выявление их преимуществ и недостатков. Провести оценку влияния на экологию. Определить наиболее пригодное местоположение для строительства тех или иных видов электростанций. Полученные данные позволят сделать вывод о целесообразности строительства новых электростанций конкретного типа.

Атомные электростанции

В ходе анализа литературных источников, определены следующие достоинства АЭС [1-3]:

- Высокая мощность и стабильность: АЭС способны вырабатывать огромное количество электроэнергии непрерывно, обеспечивая базовую нагрузку энергосистемы.
- Низкие выбросы парниковых газов: В процессе работы практически не выделяют CO_2 и другие загрязнители воздуха.
- Экономическая эффективность при больших объемах: несмотря на высокие капитальные затраты, себестоимость электроэнергии при эксплуатации АЭС сравнительно низкая.
- Долгий срок службы: Современные реакторы рассчитаны на десятки лет эксплуатации с возможностью продления.

Несмотря на приведенные положительные аспекты, данный способ электрогенерации имеет и ряд недостатков:

- Риск аварий: несмотря на высокий уровень безопасности, аварии могут иметь катастрофические последствия для здоровья и окружающей среды.

- Радиоактивные отходы: требуется длительное и дорогостоящее хранение и переработка радиоактивных материалов.

- Высокие капитальные затраты и длительное строительство: Строительство АЭС занимает много лет и требует значительных инвестиций.

- Ограниченность ресурсов: для работы необходимы урановые или плутониевые топлива, которые являются ограниченными и требуют добычи.

В процессе эксплуатации возможно следующее экологическое воздействие:

- Почти нулевые выбросы СО в процессе эксплуатации.
- Радиоактивные отходы и риск радиационного загрязнения при авариях.
- Необходимость строгого контроля безопасности и утилизации отходов.
- Минимальное воздействие на воздух и воду при нормальной работе.

Для строительства данных видов станций больше всего подходит:

- Крупные промышленные и городские центры с высокой потребностью в стабильной базовой нагрузке.

- Регионы с ограниченным доступом к ископаемому топливу
- Энергосистемы, требующие надежного и непрерывного источника энергии.
- Регионы с большим потреблением энергии

Тепловые электростанции

Положительными аспектами для выбора ТЭС в качестве источника электроэнергии являются [4-6]:

- Быстрое строительство и запуск: ТЭС можно построить и ввести в эксплуатацию относительно быстро, что важно для оперативного наращивания мощности.

- Стабильная и регулируемая генерация: ТЭС легко адаптируются к изменению нагрузки, обеспечивая надежность энергосистемы.

- Доступность топлива: Уголь, природный газ и мазут широко распространены и доступны в разных регионах.

- Гибкость в использовании топлива: Современные ТЭС могут работать на различных видах топлива.

Недостатками же являются:

- Высокие выбросы загрязняющих веществ: Значительные выбросы CO₂, SO₂, NO₂, твердых частиц, что влияет на загрязнение воздуха и климат.

- Невозобновляемость топлива: Использование ископаемых ресурсов ведет к их истощению и увеличению парникового эффекта.

- Воздействие на здоровье: Загрязнение воздуха способствует развитию заболеваний дыхательных путей у населения.

- Большие объемы отходов: Зола и шлак требуют утилизации и могут загрязнять почву и воду.

Данный тип станций имеет следующее влияние на экологию:

- Высокие выбросы парниковых газов и загрязнителей.
- Загрязнение атмосферы и возможное кислотное осаждение.
- Воздействие на качество воздуха и здоровье населения.
- Загрязнение почв и водоемов отходами сжигания.

Для строительства более подходящими местоположениями и задачами являются:

- Регионы с большими запасами угля или природного газа.
- Использование в качестве базовой и резервной генерации.

- Энергосистемы, где важна стабильность и возможность быстрой регулировки мощности.

Гидроэлектростанции

Потенциал строительства ГЭС определяется следующими достоинствами [7-8]:

- Возобновляемый источник энергии: использует энергию воды, которая постоянно возобновляется.
- Низкая себестоимость электроэнергии: после строительства эксплуатационные расходы минимальны.
- Высокая маневренность: Быстрый запуск и остановка, возможность регулировать нагрузку.
- Долгий срок службы: ГЭС могут работать десятилетиями при минимальном обслуживании.

Отрицательные стороны:

- Затопление больших территорий: при создании водохранилищ происходит затопление земель, что приводит к потере биоразнообразия и сельхозугодий.
- Нарушение экосистем: изменяется естественный режим рек, страдают рыбы и другие водные организмы.
- Социальные последствия: Возможны переселения населения и изменение ландшафта.
- Высокие капитальные затраты и длительное строительство.

Несмотря на то, что станции не используют процесс сжигания для получения энергии, ГЭС также имеют определенное влияние на экологию:

- Минимальные выбросы парниковых газов при эксплуатации.
- Изменение гидрологического режима и экосистем.
- Возможные выбросы метана из водохранилищ.
- Влияние на миграцию рыб и биоразнообразие.

Наиболее подходящие места и задачи:

- Горные и холмистые районы с большими реками и устойчивым водным стоком.
- Регулирование пиковых нагрузок и балансировка энергосистем.
- Обеспечение электроэнергией удаленных и труднодоступных регионов.

Солнечные электростанции

Солнечная генерация, как один из возобновляемых источников энергии имеет ряд достоинств [9]:

- Не выделяют загрязняющих веществ при работе.
- Отсутствие шума и вибраций.
- Модульность и масштабируемость: легко расширять установку, подходит для распределенной генерации.

- Минимальные эксплуатационные расходы.

Тем не менее, существуют и отрицательные аспекты:

- Зависимость от солнечного излучения: Производство электроэнергии ограничено дневным временем и погодными условиями.

- Требуется значительная площадь: для получения большой мощности нужны большие площади установки.

- Энергоемкое и дорогостоящее производство панелей.
- Проблемы утилизации и переработки отслуживших панелей.

Экологическое влияние СЭС на окружающую среду:

- Отсутствие выбросов CO₂ во время эксплуатации.

- Производство панелей связано с использованием редких и токсичных материалов.
 - Сложности утилизации панелей в случае вывода из эксплуатации, что приводит к образованию свалок.
 - Потребность в больших площадях может влиять на экосистемы.
- Лучшие места и задачи для СЭС:
- Регионы с высокой солнечной активностью (пустыни, степи, южные широты).
 - Распределенная генерация в жилых и коммерческих зданиях.
 - Дополнение к базовым электростанциям для снижения нагрузки и выбросов.

Ветровые электростанции

Плюсы, определяющие перспективы строительства ВЭС [9]:

- Возобновляемый и чистый источник энергии.
- Низкие эксплуатационные расходы после установки.
- Могут устанавливаться на суше и в море.
- Отсутствие выбросов загрязнителей при работе.

Минусы:

- Нестабильность выработки: Зависимость от ветрового режима, что требует резервных источников.

- Шум и визуальное воздействие: могут вызывать дискомфорт у населения.
- Угроза для птиц и летучих мышей.
- Требуют значительных площадей для установки.

Экологическое влияние:

- Отсутствие выбросов CO_2 при эксплуатации.
- Влияние на ландшафт и биоразнообразие.
- Потенциальное негативное воздействие на миграционные пути птиц.
- Сложности утилизации лопастей.

Лучшие места и задачи:

- Ветреные прибрежные зоны, открытые степи и горные хребты.
- Дополнение к базовым и пиковым электростанциям.
- Использование в распределенных энергосистемах.

Выводы

В заключение можно отметить, что у каждого типа электростанций есть свои сильные и слабые стороны. АЭС и ГЭС обеспечивают низкие выбросы CO_2 , но требуют особого контроля и могут негативно влиять на окружающую среду при авариях или строительстве. ТЭС остаются самыми доступными по стоимости, но сильно загрязняют воздух. Солнечные и ветровые станции экологичны, однако зависят от погодных условий и требуют больших площадей. Оптимальное развитие энергетики достигается за счёт грамотного сочетания разных источников с учётом особенностей региона, поэтому перспектива на дальнейшее строительство и использование есть у каждого типа электростанций.

Список использованных источников

1. Зорин В. М. Атомные электростанции : учебное пособие для вузов : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, — М. : Изд. дом МЭИ, 2012. — 669 с. :
2. Ташлыков О. Л. АЭС: продление ресурса и снятие с эксплуатации:— Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2020. — 216 с.

3. Маргулова, Т. Х. «Атомные электрические станции»: учебник. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1978 — 360 с.
4. Абрамов А.И. и др. Повышение экологической безопасности ТЭС: учебное пособие / А.И. Абрамов, В.А. Зорин, В.И. Кругликов. — Москва: Издательство МЭИ, 2004. — 378 с.
5. Беспалов В.И. и др. Природоохранные технологии на ТЭС: учебное пособие / В.И. Беспалов, В.В. Жабо, В.В. Саломатов. — Москва: Издательство МЭИ, 2005. — 240 с.
6. Пугач Л.И. Энергетика и экология: учебник. — Москва: Издательство МЭИ, 2004. — 504 с.
7. Вараксин В.А. Опыт эксплуатации гидротехнических сооружений гидроэлектростанции. — Ленинград: Энергоатомиздат, 1986. — 240 с.
8. Кузнецов В.А. Вопросы технико-экономического проектирования крупных гидростанций в энергосистемах. — Москва: ГЭИ, 1953. — 168 с.
9. Сибикин Ю.Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. (Бакалавриат): Учебное пособие. / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. — 2-е изд, стер. — Москва : КНОРУС, 2024 — 228 с.

АЛЕКСАНДР СТЕПАНОВИЧ ПОПОВ И СЕВАСТОПОЛЬ: ОТ ИСКРОВОГО ТЕЛЕГРАФА К БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

А.Н. Хакимов

В данной статье сделан обзор исследований и разработок А С Попова и описана его связь с городом Севастополь. Он изобрел первый в мире когерентный приёмник, способный принимать на расстоянии без проводов электромагнитные сигналы различной длительности и разработал практическую систему электросвязи, включающую искровой передатчик Герца.

Введение

История развития беспроводной связи неразрывно связана с именем Александра Степановича Попова—выдающегося русского ученого, который стал одним из первопроходцев радиосвязи. Его опыты по передаче сигналов на расстоянии с использованием электромагнитных волн заложили фундамент для развития технологий связи XX века.

Особую роль в становлении радио сыграл город Севастополь—место, где Попов проводил масштабные эксперименты по применению радиосвязи в военно-морском флоте. Здесь в начале XX века были организованы первые практические испытания беспроводной связи на кораблях Черноморского флота, что впоследствии стало важным этапом в развитии радиотехнических систем.

Александр Попов: путь радиосвязи от теории к практике

В 1883 году в Минный офицерский класс учебное электротехническое заведение, готовящее специалистов-минёров и электриков для военно-морского флота, были приглашены новые преподаватели. Это были Фёдор Яковлевич Капустин и Александр Степанович Попов.

В 1895 году, вдохновленный работами итальянского физика Гульельмо Маркони и других ученых, Попов создает устройство, которое использует явление электромагнитных волн. Он разработал систему, состоящую из передатчика и приемника, что позволило ему передавать сигналы на расстояние. Попов создал радиоприемник, который использовал разряд молнии (или других источников электрических разрядов) для обнаружения радиоволн. Это устройство могло принимать сигналы, что стало революционным шагом в области радиосвязи.

7 мая 1895 года Попов продемонстрировал свою разработку на заседании Русского физико-математического общества. Он передал сигнал с помощью простого передатчика, который включал в себя источник искрового разряда и контурный приемник. Попов продолжил работу с радиоволнами, выступая с лекциями, докладами и демонстрациями.

В 1898 году Попов предложил использовать радиосигналы для связи между кораблями и береговыми станциями. Это стало важным шагом в направлении применения радиосвязи для повышения безопасности мореплавания.

Черноморский флот: первые шаги радиосвязи

В 1899 г. было запланировано проведение испытаний на Черном море. В Черноморском флоте начались трехдневные маневры, в ходе которых все три корабля производили холостые стрельбы и поддерживали надежную радиотелеграфную связь друг с другом на расстоянии нескольких десятков километров. Радиогорка — это тот самый район Севастополя, который получил своё название благодаря экспериментам А. С. Попова в области радиосвязи. Именно здесь были проведены испытания беспроводного телеграфа.

Прием телеграмм производился путем записи их на ленту аппарата Морзе или непосредственно на слух. Уверенная связь между кораблями поддерживалась на расстоянии до 14 миль. Результаты опытов были оценены комиссией положительно. Таким образом, Черноморский флот в истории радио стал местом испытаний первых практических радиостанций в условиях, приближенных к боевым. Успешные опыты применения радиостанций укрепили авторитет нарождавшегося средства связи.

19-21 августа 1901 г. А.С.Попов совместно с П.Н.Рыбкиным провели проверку усовершенствований, внесенных в передающую и приемную аппаратуру, на броненосцах «Синоп» и «Георгий Победоносец» при следовании их в составе эскадры из Севастополя в г.Новороссийск. Была достигнута дальность приема на телеграфный аппарат 26 миль. Для связи с кораблями в море в Севастополе еще при жизни А.С.Попова была построена первая в России мощная береговая радиостанция. радиостанции были оборудованы на двух береговых линиях:

- на Северной стороне Севастополя (в районе современной Радиогорки);
- в центре города, на Городском холме.

7 мая 1999 года в конце главной аллеи Матросского бульвара рядом с местом, где располагалась в начале 1900-х г.г. радиостанция «Сигнальная мачта» был открыт памятный знак «В честь 100-летия изобретения радио А.С.Поповым», построенный на средства Черноморского флота Российской Федерации.

Выводы

Испытания радиосигналов, проведенные в ходе маневров, подтвердили возможность передачи сообщений на значительные расстояния, что сделало радиотелеграф ключевым инструментом коммуникации в сложных условиях мореплавания. Черноморский флот стал первым в России, где были успешно применены радиостанции в условиях, приближенных к боевым.

Список использованных источников

1. Лосич, Н. И. Эпистолярное наследие изобретателя радио А.С. Попова в фондах ЦМС имени А.С. Попова / Н. И. Лосич // Радио: научное и технологическое наследие : Материалы Четырнадцатых научных чтений памяти А.С. Попова, Санкт-Петербург, 07 мая 2024 года. — Санкт-Петербург: Федеральное государственное бюджетное учреждение "Центральный музей связи имени А.С. Попова", 2024. — С. 13-19.

2. Спиридонова И. Памятник «В честь изобретения радио А.С. Поповым» // Улицы, дома, люди. URL: <https://vashsevdom.narod.ru/histor/radio.html> (дата обращения: 19.03.2025).
3. Зелевич, Е. П. "Отец радио" Александр Степанович Попов (к 150-летию изобретателя радио) / Е. П. Зелевич, П. И. Зудков // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2009. – № S6. – С. 4-8.

ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ВОЛЬФРАМА НА УДАРНУЮ ПРОЧНОСТЬ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ КАОЛИНОВОЙ ГЛИНЫ

А.А. Кушнер

В работе приведены результаты исследования степени влияния различных концентраций нанопорошка оксида вольфрама (VI) на ударную прочность керамические изделия на основе каолиновой глины. Анализ полученных данных показал, что нанопорошок оксида вольфрама (VI), армируя внутреннюю структуру керамического изделия, повышает сопротивляемость ударным воздействиям. В процессе проведения исследования были использованы стандартные методики изготовления керамики и испытания образцов на ударную прочность.

Введение

Керамические изделия на основе каолиновой глины известны с незапамятных времен благодаря своим качествам. На сегодняшний день они не только не потеряли своей актуальности, а еще и, посредством добавления в свой состав различных химических соединений, укрепляют свои позиции.

Однако существенным недостатком керамики является ее низкая сопротивляемость динамическим нагрузкам (ударным воздействиям), что или существенно снижает срок их службы, или ведет к увеличению массогабаритности изготовленных изделий, а также и вовсе может вести к отказу от их использования. Существует множество способов снижения такого вида разрушений и одним из таких возможных решений может стать внесение в ее структуру нанопорошка оксида вольфрама (VI).

Цель работы

Целью данного исследования является оценка влияния модифицирующей добавки оксида вольфрама на ударную прочность керамических изделий на основе каолиновой глины.

Основная часть

Произведя анализ базы данных Роспатента с глубиной поиска более пятидесяти лет, начиная с семидесятых годов прошлого столетия и заканчивая сегодняшним днем, можно сделать вывод, что на данный момент неизвестны случаи патентования состава либо процесса изготовления керамики с оксидом вольфрамом. Из последних запатентованных разработок в этой области можно выделить патенты №2718682 и № 2697987.

Патент №2718682. Производилось добавление тонкодисперсного порошка карбида кремния (SiC) с дальнейшим спеканием керамики методом горячего прессования. Результат работы дал высокие показания значений прочности и твердости, низкий коэффициент термического расширения, а также высокую износостойкость композитного материала. Но недостатком разработки стала возможность образования вторичных фаз при спекании, что

существенно может повлиять на физико-механические свойства полученной керамики. [1]

Патент №2697987. При добавлении нитрида кремния (Si_3N_4) и нитрида титана (TiN), с дальнейшим спеканием керамики методом горячего прессования, был получен результат в виде повышения показателей прочности и микротвердости, низкий коэффициент термического расширения, повышена износостойкость и электрическая проводимость керамики, но также есть возможность загрязнения состава материала в процессе изготовления и, как следствие, снижение его физико-механических свойств. [2]

Помимо базы данных Роспатента был произведен поиск и анализ в системе eLIBRARY.RU. Наиболее близкими к области исследования стали работы В.И. Лысенко, в особенности работа «Создание и свойства керамики из нанопорошка оксида вольфрама». В данном случае использовался интересующий нас оксид вольфрама (VI) – WO_3 , спекание проводилось методом SPS (метод искрового плазменного спекания, является модифицированной версией метода горячего прессования с непосредственным пропусканием электрического тока через пресс-форму в прессуемую заготовку), результатом стало создание мелкозернистая, плотной, прочной керамики. [3]

Как можно заметить, не в одном из вышеперечисленных исследованиях, не проводилось испытание на ударную прочность материала и, как следствие, неизвестно как керамика поведет себя при возникновении динамических нагрузок.

В настоящем исследовании использовался нанопорошок оксида вольфрама (VI) WO_3 полученный в НОЦ «Перспективные технологии и материалы» СевГУ по уникальной технологии из вольфрамсодержащих отходов и, так как данный порошок не является продуктом массового производства, его характеристики определялись в лабораторных условиях НОЦ. Гранулометрический состав порошка составляют частицы размером от 20 нм до 2 мк, 90% частиц имеет размер нанометрического диапазона (до 100 нм).

Нанопорошок оксида вольфрама (VI) является перспективным полупроводником, обладающим такими свойствами, как:

- высокая фотокаталитическая активность;
- хорошая химическая стабильность;
- высокая фотокоррозионная стойкость;
- низкая стоимость. [4]

Методика эксперимента разрабатывалась согласно требованиям ГОСТ 26407-84 «Посуда фарфоровая и фаянсовая. Метод определения сопротивления удару» и состояла из пяти этапов. [5]

Этап №1. Изготовление образцов. Образцы изготавливались с концентрациями оксида вольфрама (VI) в 0, 1, 2, 3, 4 и 5% шликерным методом, то бишь отливкой жидкой керамической массы в заранее подготовленные гипсовые формы с последующей естественной сушкой. После изъятия из форм, образцы вновь проходили естественную сушку и направлялись на обжиг в муфельную печь.

Этап №2. Отбор образцов. Отбор происходил следующим способом: выбирались образцы диаметром $10,0 \pm 0,5$ мм, высотой $80,0 \pm 1,0$ мм и стрелой прогиба не более 1 мм. На одну серию (концентрацию) было взято не менее 10 керамических образцов из каолиновой глины.

Этап №3. Подготовка образцов к испытанию. Подготовка состояла в том, что для верного измерения находилась середина образца по длине, куда в дальнейшем приходился удар маятникового копера.

Этап №4. Проведение испытания. Испытание проводилось на маятниковом копере.

Этап №5. Анализ полученных данных. Результат проведенных испытаний над образцами с различной концентрацией наночастиц оксида вольфрама (VI), представлена на гистограмме ниже:

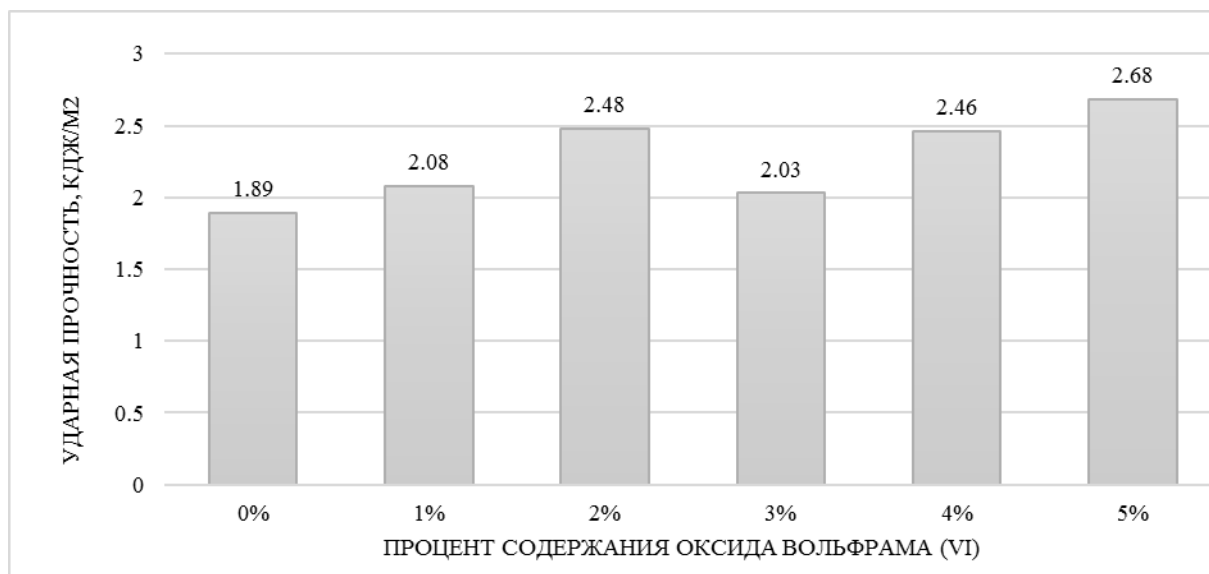


Рис. 1. Результат эксперимента

Исследование показало увеличение ударной прочности, по сравнению с образцами без добавления нанопорошка оксида вольфрама (VI), на:

- при содержании 1% WO_3 увеличение на 10,1%;
- при содержании 2% WO_3 увеличение на 31,2%;
- при содержании 3% WO_3 увеличение на 7,04%;
- при содержании 4% WO_3 увеличение на 30,2%;
- при содержании 5% WO_3 увеличение на 41,8%.

Выводы

Испытания показали увеличение ударной прочности керамических образцов с добавлением в них наночастиц оксида вольфрама (VI), так, в образцах с содержанием 5% нанопорошка, прочность увеличилась на 41,8% по сравнению с образцами без его добавления.

Керамика, имея широчайшее распространение, может быть невыгодна для большинства предприятий из-за своей малой сопротивляемости динамическим нагрузкам и, как было предположено, нанопорошок оксида вольфрама (VI) помогает решить данную проблему.

Полученные в ходе исследовательской работы данные, открывают новые возможности использования керамических изделий, а также прокладывают дорогу для дальнейших исследований в данной области.

Список использованных источников

1. Патент №2718682. Способ изготовления керамики на основе карбида кремния, армированного волокнами карбида кремния : №2018132426 : заявл. 12.09.2018 : опубл. 13.04.2020 / Фролова М. Г., Лысенков А. С., Каргин Ю. Ф., Титов Д. Д., Ким К. А., Перевислов С. Н., Истомина Е. И.; заявитель, патентообладатель ФГБУ науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН) – 7 с.
2. Патент №2697987. Способ изготовления керамики на основе композита нитрид кремния - нитрид титана : №2018138560 : заявл. 01.11.2018 : опубл. 21.08.2019 / Титов Д. Д., Лысенков А. С., Фролова М. Г., Каргин Ю. Ф., Ким К. А., Ивичева С. Н.; заявитель,

патентообладатель ФГБУ науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН) – 7 с.

3. Лысенко В. И. Создание и свойства керамики из нанопорошка оксида вольфрама // НАНОИНДУСТРИЯ – 2017 - № 3 (73) - С. 68-71.
4. Нарбекова Д. Д., Дербасова Н. М., Гавриш В. М. Исследование применения нанопорошка оксида вольфрама для очистки сточных вод // Энергетические установки и технологии - 2021 – Т. 7 - № 1 - С. 142-145.
5. ГОСТ 26407-84. Посуда фарфоровая и фаянсовая. Метод определения сопротивления удару. (утв. постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 28 декабря 1984 г. N 4989) : межгосударственный стандарт : дата введения 30.06.1987 / государственный стандарт союза ССР. - Государственный комитет СССР по стандартам. - Изд. официальное. – Москва : Издательство стандартов. – 1985. – 7 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ ГЛЮКОНАТА НАТРИЯ С ИОНАМИ ЖЕЛЕЗА И МЕДИ

Д.Н. Подгорная, Э.В. Ткаченко

На сегодняшний день в химической технологии активно используются комплексообразователи, которые применяются в самых различных областях, начиная от бытовой сферы жизни человек и заканчивая промышленностью. Комплексообразователи применяются, как моющие композиции для удаления накипных отложений, как отмывочные растворы для удаления продуктов коррозии с теплопередающих поверхностей, как индикаторы металлов в живых организмах и т.д. В статье предложен новый комплексообразователь для связывания ионов железа и меди, а также основные результаты исследования его комплексообразующей способности.

Введение

Медь и железо, как правило входят в состав конструкционных материалов различных промышленных и не только аппаратов. Как и любые металлические конструкции эти сплавы корродируют при контакте с агрессивными средами. Отложения меди и железа это, как правило, накипные отложения, которые в случае теплопередающих поверхностей ухудшают теплопередающую способность и приводят к опасному прерыву металла, в других случаях накипные отложения усиливают коррозию металла под своей поверхностью. Так же медные и железные отложения могут представлять собой шлам, который может перекрывать сечение трубопроводов, водоподводящих отверстий, а также эти ионы меди способны образовывать каркас для иных видов отложений, так как ее отложения сами по себе имеют губчатый каркас. Именно по этой причине разработка эффективного комплексообразователя для связывания ионов этих металлов является актуальной задачей.

Глюконовокислый натрий, является солью органической кислотой, способной к комплексообразованию, что делает его объектом данного исследования, не менее важным аспектов является тот факт, что глюконовокислый натрий применяется в пищевой промышленности, что делает его применение во всех сферах безопасным для жизни человека.

Цель работы

Целью данной работы является исследование комплексообразующих свойств глюконовокислого натрия с ионами меди и железа. В частности, ставится задача оптимальных для применения концентраций металлов, содержания комплексообразователя и оптимальной температуры.

Комплексообразующие свойства глюконата натрия и ионов железа и меди

Глюконат натрия представляет собой бесцветные или светло-желтые кристаллы растворимые в воде и слаборастворимые в этаноле, нерастворимые в эфире. Данная соль не подвергается гидролизу в водных средах и является устойчивой в щелочных средах, помимо этого обладает эмульгирующими свойствами. Одни из наиболее важных свойств данного

вещества являются его комплексообразующие свойства, позволяющие его использовать для связывания ионов двух- и трехвалентных металлов, таких как кальций, железо, алюминий, магний и медь. В ходе данных реакция образуются водорастворимые хелаты.

Все вышеописанные свойства позволяют широко использовать данное соединение в различных областях. Так, например, глюконат натрия используется в промышленных щелочных моющих растворах, причем в данной области он показывает эффективность выше чем такие агенты, как этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) и нитрилотриуксусная кислота (НТА). Чаще всего в композициях используется с различными поверхностно активными веществами, такими как гидроксид натрия, силикат натрия или фосфаты, поскольку такие рецептуры обладают синергизмом, что позволяет повысить эффективность используемой моющей композиции. Также подобные композиции выступают как ингибиторы коррозии, данное свойство используется в промышленной очистке воды, в особенности эффективен в сочетании с алюминием.

Среди элементов 8 группы короткопериодной формы периодической таблицы Менделеева доминирующим по значению является железо. Благодаря стабильности своих ядер данный элемент является достаточно распространенным.

Образование железом комплексных соединений при степени окисления выше +3 считается маловероятным. Степень окисления +3 для железа является одной из самых распространенных. Железо (III) способно образовывать различные комплексные соединения, катионные, анионные и нейтральные. Его особенность заключается в предпочтении к кислородо- и азотодонорным лигандам. Так, например, образованные при качественной реакции фенолов или енолов с трехвалентным железом, комплексы имеют яркоокрашенный цвет за счёт образования комплексов Fe-O, помимо этого водный раствор хлорида железа (III) обесцвечивается также за счёт образования фосфатных комплексов, в которых присутствует кислород. Также хорошо известны комплексные соединения со смешанными лигандами, например, ЭДТА. Существуют и галогенидные комплексы трёхвалентного железа, чья устойчивость уменьшается от фтора к йоду. Комплексы, в состав которых входит фтор достаточно стабильны в водных растворах, содержащие хлор уже не проявляют такой стабильности, комплексы бора зачастую легко восстанавливаются обратно до железа. Цианидные комплексы железа устойчивы.

Чистая медь является мягким, пластичным и ковким материалом, помимо этого она характеризуется высокой электро- и теплопроводностью и имеет розово-красную окраску. Вид кристаллической решетки рассматриваемого металл – гранецентрированная кубическая. Также способна к образованию коллоидных растворов, которые через определённые промежутки времени начинают коагулировать без какого-либо внешнего воздействия, т.е. самопроизвольно.

Если говорить о комплексных соединениях меди необходимо отметить, что у двухвалентной меди, как правило встречаются координационные числа 4, 5 и 6. Однако, как правило, геометрия молекул комплексных соединений меди искажена, это объясняется эффектом Яна-Теллера, который возникает в следствии неодинаковой заселенности орбиталей. В результате этого первые четыре константы устойчивости комплексов меди (II) всегда больше, чем последующие.

Медь (II), как и другие элементы 11 группы периодической таблицы отдаёт свое предпочтение мягким донорам электронов, например, такие как азот или сера. К наиболее

распространенным лигандам меди относят аммиак, купризон, ЭДТА, нитрилотриуксусная кислота, диэтилдикарбамат натрия.

Результаты исследования комплексообразующей способности

Были проведены исследования по взаимодействию ионов металлов с лигандом.

Диапазон концентраций меди от 0,01 до 0,25 мг/л, навески вносимого лиганда 0,1 и 0,5 г. Было исследовано влияние времени на данный процесс измерения проводились через 30 минут, 1 час, 1 сутки, 3 суток, 5 суток.

Диапазон концентраций железа от 0,1 до 2 мг/л, навески вносимого лиганда 0,1; 0,5 и 1 г. Временные выдержки аналогичны меди.

В результате проведенных исследований было выяснено, что оптимумом времени и навески стали выдержка в 1 час и навеска в 0,5 г. При меньшей навеске комплексообразованию идет не так активно, и концентрация снижается куда меньше, а начиная с 1 суток комплекс меди начинает распадаться. Для железа же навески 0,1 г и 0,5 не подошли, так как концентрация практически не менялась и было принято решение использовать навеску 1г, при которой концентрация железа в течении 1 часа уменьшилась уже значительно, однако аналогично меди на 1 сутки комплекс начал распадаться.

Выводы

Данное вещество может быть использовано в качестве комплексообразователя для ионов меди и железа для быстро связывания данных ионов. Оптимальными параметрами для этого станут масса лиганда как минимум 0,5 г и максимальная выдержка раствора 1 час, так как далее начинается разложение образовавшегося комплекса

Список использованных источников

1. Основы аналитической химии / под ред. Ю. А. Золотова. - 5-е , перераб. и доп. - М.: Издательский центр "Академия", 2012. -Т. 1. - С. 229. - 384 с.
2. Третьяков, Ю. Д. Неорганическая химия / Ю. Д. Третьяков - 3-е издание . - Москва : ИЦ "Академия", 2007- Т.3 - 400 с.
3. Третьяков, Ю. Д. Неорганическая химия / Ю. Д. Третьяков - 3-е издание . - Москва : ИЦ "Академия", 2007- Т.1 - 400 с.
4. Композиция для умягчения воды, Фабио Д'Амино, Федерико Гарау и Стефано Марау, RU2635250C2, применяется с 2013.

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД Г. ЯЛТА

А.Н Синельник, С.А. Федорова

На сегодняшний день невозможно добиться полной очистки сточных вод, в связи со сложностью и разнородностью состава сточных вод, поэтому для предотвращения истощения водных объектов ведется строгий контроль качества сточных вод, сбрасываемых в водные объекты. Для этого проводится полный санитарно-химический анализ очищенных сточных вод по основным показателям, которые не должны превышать нормы предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ для сброса с акваторию Черного моря.

Введение

В настоящее время остро стоит вопрос об охране водных объектов. Главным загрязнителем являются сточные воды, состав которых может негативно влиять на объекты окружающей среды, в данном случае, Черное море. Поэтому очень важно следить за качеством очистки сточных вод и принимать меры для предотвращения попадания загрязняющих веществ в акваторию Черного моря.

Цель работы

Проведение углубленного анализа качества очистки сточных вод, сбрасываемых в акваторию Черного моря, для определения степени их соответствия требованиям природоохранного законодательства и нормативным документам, регулирующим охрану водных объектов рыбохозяйственного значения и санитарно-эпидемиологическое благополучие прибрежных морских вод. Достижение поставленной цели предполагает решение следующих задач:

1. Сбор и анализ данных о качестве очищенных сточных вод: Определение перечня ключевых санитарно-химических показателей, характеризующих состав сточных вод (например, БПК, ХПК, взвешенные вещества, азот аммонийный, фосфаты, нефтепродукты и др.), и сбор данных об их концентрациях в очищенных сточных водах, поступающих в Черное море.

2. Выявление причин неэффективной очистки: анализ технологических процессов очистки сточных вод, применяемых на конкретных очистных сооружениях, с целью выявления возможных причин неэффективной работы оборудования и отклонений от технологических регламентов, приводящих к неполной очистке сточных вод.

Методы очистки сточных вод

Очистка сточных вод – это обработка воды с целью разрушения или удаления из них определенных веществ до уровня ПДС. Для каждого предприятия устанавливается свой уровень ПДС для сброса очищенных сточных вод в акваторию Черного моря. Если же ПДС не установлены – предприятия обязаны пользоваться нормами определенными в СанПиН 2.1.5.2582-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к охране прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения» [1]. Т.е. показатели очищенных сточных вод должны соответствовать по химическим и бактериологическим показателям морской воды.

Способы очистки сточных вод могут быть разделены на следующие группы (рисунок 1): механические, химические, физико-химические, биологические (биохимические), термические. Выбор метода зависит от размера частиц примесей, их физико-химических свойств, концентрации веществ, расхода сточных вод и необходимой степени очистки [2-5].

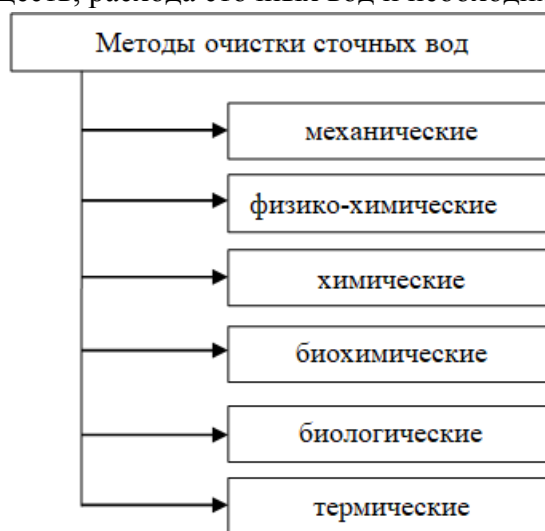


Рис. 1. Методы очистки сточных вод

Сравнительный анализ

Для проведения сравнительного анализа сточных вод, поступающих на очистку и очищенных сточных вод используем данные, полученные за 3 года. Для наглядности сравним полученные данные с ПДК.

Значение прозрачности в течение года практически не изменяется. Очистка сточных вод на Ялтинских очистных сооружениях эффективна, но недостаточна для достижения уровня ПДК (рис. 2).

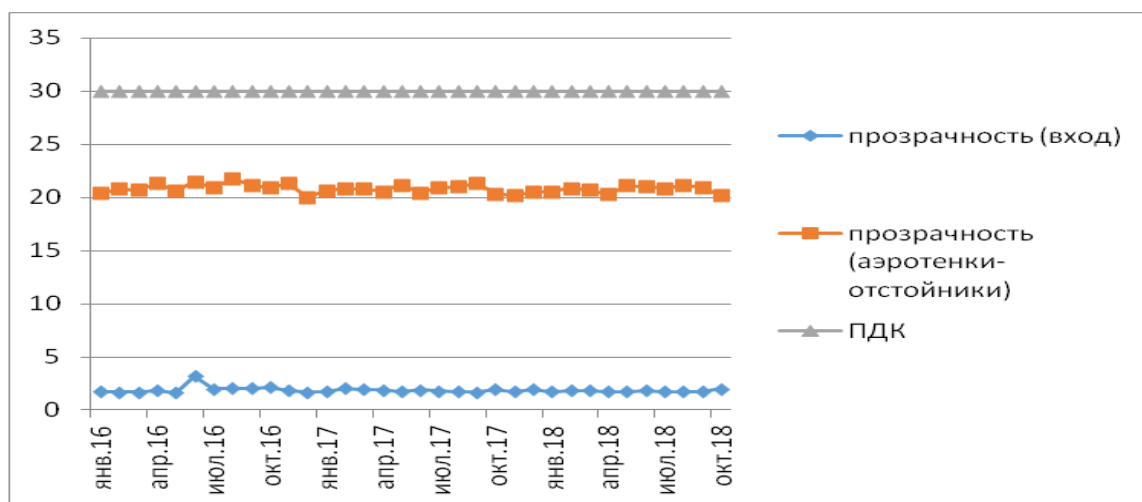


Рис. 2. Сравнительная характеристика прозрачности сточных и очищенных сточных вод относительно ПДК

Как следует из представленных данных, используемые технологии очистки на Ялтинских очистных сооружениях, не полностью соответствуют требуемым нормам качества. Так, прозрачность после прохождения очистки на аэротенках - отстойниках составляет около 20 мг/л, что свидетельствует о недостаточности очистки сочных вод, поскольку прозрачность воды по ПДК должна быть 30 мг/л.

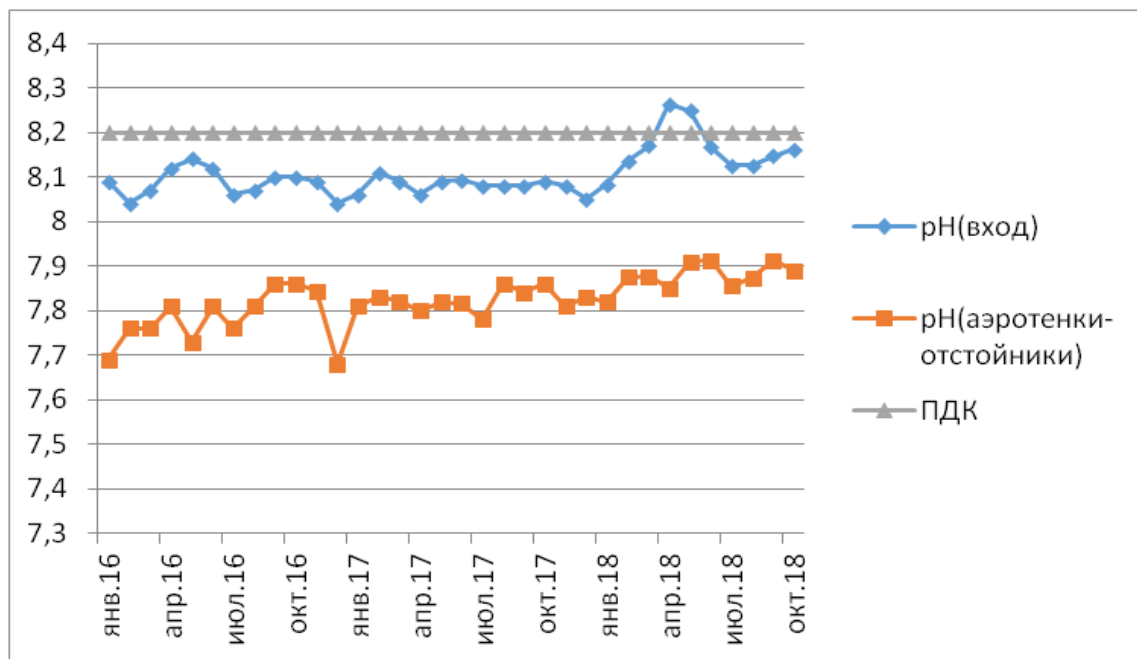


Рис. 3. Сравнительная характеристика pH сточных и очищенных сточных вод относительно ПДК

Используемые технологии очистки на Ялтинских очистных сооружениях в отношении pH также не полностью соответствуют требуемым нормам качества. В среднем, pH вод Черного моря составляет около 8,2 ед. pH. При нормировании значения pH для сбросов говорится о том, что значения pH не должны превышать фоновые значения морской воды. Сточные воды при поступлении на очистку имеют слабощелочную среду, при очистке pH снижается на 0,3-0,4 ед. pH.

Выводы

Очистные сооружения являются важнейшим объектом жизнеобеспечения населенного пункта: от их функционирования зависят санитарно-эпидемиологическая обстановка на значительной территории. Биологическая очистка является наиболее эффективным способом очистки бытовых и промышленных сточных вод и представляет собой сложный многостадийный процесс. Анализ основных показателей качества очистки сточных вод Ялтинских очистных сооружений показал, что необходимо совершенствование имеющейся технологии

Список использованных источников

1. 2.1.5.2582-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к охране прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения»
2. «Химический мониторинг ионов свинца в морской воде г. Севастополя» Ткаченко Э.В., Федорова С.А., Русяев С.В., Сербин А.Д., 2022. С. 18-22.
3. «Очистка сточных вод от ионов никеля (II) термически модифицированными природными сорбентами», Федорова С.А., Магдыч Е.А., Акимов А.М., Кравчук А.А. 2020. Т. 6. № 4. С. 124-130.
4. «Очистка сточных вод от ионов меди (II) модифицированными природными сорбентами» Федорова С.А., Магдыч Е.А., Кравчук А.А., Ведищева О.В., Акимов А.М. 2020. № 10 (148). С. 158-161.
5. Яснюк Е.В., Шорникова Е.А. Анализ эффективности очистки сточных вод на комплексе очистных сооружений. <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-effektivnosti-ochistki-stochnyh-vod-na-komplekse-ochistnyh-sooruzheniy> (Дата обращения: 01.04.2025г)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МИЦЕЛЛООБРАЗОВАНИЯ ЛАУРИЛСУЛЬФАТА НАТРИЯ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИМ И СТАЛАГМОМЕТРИЧЕСКИМ (МЕТОД СЧЕТА КАПЕЛЬ) МЕТОДАМИ

М.Е. Миронова, О.В. Ведищева

В данной работе рассмотрено сравнительное исследование двух методов определения критической концентрации мицеллообразования (ККМ), на примере анионного поверхностно-активного вещества – лаурилсульфата натрия в водных растворах: кондуктометрического и сталагмометрического метода. Проводимость и поверхностное натяжение водных растворов лаурилсульфата натрия измерена в диапазоне концентраций 0,06 г/л до 6 г/л при температуре 25°C. Кондуктометрический метод основан на измерении электропроводности растворов лаурилсульфата натрия различной концентрации, а сталагмометрический (метод счета капель) – на измерении поверхностного натяжения растворов.

Введение

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) занимают важное место в современной науке и промышленности благодаря их уникальной способности снижать поверхностное натяжение на границе раздела фаз. Это свойство обусловлено амфифильной природой молекул ПАВ, сочетающих в себе гидрофильную и гидрофобную части. В растворах поверхностно-активные вещества при низких концентрациях молекулы адсорбируются на поверхности, тем самым снижая поверхностное натяжение, а при достижении определенного порога концентрации, известного как критическая концентрация мицеллообразования, молекулы ПАВ начинают самопроизвольно агрегироваться в мицеллы. Знание величины критической концентрации мицеллообразования – важнейшая характеристика ПАВ, зависящая от многих факторов: длины и степени разветвления углеводородного радикала, присутствия примесей, pH раствора, соотношения между гидрофильными и гидрофобными свойствами. Чем длиннее углеводородный радикал и слабее полярная группа, тем меньше величина ККМ [1].

Лаурилсульфат натрия, или додецилсульфат натрия, химическая формула $C_{12}H_{25}SO_4Na$ – натриевая соль лаурилсерной кислоты, анионоактивное поверхностно-активное вещество (АПАВ), которое широко используется в составе моющих средств, косметических препаратах, а также в биохимических и молекулярно-биологических исследованиях. Благодаря своим выраженным поверхностно-активным свойствам и доступности, является хорошим соединением для изучения мицеллообразования и других коллоидных явлений [2].

Постановка задачи исследования

Целью настоящего исследования является определение и сравнение применимости кондуктометрического и сталагмометрического (метода счета капель) методов для определения критической концентрации мицеллообразования (ККМ) на модельных растворах лаурилсульфата натрия.

Методика исследования

Для определения критической концентрации мицеллообразования (ККМ) лаурилсульфата натрия использовали кондуктометрический и сталагмометрический (метод счета капель) методы. Серию водных растворов лаурилсульфата натрия готовили разбавлением исходного раствора с концентрацией 0,021 моль/л (6 г/л). Диапазон концентраций приготовленных растворов охватывал область предполагаемого значения ККМ и составлял от 0,06 г/л до 6 г/л [3]. Для каждого раствора обеспечивалась полная гомогенизация перед проведением измерений.

Кондуктометрические измерения:

Удельную электропроводность приготовленной серии растворов лаурилсульфата натрия измеряли с использованием многопараметрического настольного анализатора Edge HANNA-HI 2030-02 с датчиком проводимости. Перед проведением измерений прибор калибровали с использованием стандартных растворов электропроводности. Измерения проводились при постоянной температуре 25 °С. Датчик проводимости промывали дистиллированной водой и просушивали между измерениями каждого раствора. Удельная электропроводность каждого раствора измерялась не менее двух раз, и в качестве результата принималось среднее значение. Удельная электропроводность фиксировалась в единицах измерения мкСм/см.

Сталагмометрические измерения (метод счета капель):

Поверхностное натяжение приготовленной серии растворов лаурилсульфата натрия определяли методом счета капель на границе раздела с воздухом. Использовали бюретку с диаметром капилляра 2 мм. Калибровку проводили с использованием дистиллированной воды, для которой принималось значение поверхностного натяжения $\sigma_{H_2O} = 71,97 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$, при 25 °С значение взято из [3].

Для каждого раствора и стандартной жидкости (дистиллированной воды) подсчитывали число капель, образующихся при вытекании определенного объема жидкости из капилляра. Объем контролировался с помощью точного измерения объема с помощью бюретки. Перед каждым измерением капилляр тщательно промывали и просушивали. Подсчет капель для каждого раствора и стандартной жидкости проводился не менее двух раз.

Расчет поверхностного натяжения:

Поверхностное натяжение исследуемых растворов рассчитывали по формуле

$$\sigma_x = \sigma_0 \frac{n_0 \cdot \rho_x}{n_x \cdot \rho_0} \quad (1)$$

где σ_x – поверхностное натяжение исследуемой жидкости, (Н/м);

σ_0 – поверхностное натяжение воды, (Н/м);

n_x – число капель исследуемого раствора;

n_0 – число капель воды;

ρ_x – плотность исследуемого раствора, (г/см³);

ρ_0 – плотность воды, (г/см³).

Определение критической концентрации мицеллообразования определяли графически. Кондуктометрический метод определения ККМ основан на построении графической зависимости удельной электропроводности от концентрации раствора ПАВ. ККМ отвечает резкий скачек электропроводности на графике (рис. 1).

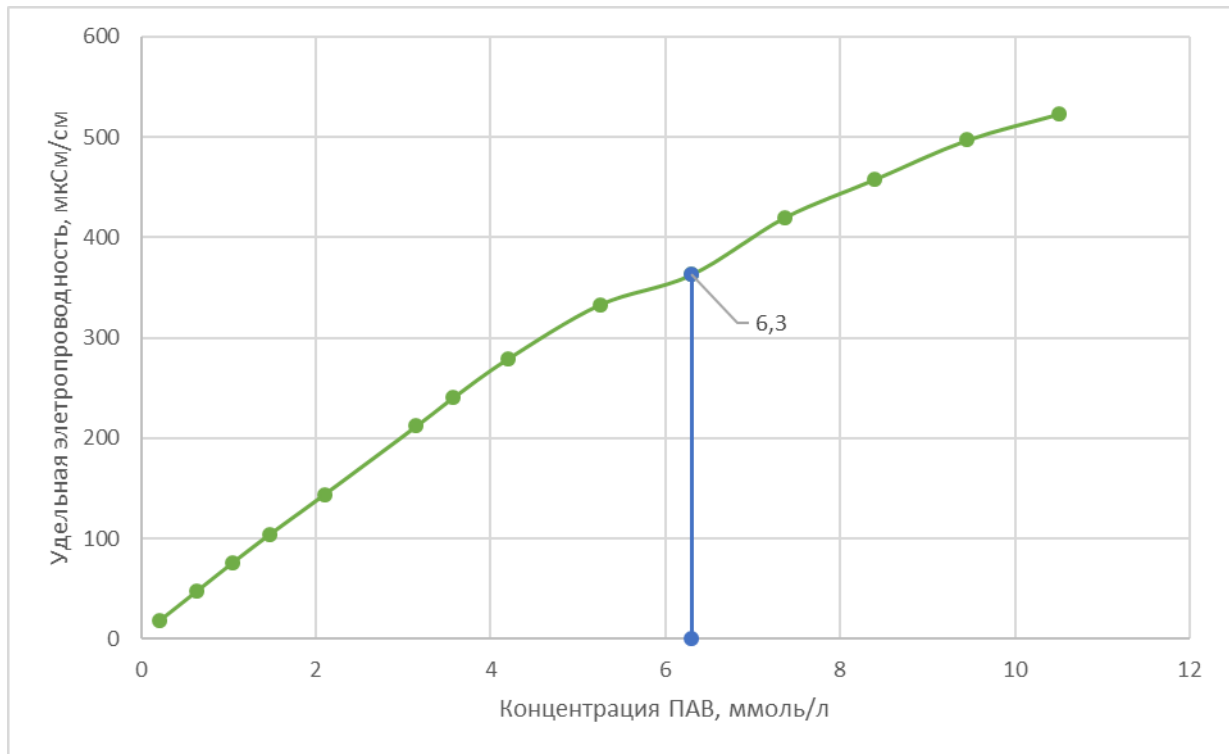


Рис. 1. Графическая зависимость удельной электропроводности раствора ПАВ от концентрации

Определение ККМ методом счета капель заключается в построении графической зависимости коэффициента поверхностного натяжения раствора, вычисленного ранее по формуле (1) от его концентрации (рис. 2).

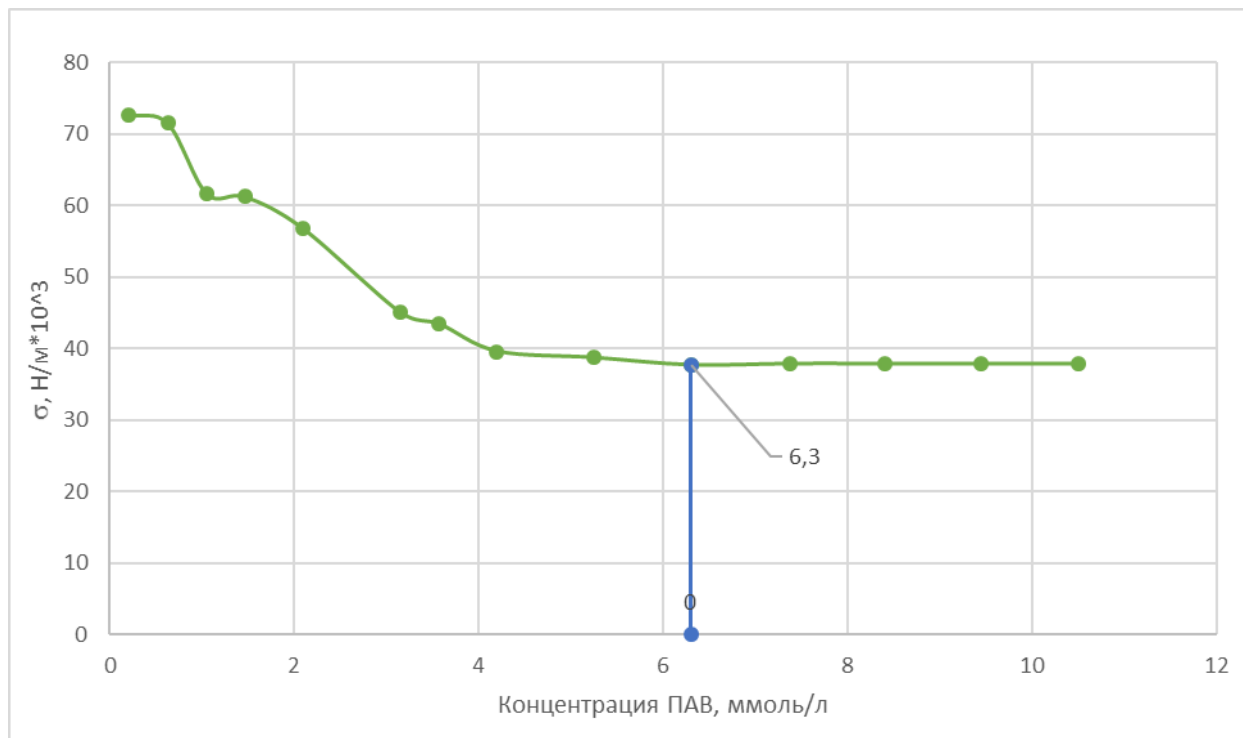


Рис. 2. Графическая зависимость коэффициента поверхностного натяжения раствора ПАВ от концентрации

Как показывают результаты исследования для растворов лаурилсульфата натрия ККМ соответствует концентрации ПАВ 6,3 ммоль/л, оба используемых метода дают одинаковый результат, что говорит о том, что на практике допустимо применять любой из рассмотренных методов исходя из текущих возможностей лабораторного оборудования.

Таким образом, в ходе исследования установлено, что удельная электропроводность растворов ПАВ возрастает с ростом концентрации практически линейно имея резкий скачек в точке соответствующей ККМ, что коррелируется с теоретическими сведениями [3].

С ростом концентрации ПАВ коэффициент поверхностного натяжения раствора падает (рис. 2), что соответствует теоретическим данным.

Выводы

Проведенное исследование показывает, что метод счета капель в области малых концентраций обладает достаточной точностью для определения ККМ, полученные данные по ККМ совпадают, с данными полученными кондуктометрическим методом, что говорит о возможности использования метода счета капель для быстрого определения ККМ растворов ПАВ.

Список использованных источников

1. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение Под науч. ред. Л. П. Зайченко. - СПб.: Профессия. 2004. - 240 стр.
2. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг, Б. Иенссон, Б. Кронберг, Б. Линдман; пер. с англ. 4-е изд., электрон. - М. : Лаборатория знаний, 2020. - 531 с.
3. Поверхностно-активные вещества: Справочник/ Абрамзон А. А., Бочаров В. В., Гаевой Г. М. и др.; под ред. А. А. Абрамзона и Г. М. Гаевого. - Л.: Химия, 1979. - 376 с., ил.

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ПЕСКА, ЗАГРЯЗНЕННОГО МАЗУТОМ РЕАГЕНТОМ ФЕНТОНА

С.Д. Кустова, О.В. Ворник

Проблема очистки различных сред от нефтепродуктов является одной из актуальных проблем современности. Продукты переработки нефти используются достаточно широко, а в силу их свойств очистка от подобных загрязнений является трудной задачей. Настоящее исследование посвящено изучению возможности очистки песка от мазута методом глубокого окисления с использованием реактива Фентона и фентон-подобных систем.

Введение

В последние несколько десятилетий антропогенная нагрузка на окружающую среду стремительно возрастает, что приводит к глобальным необратимым процессам, что не может не оказывать отрицательного влияния на качество жизни всего живого в общем и человека, в частности. Особой экологической проблемой является загрязнение окружающей среды нефтепродуктами, удаление которых из различных природных и технологических сред традиционными методами достаточно затруднительно. Особую актуальность проблема поиска эффективного, экологически и экономически оправданного способа очистки от нефтепродуктов, приобрела в декабре 2024 г вследствие техногенного разлива мазута в Керченском проливе, который спровоцировал экологическую катастрофу по всему черноморскому побережью.

Цель работы

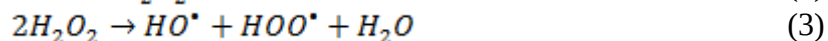
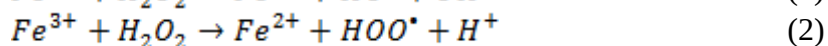
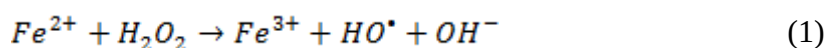
Целью работы является разработка технологии очистки песка, загрязненного мазутом основанной на использовании реактива Фентона и подобных ему систем.

Технологии глубокого окисления. Реактив Фентона

В 1894 г английским химиком было опубликовано исследование, в котором было указано, что ионы двухвалентного железа в присутствии некоторых окислителей подобных перекиси водорода обладают необычно высокой окислительной способностью. В настоящее время подобные системы принято называть «реактив Фентона» в честь первооткрывателя Генри Фентона [1].

Механизм реакции в соответствии с существующими представлениями заключается в следующем.

Железо (II) окисляется перекисью водорода до железа (III), образуя в процессе гидроксильный радикал и гидроксид-ион. Затем железо (III) восстанавливается до железа (II) другой молекулой перекиси водорода, образуя гидропероксильный радикал и протон. В результате происходит диспропорционирование перекиси водорода с образованием двух различных кислородных радикалов и воды ($H^+ + OH^-$) в качестве побочного продукта [2].

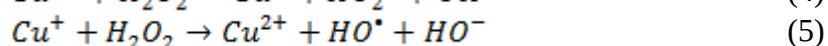
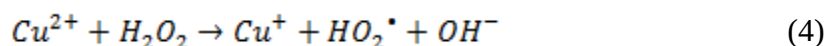


Свободные радикалы, образующиеся в результате этого процесса, вступают во вторичные реакции. Например, гидроксил является мощным неселективным окислителем [3]. Окисление органического соединения с помощью реагента Фентона является быстрым и экзотермическим процессом и приводит к окислению загрязняющих веществ до углекислого газа и воды.

В настоящее время реакция Фентона используется в органическом синтезе, в процессах глубокого окисления при очистке сточных вод фармацевтических, текстильных и агрохимических предприятий [4].

По своей реакционной способности по отношению к H_2O_2 медь демонстрирует окислительно-восстановительные свойства, подобные железу.

Как моновалентные (Cu^+), так и двухвалентные (Cu^{2+}) окисляющие состояния легко реагируют с H_2O_2 (уравнения (3) и (4)), аналогичные реакционным системам Fe^{2+}/H_2O_2 и Fe^{3+}/H_2O_2 соответственно [5].



В силу высокой окислительной способности реагента Фентона и фентон-подобных систем, в настоящем исследовании, рассматривается возможность очистки песка, загрязненного мазутом так как вследствие техногенного разлива мазута в Керченском проливе в декабре 2024 г. эта задача приобрела особую актуальность.

С целью возможности количественной оценки результата исследование проводилось на модельных смесях мазута и песка. Для исследования были приготовлены 4 пробы смеси песка и мазута в соотношении 1:1 и 2:1 соответственно, масса песка во всех пробах составляла 5 г (рис. 1).



Рис. 1. Приготовленные пробы смеси песка с мазутом

В качестве реагента Фентона использовали раствор $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ с содержанием 3,5 г/л Fe^{2+} , раствор $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ с содержанием 3,5 г/л Cu^{2+} и 30% раствор H_2O_2 (соотношение $Me^{n+}: H_2O_2$ составляет 1:4) Модельные пробы песка обрабатывались реагентом Фентона в течение часа. Во время проведения эксперимента поддерживался уровень $pH=3$ для чего использовался 10% раствор H_2SO_4 . Спустя час растворы фильтровали и определяли массу высушенного песка на аналитических весах. Чистоту песка определяли визуально.

Обсуждение результатов

В результате исследования две пробы сильнозагрязненные мазутом были потеряны вследствие высокой скорости окисления, что говорит о том, что использование реагента Фентона должно сопровождаться постоянным контролем pH, так как при повышении последнего в сторону нейтрального и слабощелочного раствора происходит быстрое и разложение перекиси водорода, что сопровождается выделением большого количества теплоты.

Пробы, в которых содержание мазута с песком составляло 1:1 по окончании реакции (определяли визуально) были отфильтрованы и осадок высушен. Масса сухого песка, обработанного смесью $\text{Cu}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ составила 4,85 г., потеря массы обусловлена фильтрованием и возможно сильным кипением раствора в процессе реакции, которое привело к налипанию некоторого количества загрязненного песка к стенкам стакана. Масса сухого песка, обработанного смесью $\text{Fe}^{3+}/\text{H}_2\text{O}_2$ составила 5,15 г, что может свидетельствовать о неполноте реакции окисления и о необходимости увеличения времени реагирования. Внешний вид песка до исследования и после приведен на рис. 2-4.

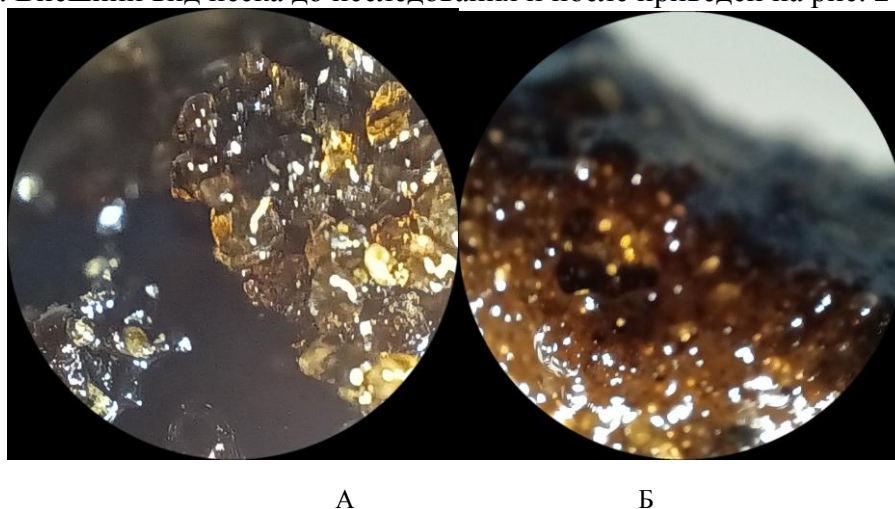


Рис. 2. Внешний вид песка, загрязненного мазутом (увеличено в 20 раз)

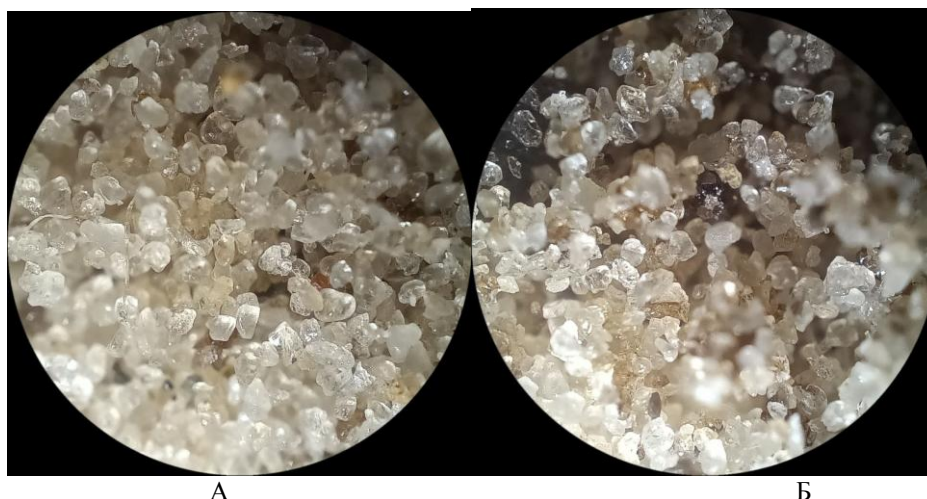


Рис. 3. Внешний вид очищенного песка при 20-м увеличении:
А – реакция с ионами меди (II), Б – реакция с ионами железа (III)

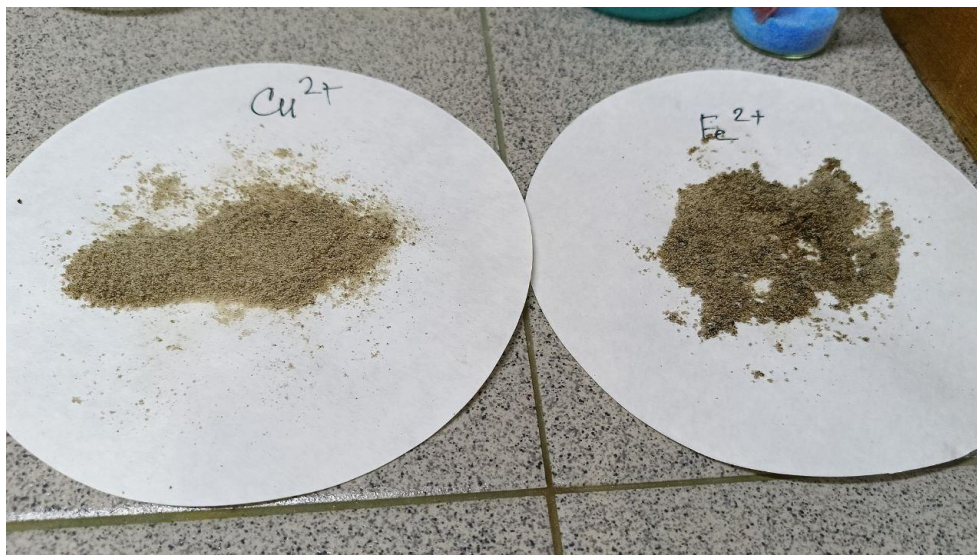


Рис. 4. Внешний вид песка, полученного в результате очистки

Как видно на рис. 3-4 использование для очистки загрязненного нефтепродуктами песка Фентон-подобных систем, в частности, на основе меди (II) дает хорошие результаты. Исследование возможности очистки песка от мазута «классическим» реактивом Фентона показывает так же не плохие результаты, однако время контактирования необходимо увеличить.

Как показало исследование, реакция Фентона может быть использована в технологии очистки песка, воды и других неорганических сред от нефтепродуктов, однако сам процесс нуждается в дальнейшем исследовании, в частности определении рациональных соотношений перекиси и ионов металла-катализатора, времени контактирования, подборе и способе поддержания оптимального значения pH.

Несмотря на то, что при использовании в качестве катализатора ионом железа (III) получены несколько худшие результаты, его использование в качестве реагента при очистке сточных вод загрязненных нефтепродуктами является предпочтительней, так как в результате реакции образуется $\text{Fe}(\text{OH})_3$, который широко используется в технологии очистки воды в качестве коагулянта, таким образом его образование будет способствовать повышению эффективности процесса очистки сточных вод.

Выводы

Таким образом проведенное исследование свидетельствует о том, реакция Фентона может быть использована в технологии очистки песка, воды и других неорганических сред от нефтепродуктов, однако сам процесс нуждается в дальнейшем исследовании, в частности определении рациональных соотношений перекиси и ионов металла-катализатора, времени контактирования, подборе и способе поддержания оптимального значения pH.

Список использованных источников

1. Копенол, У.Х. (1 декабря 1993 г) «Столетие реакции Фентона». *Биология и медицина свободных радикалов*. 15 (6):645–651. doi:10.1016/0891-5849(93)90168-t
2. Qaderi, F. and Abdolalian, S., 2022. Treatment of petroleum wastewater using solar power-based photocatalysis. In *Petroleum Industry Wastewater* (161-170). Elsevier..
3. Salem, F. and Thiemann, T. (2022) Produced Water from Oil and Gas Exploration—Problems, Solutions and Opportunities. *Journal of Water Resource and Protection*, 14, 142-185.

4. Нейтрализация сточных вод фармацевтических предприятий методом фото-Фентон / И. Е. Жеребцов, А. В. Будин, В. Ю. Ярмандеев, С. Е. Юхин, И. В. Никитин // Лаборатория и производство. – 2023. – № 2. – С. 66 – 69. – URL : https://labpro-media.ru/wp-content/uploads/2023/05/66-69-resenergo_osh_f.pdf (дата обращения: 12.09.2023).
5. Millero F.J. Effect of ionic interactions on the rates of reduction of Cu(II) with H₂O₂ in aqueous solutions/. F.J. Millero, J. [and ets.]// Solution Chem. 21 -1992 P.1271–1287.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ГЛЮКОНАТА НАТРИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ОТ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Р.А. Чобанян, Э.В. Ткаченко

В настоящее время существует множество способов снижения скорости коррозии, таких, как анодное покрытие, а также ингибиторы коррозии. Наиболее распространенным способом ингибирования является использование ингибитора коррозии в коррозионной среде. Ингибиторы коррозии это химические вещества, которые изменяют и/или подавляют электрохимические свойства и механизмы реакции агрессивных сред в дополнение к их реакции с металлическими поверхностями, подверженными воздействию окружающей среды. В статье изучены ингибирующие свойства комплекса железа и меди, а также основные результаты исследования его комплексообразующей способности.

Введение

Медь и железо, как правило входят в состав конструкционных материалов различных промышленных и не только аппаратов. Как и любые металлические конструкции эти сплавы корродируют при контакте с агрессивными средами. Отложения меди и железа это, как правило, накипные отложения, которые в случае теплопередающих поверхностей ухудшают теплопередающую способность и приводят к опасному прерыву металла, в других случаях накипные отложения усиливают коррозию металла под своей поверхностью. Так же медные и железные отложения могут представлять собой шлам, который может перекрывать сечение трубопроводов, водоподводящих отверстий, а также эти ионы меди способны образовывать каркас для иных видов отложений, так как ее отложения сами по себе имеют губчатый каркас. Именно по этой причине разработка эффективного комплексообразователя для связывания ионов этих металлов является актуальной задачей.

Соли натрия глюконовой кислоты являются перспективными ингибиторами коррозии для конструкций из меди, железа и углеродистой стали в кислых средах, благодаря своей способности образовывать растворимые комплексы с железом, препятствуя формированию труднорастворимых оксидов железа

Цель работы

Целью данной работы является исследование ингибирующих свойств глюконовокислого натрия с ионами меди и железа. В частности, ставится задача оптимальных для применения концентраций комплексообразователя и оптимального времени.

Ингибирование коррозии низкоуглеродистой стали глюконатом натрия в воде

Глюконат натрия представляет собой бесцветные или светло-желтые кристаллы растворимые в воде и слаборастворимые в этаноле, нерастворимые в эфире. Данная соль не подвергается гидролизу в водных средах и является устойчивой в щелочных средах, помимо этого обладает эмульгирующими свойствами. Одни из наиболее важных свойств данного

вещества являются его комплексообразующие свойства, позволяющие его использовать для связывания ионов двух- и трехвалентных металлов, таких как кальций, железо, алюминий, магний и медь.

Все перечисленные свойства данного соединения открывают возможности для его широкого применения в различных сферах. Например, глюконат натрия находит применение в промышленных щелочных моющих растворах, где он демонстрирует более высокую эффективность по сравнению с такими агентами, как этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) и нитрилотриуксусная кислота (НТА). Чаще всего его используют в сочетании с различными поверхностно активными веществами, такими как гидроксид натрия, силикат натрия или фосфаты, поскольку такие рецептуры обладают синергетическим эффектом, что повышает эффективность моющей композиции. Кроме того, эти композиции действуют как ингибиторы коррозии, что находит применение в промышленной очистке воды, особенно эффективно в сочетании с алюминием.

Среди элементов восьмой группы короткопериодной формы периодической таблицы Менделеева железо занимает доминирующее положение. Благодаря стабильности своих ядер этот элемент достаточно распространен. Образование комплексных соединений железа при степени окисления выше +3 считается маловероятным, в то время как степень окисления +3 является одной из самых распространенных. Железо (III) может образовывать разнообразные комплексные соединения, включая катионные, анионные и нейтральные. Оно предпочитает кислородо- и азотодонорные лиганды. Например, комплексы, образующиеся при реакции фенолов или енолов с трехвалентным железом, имеют яркую окраску благодаря образованию комплексов Fe-O. Также водный раствор хлорида железа (III) обесцвечивается из-за образования фосфатных комплексов с кислородом. Хорошо известны комплексные соединения со смешанными лигандами, такими как ЭДТА. Существуют также галогенидные комплексы трехвалентного железа, чья устойчивость снижается от фтора к йоду. Комплексы, содержащие фтор, достаточно стабильны в водных растворах, в то время как комплексы с хлором не обладают такой стабильностью, а борные комплексы легко восстанавливаются до железа. Цианидные комплексы железа, в свою очередь, устойчивы.

Чистая медь представляет собой мягкий, пластичный и ковкий материал, обладающий высокой электро- и теплопроводностью и имеющий розово-красный цвет. Кристаллическая решетка этого металла имеет гранецентрированную кубическую структуру. Медь также способна образовывать коллоидные растворы, которые со временем коагулируют без внешнего вмешательства, т.е. самопроизвольно.

Что касается комплексных соединений меди, то у двухвалентной меди обычно встречаются координационные числа 4, 5 и 6. Однако геометрия молекул комплексных соединений меди часто искажена, что объясняется эффектом Яна-Теллера, возникающим из-за неоднородного заполнения орбиталей. В результате первые четыре константы устойчивости комплексов меди (II) всегда выше, чем последующие. Медь (II), как и другие элементы 11 группы периодической таблицы, предпочитает мягкие доноры электронов, такие как азот или сера. К наиболее распространенным лигандам меди относятся аммиак, купризон, ЭДТА, нитрилотриуксусная кислота и диэтилдикарбамат натрия.

Результаты исследования ингибирующей способности

Были проведены исследования по взаимодействию электродов из низкоуглеродной стали (СТЗ) с коррозионной средой.

Среда доводилась до pH=12, после чего в среду погружались 2 электрода подключённых к коррозиметру. Было исследовано влияние времени на данный процесс измерения проводились через 0 минут, 10 минут, 30 минут, 1 час, 1 сутки, 7 суток.

После исследований среду подготавливали снова и в нее было введено 0,1 г глюконата натрия. Временные выдержки аналогичны.

В результате проведенных исследований было выяснено, что в щелочной среде скорость коррозии довольно высокая и со временем низко опускается до постоянного значения скорости. При повторном исследовании, но с добавлением ингибитора, начальная скорость была меньше в 2.25-2.5 раза и так же медленно опускалась. Оптимумом по времени после которого скорость коррозии уменьшила свое колебание составило 1 сутки.

Выводы

Данное вещество может быть использовано в качестве ингибитора коррозии для ионов меди и железа. Оптимальными параметрами для этого станут масса ингибитора как минимум 0,1 г и максимальная выдержка электродов в растворе 1 сутки, так как далее начинается образование комплекса.

Список использованных источников

1. Основы аналитической химии / под ред. Ю. А. Золотова. - 5-е , перераб. и доп. - М.: Издательский центр "Академия", 2012. -Т. 1. - С. 229. - 384 с.
2. Третьяков, Ю. Д. Неорганическая химия / Ю. Д. Третьяков - 3-е издание . - Москва : ИЦ "Академия", 2007- Т.3 - 400 с.
3. Третьяков, Ю. Д. Неорганическая химия / Ю. Д. Третьяков - 3-е издание . - Москва : ИЦ "Академия", 2007- Т.1 - 400 с.
4. Композиция для умягчения воды, Фабио Д'Амино, Федерико Гарау и Стефано Марау, RU2635250C2, применяется с 2013.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО WO_3 ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

З.П. Бастаева, С.А. Федорова

В настоящее время побочным эффектом наращивания мощностей производств является увеличение сточных вод промышленных предприятий. При этом ПДК по тяжелым металлам достаточно жесткие. Для очистки сточных вод применяются различные технологические схемы и оборудование. Наиболее эффективным способом очистки сточных вод от тяжелых металлов является комбинация различных методов очистки. В статье предложен способ очистки сточных вод от тяжелых металлов с использованием наноструктурированного WO_3 .

Введение

В современном мире и России производство играет ведущую роль в развитии страны. Побочным эффектом наращивания мощностей производств является увеличение сточных вод (СВ) промышленных предприятий. Для очистки СВ применяются различные технологические схемы и оборудование. Наиболее эффективным способом очистки сточных вод от тяжелых металлов является комбинация различных методов очистки [1-8]. В нашей работе мы сосредоточимся на использовании наноструктурированного WO_3 для очистки сточных вод от тяжелых металлов.

В Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года подчеркивается, что ситуация с качеством воды в водных объектах продолжает оставаться неблагоприятной, в первую очередь вследствие сбросов промышленных и бытовых сточных вод.

В ходе исследования были проанализированы классификация СВ по гидродинамическому режиму, как базис к подбору технологий очистки. Проведено экспериментальное исследование эффективности использования наноструктурированного WO_3 очистки модельных сред, содержащих Pb^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} .

Цель работы

Целью исследования является количественная оценка использования наноструктурированного WO_3 для очистки водных сред от тяжелых металлов. В рамках работы решали следующие задачи:

анализ технологий очистки сточных вод в зависимости от гидродинамического режима;
получение количественной характеристики степени очистки модельных сред с использованием наноструктурированным WO_3 от тяжелых металлов.

Технология очистки стоков от тяжелых металлов

В технологических схемах очистки стоков установки подразделяют по гидродинамическому режиму их работы:

- **проточные** – включают в себя все процессы очистки сточных вод, практически полностью очищают сточные воды до необходимых нормативов;
- **не проточные** – сточные воды подаются дозированно, после завершения цикла освобождаются, подходят для предварительной очистки.

Проточные схемы обеспечивают освобождение стоков от ионов тяжелых металлов и позволяют достичь необходимого качества. Они нашли широкое применение для обработки металлосодержащих СВ и довольно "гибкие" из-за сочетания аппаратов разного функционала. Основные минусы: применение накопителей, усреднителей значительных размеров, необходимость поддержания оптимальных параметров, ограничение содержания ионов тяжелых металлов в исходной воде (в сумме – не более 150 – 300 мг/дм³), снижение эффекта очистки из-за изменений концентраций исходных компонентов.

Непроточные схемы позволяют поддерживать оптимальные параметры очистки, дозировать необходимое количество реагентов и контролировать протекание реакций. Также они эффективно работают вне зависимости от колебаний качества исходной воды, используют минимальные объемы накопителей. Однако они не извлекают вещества, для которых нужна установка проточных аппаратов, таких как флотаторы и аппараты деминерализации. В связи с чем эти схемы осуществляют только начальное удаление ионов тяжёлых металлов (в сумме – не менее 4 – 10 мг/дм³) и иных веществ.

Исследования использования наноструктурированного WO₃ на степень очистки модельных сред, содержащих Pb²⁺, Ni²⁺, Cu²⁺, Cd²⁺, Zn²⁺

Для экспериментального определения способности нанопорошков очищать модельные растворы будет проведен полный факторный эксперимент. Для этого необходимо заранее приготовить 3 серии растворов. В каждой серии было 16 проб с наноструктурированным WO₃. Сами пробы состоят из различных концентраций Pb²⁺, Cd²⁺, Ni²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺. Также были сделаны контрольные растворы с Pb²⁺ и наноструктурированным WO₃. Время экспозиции первой серии проб с наноструктурированным WO₃ 8 дней, второй – 16 дней, третьей – 24 дня. Концентрация нанопорошка во всех пробах составляла 3%.

Из данных эксперимента следует, что раствор, содержащий только Pb²⁺ показал снижение содержания свинца на 85%.

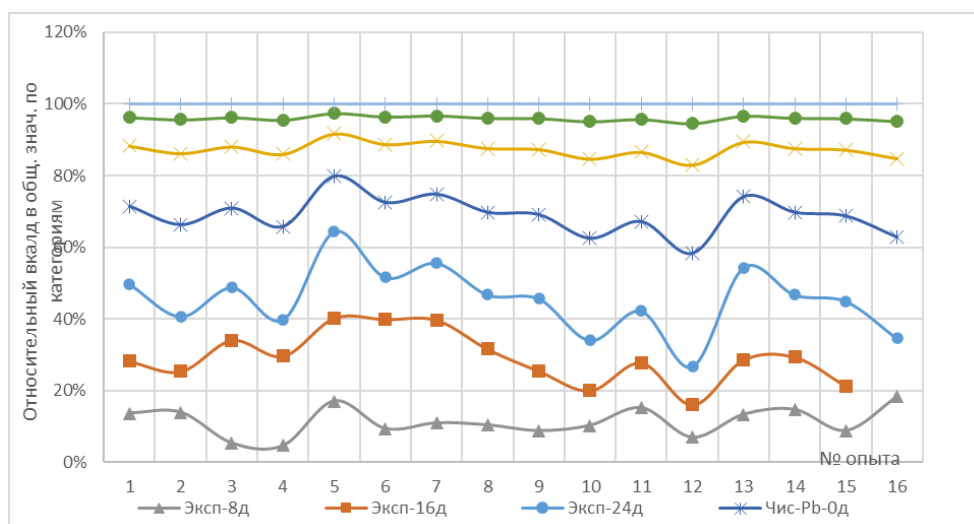


Рисунок 1 – Сравнение 8, 16 и 24 дневных экспериментальных кривых проб модельных растворов с наноструктурированным WO_3 и проб чистого Pb^{2+} с WO_3 при $\lambda = 540$ нм

Как мы видим из графика (см. рис. 1), относительный вклад у значений на экспериментальных кривых со временем растет и составляет около 15% при 8 днях, около 30% при 16 и около 45% при 24 днях. В тоже самое мы видим как некоторые пробы, а именно 3, 4, 12 показывают небольшой провал, что можно объяснить повышенным содержанием никеля во всех трех пробах, а также кадмия – в 3, 4; цинка – в 3 пробе. Одновременно мы наблюдаем вклад выше среднего у проб 5, 7, 13 что можно объяснить сниженным содержанием никеля в них

Из экспериментальных данных следует, что наноструктурированный WO_3 очищает растворы свинца на 85%.

Выводы

На основании проведенного исследования, для удаления из СВ ионов тяжелых металлов целесообразно использовать наноструктурированный WO_3 .

В ходе экспериментального исследования были получены количественные характеристики влияния Ni^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} на определение Pb^{2+} . Отмечено, что использование наноструктурированного WO_3 позволяет очистить модельные растворы на 85%.

Список использованных источников

1. Захарова Е.А., Макарова А.М. Эффективность использования нанопорошков при обезвреживании сточных вод // Вестник МГТУ. – 2016. – № 3. – С. 78-84.
2. Иванов П.С., Козлов Д.А. Нанотехнологии в области очистки сточных вод // Журнал Нанотехнологии и экология. – 2018. – Т. 5. – № 2. – С. 112-120.
3. Романов Д.М., Тарасова О.П. Применение нанопорошков для улучшения качества очистки сточных вод от тяжелых металлов // Журнал Химическая технология. – 2019. – Т. 10. – № 4. – С. 56-61.
4. Смирнова Е.И., Григорьев А.Н. Влияние нанопорошков на процесс очистки сточных вод от тяжелых металлов // Экологическая химия. – 2020. – № 5. – С. 30-37.
5. Дубровская, Н.И., Кураев, И.С. (2017). Применение нанотехнологий в области

очистки сточных вод от загрязнений тяжелыми металлами. Санкт-Петербург: Издательство "Политехника".

6. Федорова С.А. Влияние нанопорошка диоксида кремния на электропроводность модельных сред, содержащих катионы Na^+ , Mg^{2+} , Fe^{3+} // Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6. № 2. С. 105-110.
7. Федорова С.А., Магдыч Е.А., Кравчук А.А., Ведищева О.В. Очистка сточных вод от ионов меди (II) модифицированными природными сорбентами // Естественные и технические науки. 2020. - №10 (148) - С.158 - 161.
8. Федорова С.А., Гавриш В.М., Гавриш О.П. Моделирование влияния нанопорошка вольфрама на прочностные характеристики пластмасс // Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5. № 4. С. 143-148.

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ОТКЛИК СРЕДИЗЕМНОМОРСКОЙ МИДИИ *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* LAMARCK, 1819 НА НЕФТЯНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ

С.В. Мороз

Загрязнение водоемов нефтяными углеводородами в настоящее время представляет серьезную экологическую проблему. Особую актуальность и значимость проблема нефтяного загрязнения в России приобрела после катастрофы танкеров «Волгонефть-212» и «Волгонефть-239» в Керченском проливе 15 декабря 2024 г. Нефтепродукты являются опасными и оказывают отравляющее действие на водные организмы.

Введение

В последние десятилетия, в связи с активной техногенной человеческой деятельностью, в водоемы в огромном количестве поступают нефтяные углеводороды (НУ). Практически все компоненты нефти в большей или меньшей степени являются токсичными и оказывают отравляющее действие на водные организмы, а некоторые группы НУ могут аккумулироваться в органах и тканях и передаваться по пищевым цепям.

Степень отравления гидробионтов НУ зависит от многих факторов: концентрации и продолжительности воздействия вещества, температуры среды, освещенности, а также особенностей самих организмов – размера, возраста, пола. В от продолжительности и масштаба загрязнения НУ может наблюдаться широкий диапазон реакций – от физиолого-биохимических, морфологических и поведенческих аномалий на уровне организмов до структурных и функциональных перестроек в популяциях и сообществах.

При оценке токсического действия загрязнителей на организм гидробионтов наиболее часто используют двусторчатых моллюсков рода *Mytilus*. По выживаемости представители рода *Mytilus* обладают высокой устойчивостью к различным загрязнителям. Широкая распространенность и низкая смертность при изменении абиотических факторов позволяют легко добывать экспериментальный материал и содержать в лабораторных условиях. В то же время повышенная чувствительность физиологических функций к действию токсикантов дает возможность с большой точностью определять пригодность водной среды для жизнедеятельности моллюсков.

Цель работы

Изучить влияние дизельного топлива на физиолого-биохимические параметры черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* в условиях токсикологического эксперимента. Выявить параметры наиболее чувствительные к нефтяному загрязнению. Исследовать показатели окислительного стресса и активность ключевых антиоксидантных ферментов в гепатопанкреасе мидии *M. Galloprovincialis*.

Влияние нефтеуглеводородов на биохимические показатели мидии

В качестве НУ использовали дизельное топливо (ДТ) «Летнее». Воздействующая на мидий концентрация ДТ в воде составила 0,5 мг/л и 1 мг/л, что соответствует 10 и 20 предельно допустимым концентрациям. Выбор концентраций ДТ был обусловлен тем, что в

летний период в некоторых районах севастопольской акватории содержание НУ в воде достигает 0,5 мг/л (10 ПДК) и выше. Отбор экспериментальных животных осуществлялся на 3-е и 5-е сутки. По окончании эксперимента исследовали следующие биохимические показатели в гепатопанкреасе моллюсков - активность антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ)), показатели окислительного стресса (уровень перекисного окисления липидов и окислительной модификации белков), активность аминотрансфераз (аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспартатаминотрансферазы (АСТ)). В качестве физиологических параметров рассчитывали индекс гепатопанкреаса, индекс жабр, выход мяса.

Универсальным показателем окислительного стресса при действии отдельных токсикантов и комплексном загрязнении акваторий является увеличение в тканях гидробионтов уровня перекисного окисления липидов и окислительной модификации белков.

Обнаруженное в наших исследованиях (рис. 1) повышение содержания ТБКРП и уровня альдегидных продуктов нейтрального и основного характера (D356, D430) в гепатопанкреасе экспериментальных животных свидетельствует о том, что НУ при заданных концентрациях инициируют развитие окислительного стресса путем интенсификации процессов перекисного окисления липидов и белков. В то же время увеличение активности ключевого антиоксидантного фермента СОД на 5-й день эксперимента при максимальной концентрации (1 мг/л) может свидетельствовать о компенсаторном характере адаптивной ответной реакции на воздействие токсиканта, направленной на подавление интенсивности свободнорадикального окисления. Однако снижение активности КАТ на фоне повышения активности СОД может свидетельствовать об ингибировании фермента.

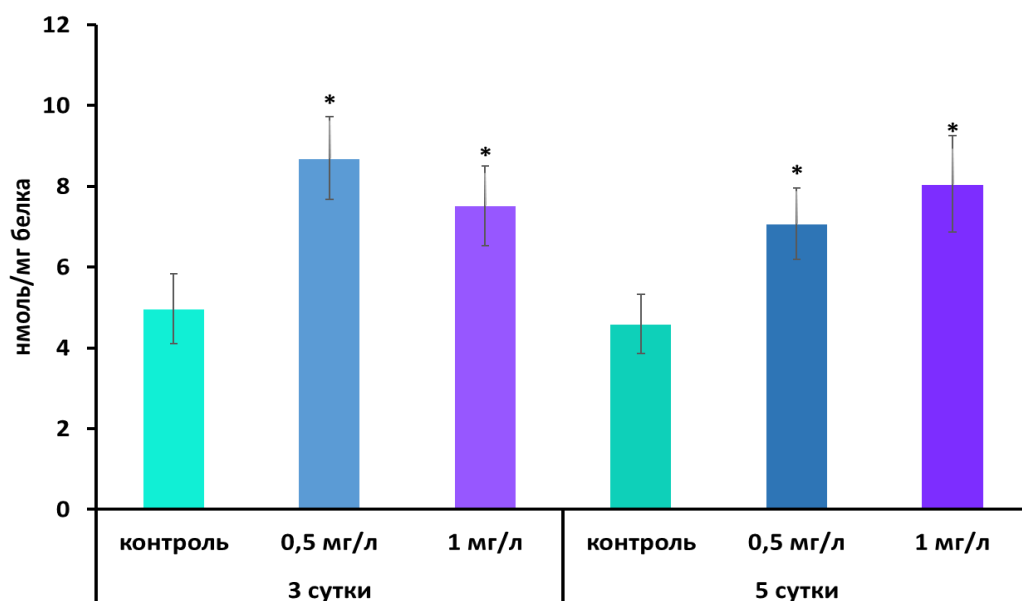


Рис. 1. Концентрация ТБК-реактивных продуктов в гепатопанкреасе мидий

Примечание: *- различия достоверны по сравнению с контролем

АЛТ и АСТ высокочувствительны к влиянию природных и антропогенных факторов и принимают участие в ответных реакциях организма на загрязнение окружающей среды. Аминотрансферазы могут выступать в качестве биомаркеров стресса и тканевого повреждения. В наших исследованиях активность аминотрансфераз в гепатопанкреасе мидий в течение эксперимента не изменялась, что указывает на отсутствие влияния заданных концентраций НУ на ключевые звенья углеводного и белкового метаболизма.



Рис. 2. Акклиматизация мидий в условиях токсикологического воздействия



Рис.3. Исследование экземпляров мидий

Выводы

1. Показатели прооксидантно-антиоксидантной системы гепатопанкреаса и индекс жабр демонстрируют высокую чувствительность к ДТ и могут использоваться наряду с другими рекомендованными параметрами для оценки функционального состояния моллюсков в условиях нефтяного загрязнения среды обитания.
2. Во время эксперимента мидии проявляли высокую устойчивость к воздействию дизельного топлива. Выживаемость животных в контроле и эксперименте составила 100 %.
3. Дизельное топливо при заданных концентрациях не оказывало влияние на активность аспартатаминотрансферазы и аланинаминотрансферазы в гепатопанкреасе мидий.
4. Дизельное топливо стимулировало развитие окислительного стресса путем смещения прооксидантно-антиоксидантного баланса в сторону интенсификации процессов перекисного окисления липидов и окислительной модификации белков в гепатопанкреасе мидий.
5. При концентрации 1 мг/л дизельное топливо вызывало активацию супероксиддимуказы и ингибирование активности каталазы в гепатопанкреасе мидий.

Список использованных источников

1. Алешко С.А. Действие нефтяных углеводородов на морские организмы на молекулярном уровне / С.А. Алешко / Известия ТИНРО. – 2007. – Т. 148. - С. 247-261.
2. Барабашин Т.О. Методическое обеспечение мониторинга загрязнения водных объектов Азово-Черноморского бассейна / Т.О. Барабашин, И.В. Кораблина, Л.Ф. Павленко, Г.В. Скрыпник, Л.И. Короткова // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2018. - Том 1 (3-40. - С. 9-27.
3. Бахмет И.Н. Мидия *Mytilus edulis* L. Белого моря как биоиндикатор при воздействии растворенных нефтепродуктов / И.Н. Бахмет, Н.Н. Фокина, З.А. Нефедова, Т.Р. Руоколайнен, Н.Н. Немова // Труды Карельского научного центра РАН. – 2012 - № 2 - С. 38–46
4. Безматерных Д.М. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири: анализ / Д.М. Безматерных. - Новосибирск, 2007. - 87 с.

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ

*Сборник материалов докладов и сообщений
студенческой научно-практической конференции
22 мая 2025 года*

Технический редактор – В.В. Чебоксаров

Изд. № 113/2025. Объем 24,5 п.л. Усл. печ. л. 22,78. Уч.-изд. л. 24,01.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»