ISSN 2413-5526

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал

Т. 10 № 1

Севастополь
2024

Э 651 ISSN 2413-5526
УДК 621.311

Э 651 Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ ВО СевГУ, 2024. – Т. 10. - № 1. – 176 с.: ил.

В научный журнал «Энергетические установки и технологии», включены статьи, посвященные актуальным вопросам современной энергетики. Журнал состоит из разделов: Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами; Энергетические системы и комплексы; Теоретическая и прикладная теплотехника; Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды; Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность; Техносферная безопасность (в энергетике); Физическая химия; Процессы и аппараты химических технологий.

Предназначен для научных работников, инженеров и специалистов, работающих на предприятиях и в организациях энергетики, аспирантов и студентов технических вузов. Журнал выходит 4 раза в год.

Состав редколлегии:

Главный редактор – *Якимович Борис Анатольевич*, д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
Заместитель главного редактора – *Губарев Федор Александрович*, д.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
Ответственный секретарь – *Черкашина Наталья Игоревна*, к.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
Технический редактор – *Нестерова Елена Александровна*, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.

Члены международного редакционного совета:

Абу Исса Никола Наджиб, профессор Дамасского университета, Сирийская Арабская Республика.
Божек Павел, к.т.н., профессор, почетный доктор (Doctor Honoris Causa), Трнава Словацкий технологический университет, Словакия.
Ли Линь, к.т.н., ассоциированный профессор Ляонинского технологического университета, КНР.
Червинский Вячеслав Леонидович, к.т.н., доцент, БНТУ, Республика Беларусь.

Редакционный совет:

Аллаяров Садулла Реймович, д.х.н., главный научный сотрудник, Отдел строения вещества, Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, г. Черноголовка.
Богомолов Александр Романович, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой теплоэнергетики Института энергетики, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово.
Вологдин Сергей Валентинович, д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск.
Заворин Александр Сергеевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой руководитель НОЦ И. Н. Бутакова Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.
Комшин Александр Сергеевич, д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва.

Лидер Андрей Маркович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры; профессор отделения экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.
Митрофанова Ольга Викторовна, д.т.н., профессор кафедры теплофизики ИЯФиТ, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва.
Пестряков Алексей Николаевич, д.х.н., профессор, профессора Исследовательской школы химических и биомедицинский технологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.
Семёнов Владимир Константинович, д.т.н., профессор, профессор кафедры атомных электрических станций, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново.
Чудинова Юлия Валерьевна, д.б.н, доцент, заведующий кафедрой «Охраны труда и окружающей среды» ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск.
Щеклеин Сергей Евгеньевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой атомных станций и возобновляемых источников энергии, Уральского Федерального университета, Уральского энергетического института.
Дмитриев Сергей Михайлович, д.т.н., профессор, ректор Нижегородского государственного технического университета имени Р.Е. Алексеева, заведующий кафедрой атомных и тепловых станций Образовательно-научного Института ядерной энергии и технической физики.

Члены редколлегии:

Высоцкий Виталий Евгеньевич, д.т.н., профессор кафедры «Судовое электрооборудование» Морского института, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
Глазырин Александр Савельевич, д.т.н., доцент, профессор отделения электроэнергетики и электротехники, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.
Горбунов Владимир Александрович, д.т.н. доцент, профессор кафедры атомных электрических станций, ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново.
Завьялов Валерий Михайлович, д.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
Мостовщиков Андрей Владимирович, д.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск. г. Томск.
Назаренко Ольга Брониславовна, д.т.н., доцент, профессор отделения контроля и диагностики, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.
Пак Александр Яковлевич, д.т.н., заведующий лабораторией ЛПМЭО ИШЭ, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.
Романенко Сергей Владимирович, д.х.н., профессор исследовательской школы химических и биомедицинских технологий, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

Семыкина Ирина Юрьевна, д.т.н., доцент, директор учебно-научного центра информационных технологий обучения ИЯЭиП ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
Харламов Виктор Васильевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электрические машины и общая электротехника» ФГБОУ ВО «Омский государственного университет путей сообщения», г. Омск.
Яковишин Леонид Александрович, д.х.н., доцент, профессор кафедры Химия и химические технологии, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
Браславский Юрий Валентинович, к.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
Губин Владимир Евгеньевич, к.т.н., доцент, зав. кафедрой, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
Козырь Дмитрий Александрович, к.т.н., доцент кафедры, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
Кучерик Галина Валентиновна, к.х.н., доцент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
Магдыч Екатерина Александровна, к.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
Матузаев Кирилл Борисович, к.т.н., зав. кафедрой ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
Ожиганова Марина Ивановна, к.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
Омельчук Юлия Аркадьевна, к.х.н., доцент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
Скидан Александр Антонович, к.т.н., доцент, профессор ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.

Учредитель и издатель:
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет».
ул. Университетская, 33. Севастополь, 299053, Российская Федерация

Рекомендован к печати Ученым советом ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС 77 – 64120 от 25.12.2015 г.

© Издание ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами **9**

Высоцкий В.Е. О решении дифференциальных уравнений математических моделей вентильных электромеханических систем с позиционно-зависимым управлением 9

Губин А.В., Губина Е.Д., Сперанский М.Ю., Лавренчук А.А., Кузнецов П.Н. Координатное устройство для автоматизации лабораторного стенда по зажиганию твердых и жидких топлив 20

Царёв В.Г, Чернявский И.С. Некоторые применения интегрального исчисления в электротехнике с использованием символьного пакета MATLAB 25

Энергетические системы и комплексы **29**

Березняк В.А., Кувшинов В.В., Касницкий А.Д., Артёменко И.Д., Шахова Н.В. Фотоэлектрические системы резервного электроснабжения для индивидуальных потребителей 29

Гайдук С.В., Царев В.Г. Расчёт резонансной частоты для системы беспроводной передачи энергии с последовательной топологией 34

Жильцов А.С., Косий А.Г., Владимиров А.С., Фролова А.Н., Власов Н.А. Возможности увеличения эффективности использования фотоэлектрических преобразователей 38

Зацаринная Т.Г., Мороз Н.А., Аникевич К.П., Неврова Е.Л., Петров А.Н. Ультразвук в технологиях борьбы с биообрастаниями в системах оборотного водоснабжения на АЭС 42

Какушина Е.Г. Нормативно-правовое регулирование отношений между государством, предприятием и энергоснабжающей организацией 55

Коломийченко В.П., Фролова А.Н. Оптимизация системы солнечного энергоснабжения для автономных потребителей 59

Комшин А.С., Якимович Б.А., Нашев Р.А., Жильцов А.С., Шахова Н.В. Технологическое развитие возобновляемой энергетики и новые воз-можности в области исследования и разработок 64

Косий А.Г., Нашев Р.А., Ивантеев И.С., Борисов Б.Е., Шахова Н.В. Стратегия развития солнечной энергетики в Крымском регионе 68

Малюк Е.Г. Системные взаимосвязи между производителями и потребителями электроэнергии 74

Фролова А.Н., Коломийченко В.П. Исследование характеристик ветроэлектрической установки для генерации электрической энергии на территории Крымского региона 77

Теоретическая и прикладная теплотехника **82**

Вологдин С.В., Якимович Б.А. Методика расчета мощности основного и резервного источников энергии на основе уравнения теплового баланса здания 82

Корнеева Н.К. Оценка надежности стенок напорного трубопровода питательной воды ВПЭН блок №1 89

Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды **93**

Довгаленко В.В. Определение показателя преломления стеклянной пластины интерференционным методом 93

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 99

Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность **106**

Качур С.А. Метод контроля мощности каналов в реакторе типа РБМК на основе показаний внезонных детекторов 106

Качур С.А. Метод диагностики формы энергораспределения для реакторов типа РБМК 110

Ташлыков О.Л., Сесекин А.Н., Токманцев В.И. Сокращение времени замены ядерного топлива в реакторах на быстрых нейтронах за счет оптимизации работы механизма перегрузки 114

Шаповаленко В.В. Реакторная установка ритм-200 – сердце новых атомных ледоколов 122

Шаповаленко В.В. Проблемы утилизации парогенераторов выводимых из эксплуатации АЭС 125

Техносферная безопасность (в энергетике) **130**

Контылева Е.А. Исследование методов логической обработки информации в модулярной системе счисления для информационной безопасности 130

Контылева Е.А. Разработка методики огибающей допплеровского сигнала для идентификации человека без визуального контакта с ним 135

Фролова А.Н. Интегрированные системы безопасности – способы интеграции и возможности 139

Процессы и аппараты химических технологий **145**

Заблоцкая Е.В. Обращение с твёрдыми коммунальными отходами в Калининградской области 145

Косовская М.А., Ленивенко Н.Н. Управление состоянием атмосферного воздуха предприятием ООО «Электрон» 152

Косовская М.А., Ленивенко Н.Н. Разработка комплекса природоохранных мероприятий на предприятии ООО «БИОН» 159

Котельникова С.А. Влияние ионного состава растворов трехвалентного железа на извлечение урана при кучном выщелачивании 165

Котельникова С.А. Практика по рекультивации территорий промплощадок и комплексному использованию сырьевых ресурсов уранодобывающих предприятий 170

Для авторов **174**

CONTENTS

Automation and control of technological processes processes and productions **9**

Vysotsky V.E. On solving differential equations of mathematical models of valve electromechanical systems with position-dependent control 9

Gubin A.V., Gubina E.D., Speranskiy M.Y., Lavrenchuk A.A., Kuznetsov P.N. Coordinate device for automation of a laboratory stand for ignition of solid and liquid fuels 20

Tsarev V.G., Chernyavsky I.S. Some applications of integral calculus in electrical engineering using the MATLAB symbolic package 25

Energy systems and complexes **29**

Bereznyak V.A., Kuvshinov V.V., Kasnitsky A.D., Artemenko I.D., Shahova N.V. Photovoltaic backup power supply systems for individual consumers 29

Gaiduk S.V., Tsarev V.G. Calculation of the resonant frequency for a wireless power transmission system with a serial topology 34

Zhiltsov A.S., Kosiy A.G., Vladimirov A.S., Frolova A.N., Vlasov N.A. Opportunities to increase the efficiency of use photovoltaic converters 38

Zatsarinnaya T.G., Moroz N.A., Anikevich K.P., Nevrova E.L., Petrov A.N. Ultrasound in Biofouling Control Technologies in Circulating Water Supply Systems at Nuclear Power Plants 42

Kakushina E.G. Regulatory and legal regulation of relations between the state, the enterprise and the energy supply organization 55

Kolomiychenko V.P., Frolova A.N. Optimization of solar power supply systems for autonomous consumers 59

Komshin A.S., Yakimovich B.A., Nashev R.A., Zhiltsov A.S., Shahova N.V. Technological development of renewable energy and new opportunities in research and development 64

Kosii A.G., Nashev R.A., Ivanteev I.S., Borisov B.E., Shahova N.V. Strategy for the development of solar energy in the Crimean region 68

Maluk E.G. Systemic relationships between producers and consumers of electricity 74

Frolova A.N., Kolomiychenko V.P. Study of the operation of a wind power plant for power supply to autonomous consumers in the Crimean region 77

Theoretical and applied heat engineering **82**

Vologdin S.V., Yakimovich B.A. Power calculation method of the primary and backup energy sources based on the building's heat balance equation 82

Korneeva N.K. Assessment of the reliability of the walls of the feed water pressure pipeline VPEN block №1 89

Methods and devices for monitoring and diagnostics of materials, products, substances and the natural environment **93**

Dovgalenko V.V. Determination of the refractive index of a glass plate by the interference method 93

Tsiron M.S., Torganov D.V., Lavrenchuk A.A., Speransky M.Y., Pak A.Ya., Gubarev F.A. Electric arc synthesis of ceramic materials with simultaneous high-speed visualization 99

Nuclear power plants, fuel cycle, radiation safety **106**

Kachur S.A. A method for monitoring the power of channels in an high-power channel reactor based on the readings of extraterrestrial detectors 106

Kachur S.A. A method for diagnosing the form of energy distribution for high-power channel reactors 110

Tashlykov O.L., Sesekin A.N., Tokmantsev V.I. Reducing the time to replace nuclear fuel in reactors at fast neutrons due to optimization of the refueling machine 114

Shapovalenko V.V. The reactor plant ritm-200 is the heart of the new nuclear icebreakers 122

Shapovalenko V.V. Problems of steam generator utilization during decommissioning of nuclear power plants 125

Technosphere safety (in the energy sector) **130**

Kontyleva E.A. Research of methods of logical information processing in the modular number system for information security 130

Kontyleva E.A. Development of a Doppler signal envelope technique for identifying a person without visual contact with him 135

Frolova A.N Integrated security systems – integration methods and capabilities 139

Processes and devices of chemical technologies **145**

Zablozkaya E.V. Solid municipal waste management in the Kaliningrad region 145

Kosovskaya M.A., Lenivenko N.N. Management of the atmospheric air condition by the company "Electron" LLC 152

Kosovskaya M.A., Lenivenko N.N. Development of a complex of environmental protection measures at the BION LLC enterprise 159

Kotelnikova S.A. Influence of the ionic composition of trivalent iron solutions on the extraction of uranium during heap leaching 165

Kotelnikova S.A. The practice of recultivation of industrial sites and complex use of raw materials of uranium mining enterprises 170

For authors **174**

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 621.313.392

О решении дифференциальных уравнений математических моделей вентильных электромеханических систем с позиционно-зависимым управлением

В.Е. Высоцкий

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская 33, г. Севастополь, 299053, Россия.vitalyvysotsky@mail.ru

Статья поступила 08.02.2024 г.; после доработки 09.02.2024 г.

Аннотация

В статье анализируются электромагнитные процессы в вентильных электромеханических системах (ВЭМС) с позиционно-зависимой коммутацией – синхронных генераторах с выпрямителем, синхронных двигателях с зависимыми инверторами напряжения или тока, параметрических цепях со взаимно индуктивными связями. Математическая модель, описывающая ВЭМС, содержит дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами. Анализ проводится методами теории активных параметрических электрических цепей применительно к двухконтурной схеме замещения.

Ключевые слова: вентильная электромеханическая система, синхронная машина, зависимый преобразователь, позиционное управление, параметрическая цепь, математические модели, электромагнитные процессы.

On solving differential equations of mathematical models of valve electromechanical systems with position-dependent control

V.E. Vysotsky

FSAEA Sevastopol State University, 33 University street., Sevastopol, 299053, Russia, vitalyvysotsky@mail.ru

Paper received 08.02.2024 y.; received in final form 09.02.2024 y.

Abstract

The article analyzes electromagnetic processes in valve electromechanical systems (VEMS) with position-dependent switching – synchronous generators with a rectifier, synchronous motors with independent voltage or current inverters, parametric circuits with mutually inductive connections. The mathematical model describing the VEMS contains differential equations with periodic coefficients. The analysis is carried out using the methods of the theory of active parametric electrical circuits in relation to a two-circuit replacement circuit.

Keywords: valve electromechanical system, synchronous machine, dependent converter, positional control, parametric circuit, mathematical models electromagnetic processes.

Введение

Анализ электромагнитных процессов в вентильной электромеханических системах (ВЭМС) с позиционно-зависимой коммутацией – синхронных генераторах с выпрямителем (рис. 1), синхронных двигателях с зависимыми инверто-

рами напряжения или тока (рис.2), активных параметрических цепях со взаимно индуктивными связями, как и в любом другом электромашинно-вентильном комплексе, является одной из самых существенных и трудоемких задач. Эти трудности применительно к ВЭМС обусловлены, прежде всего, малым числом фаз и дискретным характером подключения их к источнику питания.

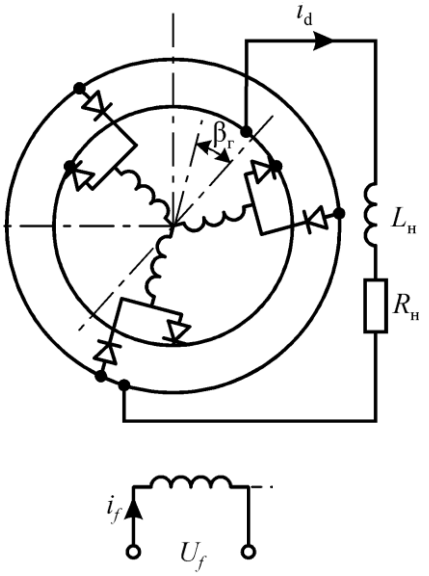


Рис. 1. Электромагнитная схема системы «синхронный генератор - выпрямитель»

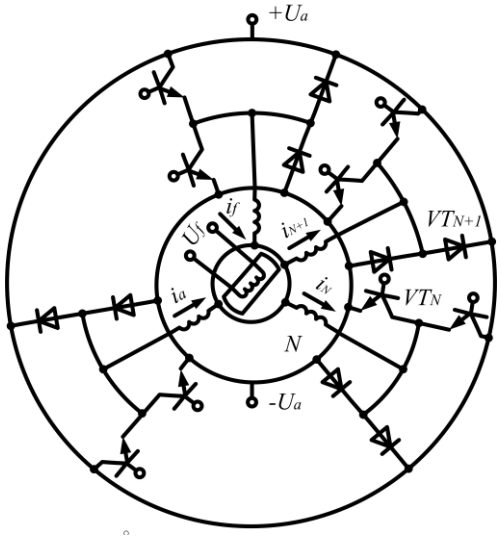


Рис. 2. Электромагнитная схема системы «синхронный двигатель – зависимый инвертор»

Математическая модель (ММ), описывающая ВЭМС, содержит дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами, которые не приводятся при принятых допущениях к системе с постоянными коэффициентами даже с помощью координатных преобразований, используемых в теории электромеханических преобразователей переменного тока.

Поэтому в данной статье анализ электромагнитных процессов проводится методами теории параметрических электрических цепей применительно к двухконтурной электрической схеме замещения.

Рассмотрим электромагнитную схему и математическую модель ВЭМС при питании от источника постоянного или пульсирующего тока для случая мгновенной коммутации вентилей зависимого инвертора (ЗИ).

Вне зависимости от типа обмотки и схемы ЗИ в произвольный момент времени к входным зажимам источника постоянного тока подключаются два узла силовой обмотки, и в этой цепи, образуемой также двумя вентильными ветвями, протекает рабочий ток $i_{a.}$

На рабочем интервале ротор поворачивается на угол $\theta_2 = \dfrac{\pi}{m}$, который соответствует временному интервалу постоянства структуры. Следствием этого является тот факт, что производные магнитной коэнергии и потокосцепления по координате θ_2 равны нулю

$$\frac{\partial W'_e}{\partial \theta_2} = 0; \quad \frac{\partial \psi}{\partial \theta_2} = 0, \tag{1}$$

потому что геометрическая конфигурация системы токов периодически воспроизводится в начале каждого нового интервала постоянства структуры $\dfrac{2\pi}{mn}$. Здесь m – число фаз силовой обмотки, а n – периодичность работы ЗИ.

Начальное значение угловой координаты оси токоприема следует отсчитывать от оси, перпендикулярной оси потока возбуждения, то есть от геометрической нейтрали. В этом случае уравнения ММ будут соответствовать уравнениям обобщенной ВЭМС постоянного тока.

Электромагнитная схема ВЭМС, приведенная на рис. 3, отражает специфику электромеханического преобразования, связанную с колебательным характером движения оси эквивалентной силовой обмотки. В физическом аналоге этот факт учитывается изменением угловой координаты φ, эквивалентной оси токоприема с частотой изменения $\dot{\varphi}$ в диапазоне

$$\frac{\pi}{mnp} \pm \beta_0 \le \varphi \le \frac{\pi}{mnp} \pm \beta_0, \tag{2}$$

причем такое изменение совершается с частотой, определяемой изменением мгновенного

значения угла опережения (запаздывания) включения вентилей β, то есть с частотой вращения.

Функции изменения координаты φ приведены на рис. 3 для различных режимов изменения частоты вращения в статике $(\dot{\theta}_2 = \text{const})$ и в динамике $(\dot{\theta}_2 = \text{var})$. Следует отметить, что положение оси эквивалентной силовой обмотки относительно геометрической нейтрали поля определяется координатой φ =β + β~, а положение оси обмотки возбуждения относительно продольной оси - координатой β~, где

$$-\frac{\pi}{mnp} \le \beta_{\sim} \le \frac{\pi}{mnp}, \quad \dot{\beta}_{\sim} = \dot{\theta}_2. \qquad (3)$$

Если учитывать, что функция φ аналитична на интервале неизменности структуры ВЭМС и имеет разрывы на границах интервалов, то для принудительной мгновенной коммутации вентилей ЗИ математическая модель электромагнитных процессов представляется как

$$[L_{a=} + L_a(\varphi)]\frac{di_a}{dt} + M_{af}(\varphi)\frac{di_f}{dt} + R_a i_a + \dot{\theta}_2\left(\frac{1}{2}\frac{\partial L_a(\varphi)}{\partial \varphi} i_a + \right.$$
$$\left. + \frac{\partial M_{af}}{\partial \varphi} i_f\right) - \dot{\beta}\left(\frac{1}{2}\frac{\partial L_a}{\partial \varphi} i_a - \frac{\partial M_{af}}{\partial \varphi} i_f\right) = U_a(t);$$
$$L_f \frac{di_f}{dt} + M_{fa}(\varphi)\frac{di_a}{dt} + R_f i_f + \dot{\varphi}_{\sim}\frac{\partial M_{fa\sim}(\varphi)}{\partial \varphi_{\sim}} i_a =$$
$$= U_f(t). \qquad (4)$$

Переход от машины с колеблющимися осями обмоток и полюсов к классической модели машины постоянного тока осуществляется увеличением числа фаз (секций) якорной обмотки, причем противо-э.д.с. ВЭМС, направленная встречно напряжению питания, выражается компонентой

$$e_a = \dot{\theta}_2 \frac{\partial M_{af}(\varphi)}{\partial \varphi} i_f,$$

а внутренняя реактивная противо-э.д.с., генерирующая тормозной реактивный момент и направленная встречно с противо-э.д.с. и согласно с напряжением сети – компонентой

$$\frac{1}{2}\dot{\theta}_2 \frac{\partial L_a}{\partial \varphi} i_a$$

Цель и задачи работы

Цель заключается в получении аналитического решения системы уравнений ММ ВЭМС в открытой форме при общепринятых допущениях.

Это достигается:

во-первых, представлением кривых токов силовой обмотки и обмотки возбуждения в виде гармонических рядов и анализом влияния степени усечения ряда на «полезную» составляющую и спектр гармоник;

во-вторых, оценкой качественного и количественного состава токов, протекающих по обоим контурам ВЭМС;

в-третьих, получением приближенного аналитического решения числового определителя произвольного порядка для основной составляющей потребляемого тока.

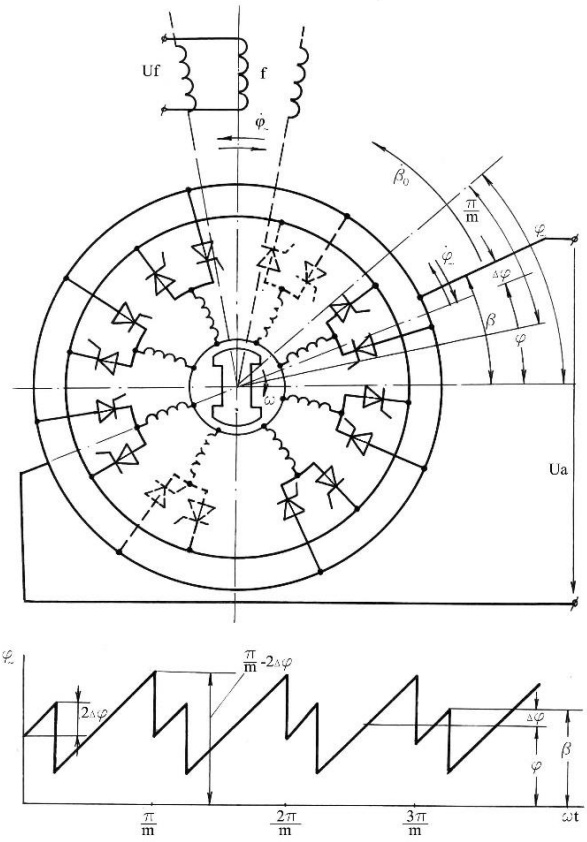


Рис. 3. Электромагнитная схема ВЭМС с учетом коммутации (а) и временные диаграммы изменения координаты оси токоприема (б)

Результаты исследования

Электромагнитные процессы в электромашинно-вентильной системе рассмотрим на основе метода исследования двигательного режима ВЭМС, изложенного в [1].

Для использования методов математической теории электрических машин [2-4] приве-

дем параметры ВЭМС к осям *a* и *d* эквивалентной силовой обмотки и обмотки возбуждения, а также определим изменение этих параметров на межкоммутационном и коммутационном интервалах.

Допущения, принятые в этом случае, состоят в следующем:

1. Распределение индукции по расточке якоря синусоидально.
2. Магнитная система электрической машины не насыщена.
3. Вентили ЗИ включаются и выключаются за пренебрежимо малый отрезок времени.

Обобщая изложенное выше, а также учитывая, что период повторяемости изменения коэффициентов индуктивности и взаимной индуктивности строго фиксирован сигналами о положении ротора, можно считать, что параметры ВЭМС являются переменными периодическими функциями угла поворота ω*t*. Поэтому эти функции могут быть представлены гармоническими рядами Фурье приведенными в табл. 1.

Таким образом, параметры ВЭМС представляют собой сумму постоянных и переменных составляющих, величина и период изменения которых зависят от числа фаз обмотки якоря, угла опережения включения вентилей ЗИ, схемы самого коммутатора (одно- или двухполупериодная).

В частности, выражения в табл. 1 соответствуют двухполупериодной схеме ЗИ.

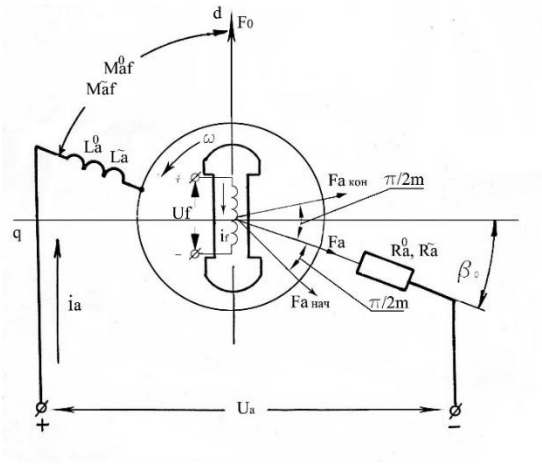


Рис.4. Эквивалентная схема ВЭМС в дискретно-ориентированных осях координат

Анализ выражений функций параметров из табл. 1 показывает, что в сравнении с традиционным коллекторным электромеханическим преобразователем (ЭМП), ВЭМС характеризуется дополнительной модуляцией параметров. Учитывая это обстоятельство, можно предложить эквивалентную схему замещения ВЭМС, представленную на рис. 4.

Особенностью такой схемы, которая аналогична схеме замещения коллекторного ЭМП, является наличие кроме постоянных L_0, M_0^a, M_0^d еще и переменных составляющих параметров $L^{\sim}(\omega t)$, $M^{a\sim}(\omega t)$, $M^{d\sim}(\omega t)$. При этом постоянные составляющие являются интегральными характеристиками параметров ВЭМС в среднем за интервал π/m. Переменные составляющие определяют мгновенные значения изменяющихся параметров. Поэтому в схему замещения ВЭМС вводится дополнительная обмотка, соответствующая периодическому изменению индуктивности и взаимной индуктивности обмоток ВЭМС.

Отметим, что гармонические ряды в первых пяти строках табл. 1 включают постоянные составляющие, поскольку они присутствуют в первообразных функциях координаты φ. В то же время ряд в шестой строке не содержит постоянной составляющей из-за отсутствия ее в первообразной функции координаты φ. Подстановка функций параметров в систему уравнений (4) позволяет получить развернутую систему дифференциальных уравнений электрического равновесия ВЭМС для двигательного режима

$$\left[L_0+\sum_{k=1}^{\infty}\left(\dot{L}_k\mathrm{e}^{jk\theta t}+\overset{*}{L}_k\mathrm{e}^{-jk\theta t}\right)\right]\frac{di_a}{dt}+$$
$$+\left[R_a+\chi_{L_0}+\sum_{k=1}^{\infty}\left(\dot{\chi}_{L,k}\mathrm{e}^{jk\theta t}+\overset{*}{\chi}_{L,k}\mathrm{e}^{-jk\theta t}\right)\right]i_a+$$
$$+\left[M_0^a+\sum_{k=1}^{\infty}\left(\dot{M}_k^a\mathrm{e}^{jk\theta t}+\overset{*}{M}_k^a\mathrm{e}^{-jk\theta t}\right)\right]\frac{di_f}{dt}+$$
$$+\left[\chi_{M_0}+\sum_{k=1}^{\infty}\left(\dot{\chi}_{M,k}^a\mathrm{e}^{jk\theta t}+\overset{*}{\chi}_{M,k}^a\mathrm{e}^{-jk\theta t}\right)\right]i_f=U_a;$$
$$L_f\frac{di_a}{dt}+R_fi_f+\left[M_0^d+\sum_{k=1}^{\infty}\left(\dot{M}_k^d\mathrm{e}^{jk\theta t}+\overset{*}{M}_k^d\mathrm{e}^{-jk\theta t}\right)\right]\frac{di_a}{dt}+$$
$$+\left[\sum_{k=1}^{\infty}\left(\dot{\chi}_{M,k}^d\mathrm{e}^{jk\theta t}+\overset{*}{\chi}_{M,k}^d\mathrm{e}^{-jk\theta t}\right)\right]i_a=U_f. \quad (5)$$

Анализируя полученную систему дифференциальных уравнений (5), можно видеть, что напряжение источника питания силовой цепи включает в себя:

а) падение напряжения на индуктивности силовой обмотки от изменения тока, потребляемого ВЭМС;

Таблица 1. *Функции параметров ВЭМС*

Общее выражение параметра	Постоянная составляющая	Переменные составляющие
1	*2*	*3*
$L_{a\sim}\cos 2\varphi = L_0 + \sum_{k=1}^{\infty}\left[\dot{L}_k e^{jk\theta t} + \overset{*}{\dot{L}}_k e^{-jk\theta t}\right]$, где $\theta = mn\omega$	$L_0 = \frac{m}{\pi}2\cos^2\pi/2m\cdot(L_d - L_q)\sin(\frac{\pi}{m}-2\Delta\varphi)\cos 2(\beta_0 -$ $+\frac{m}{\pi}(L_d - L_q)(1+2\cos\frac{\pi}{m})\cos\frac{\pi}{2m}\sin 2\Delta\varphi\cos 2(\beta_0 - \Delta\varphi$	$\dot{L}_k = 0{,}5\cdot(L_k^{\cos} - jL_k^{\sin})$; $\overset{*}{\dot{L}}_k = 0{,}5\cdot(L_k^{\cos} + jL_k^{\sin})$; $L_k^{\cos} = \frac{m}{\pi}2\cos^2\pi/2m\cdot(L_d - L_q)\sin(\frac{\pi}{m}-2\Delta\varphi)\cos 2(\beta_0 - \Delta\varphi)\frac{1}{m^2k^2-1}+$ $+\frac{m}{\pi}(L_d - L_q)(1+2\cos\frac{\pi}{m})\cos\frac{\pi}{2m}\sin 2\Delta\varphi\cos 2(\beta_0 - \Delta\varphi)\frac{1}{m^2k^2-1}$ $L_k^{\sin} = \frac{m}{\pi}2\cos^2\pi/2m\cdot(L_d - L_q)\sin(\frac{\pi}{m}-2\Delta\varphi)\sin 2(\beta_0 - \Delta\varphi)\frac{mk}{m^2k^2-}$ $+\frac{m}{\pi}(L_d - L_q)(1+2\cos\frac{\pi}{m})\cos\frac{\pi}{2m}\sin 2\Delta\varphi\sin 2(\beta_0 - \Delta\varphi)\frac{mk}{m^2k^2}$
$\omega\frac{\partial}{\partial\varphi}(L_{a\sim}\cos 2\varphi) = \chi_L(\omega t) =$ $= \chi_{L_0} + \sum_{k=1}^{\infty}\left[\dot{\chi}_{L,k}e^{jk\theta t} + \overset{*}{\dot{\chi}}_{L,k}e^{-jk\theta t}\right]$	$\chi_{L_0} = \frac{m}{\pi}2\cos^2\pi/2m\cdot(L_d - L_q)\sin(\frac{\pi}{m}-2\Delta\varphi)\sin 2(\beta$ $+\frac{m}{\pi}(L_d - L_q)(1+2\cos\frac{\pi}{m})\cos\frac{\pi}{2m}\sin 2\Delta\varphi\sin 2(\beta_0 -$	$\dot{\chi}_{L,k} = 0{,}5\cdot(\chi_{L,k}^{\cos} - j\chi_{L,k}^{\sin})$; $\overset{*}{\dot{\chi}}_{L,k} = 0{,}5\cdot(\chi_{L,k}^{\cos} + j\chi_{L,k}^{\sin})$; $\chi_{L,k}^{\cos} = \omega\frac{m}{\pi}2\cos^2\pi/2m\cdot(L_d - L_q)\sin(\frac{\pi}{m}-2\Delta\varphi)\sin 2(\beta_0 - \Delta\varphi)\frac{1}{m^2k^2-1}$ $+\omega\frac{m}{\pi}(L_d - L_q)(1+2\cos\frac{\pi}{m})\cos\frac{\pi}{2m}\sin 2\Delta\varphi\sin 2(\beta_0 - \Delta\varphi)\frac{1}{m^2k^2-1}$; $\chi_{L,k}^{\sin} = \omega\frac{m}{\pi}2\cos^2\pi/2m\cdot(L_d - L_q)\sin(\frac{\pi}{m}-2\Delta\varphi)\cos 2(\beta_0 - \Delta\varphi)\frac{mk}{m^2k^2-1}$ $+\omega\frac{m}{\pi}(L_d - L_q)(1+2\cos\frac{\pi}{m})\cos\frac{\pi}{2m}\sin 2\Delta\varphi\cos 2(\beta_0 - \Delta\varphi)\frac{mk}{m^2k^2-1}$
$M_{qf\sim}\sin\varphi = M_0^a + \sum_{k=1}^{\infty}\left[\dot{M}_k^a e^{jk\theta t} + \overset{*}{\dot{M}}_k^a e^{-jk\theta t}\right]$	$M_0^a = \frac{m}{\pi}M_m 2\cos\pi/2m\sin(\frac{\pi}{2m}-\Delta\varphi)\sin(\beta_0 - \Delta\varphi)+$ $+\frac{m}{\pi}M_m(1+2\cos\pi/m)\sin\Delta\varphi\sin(\beta_0 - \Delta\varphi)$	$\dot{M}_k^a = 0{,}5\cdot(M_k^{a,\cos} - jM_k^{a,\sin})$; $\overset{*}{\dot{M}}_k^a = 0{,}5\cdot(M_k^{a,\cos} + jM_k^{a,\sin})$; $M_k^{a_{\cos}} = \frac{2m}{\pi}M_m 2\cos\pi/2m\sin(\frac{\pi}{2m}-\Delta\varphi)\sin(\beta_0 - \Delta\varphi)\frac{1}{4m^2k^2-1}+$ $+\frac{2m}{\pi}M_m\cdot(1+2\cos\pi/m)\sin\Delta\varphi\sin(\beta_0 - \Delta\varphi)\frac{1}{4m^2k^2-1}$; $M_k^{a^{\sin}} = \frac{2m}{\pi}M_m 2\cos\pi/2m\sin(\frac{\pi}{2m}-\Delta\varphi)\cos(\beta_0 - \Delta\varphi)\frac{2mk}{4m^2k^2-1}+$ $+\frac{2m}{\pi}M_m\cdot(1+2\cos\pi/m)\sin\Delta\varphi\cos(\beta_0 - \Delta\varphi)\frac{2mk}{4m^2k^2-1}$

1	2	3
$M_{af\sim}\cos\varphi = M_0^d + \sum_{k=1}^{\infty}\left[\dot{M}_k^d e^{jk\theta t} + \overset{*}{M}_k^d e^{-jk\theta t}\right]$	$M_0^d = \frac{m}{\pi}M_m 2\cos\pi/2m\sin(\frac{\pi}{2m}-\Delta\varphi)\cos(\beta_0-\Delta\varphi)+$ $+\frac{m}{\pi}(1+2\cos\pi/m)\sin\Delta\varphi\cos(\beta_0-\Delta\varphi)$	$\dot{M}_k^d = 0{,}5\cdot\left(M_k^{d,\cos} - jM_k^{d,\sin}\right);\ \overset{*}{M}_k^d = 0{,}5\cdot\left(L_k^{d,\cos} + jM_k^{d,\sin}\right);$ $M_k^{d^{\cos}} = \frac{2m}{\pi}M_m 2\cos\pi/2m\sin(\frac{\pi}{2m}-\Delta\varphi)\cos(\beta_0-\Delta\varphi)\frac{1}{4m^2k^2-1}+$ $+\frac{2m}{\pi}(1+2\cos\pi/m)\sin\Delta\varphi\cos(\beta_0-\Delta\varphi)\frac{1}{4m^2k^2-1};$ $M_k^{d^{\sin}} = \frac{2m}{\pi}M_m 2\cos\pi/2m\sin(\frac{\pi}{2m}-\Delta\varphi)\sin(\beta_0-\Delta\varphi)\frac{2mk}{4m^2k^2-1}+$ $+\frac{2m}{\pi}(1+2\cos\pi/m)\sin\Delta\varphi\sin(\beta_0-\Delta\varphi)\frac{2mk}{4m^2k^2-1}$
$\omega M_{af\sim}\cos\varphi = \chi_{M_0} + \sum_{k=1}^{\infty}\left[\dot{\chi}_{M,k}^a e^{jk\theta t} + \overset{*}{\chi}_{M,k}^a e^{-jk\theta t}\right]$	$\chi_{M_0} = \frac{m}{\pi}M_m 2\cos\pi/2m\sin(\frac{\pi}{2m}-\Delta\varphi)\cos(\beta_0-\Delta\varphi)+$ $+\frac{m}{\pi}M_m(1+2\cos\pi/m)\sin\Delta\varphi\cos(\beta_0-\Delta\varphi)$	$\dot{\chi}_{M,k}^a = 0{,}5\cdot\left(\chi_{M,k}^{a,\cos} - j\chi_{M,k}^{a,\sin}\right);\ \overset{*}{\chi}_{M,k}^a = 0{,}5\cdot\left(\chi_{M,k}^{a,\cos} + j\chi_{M,k}^{a,\sin}\right);$ $\chi_{M,k}^{a_{\cos}} = \omega\frac{2m}{\pi}M_m 2\cos\pi/2m\sin(\frac{\pi}{2m}-\Delta\varphi)\cos(\beta_0-\Delta\varphi)\frac{1}{4m^2k^2-1}+$ $+\omega\frac{2m}{\pi}M_m(1+2\cos\pi/m)\sin\Delta\varphi\cos(\beta_0-\Delta\varphi)\frac{1}{4m^2k^2-1};$ $\chi_{M,k}^{a^{\sin}} = \omega\frac{2m}{\pi}M_m 2\cos\pi/2m\sin(\frac{\pi}{2m}-\Delta\varphi)\sin(\beta_0-\Delta\varphi)\frac{2mk}{4m^2k^2-1}+$ $+\omega\frac{2m}{\pi}M_m\cdot(1+2\cos\pi/m)\sin\Delta\varphi\sin(\beta_0-\Delta\varphi)\frac{2mk}{4m^2k^2-1}$
$\omega\frac{\partial(M_{af\sim}\cos\varphi)}{\partial\varphi_\sim} = \chi_M^d(\omega t) = \sum_{k=1}^{\infty}\left[\dot{\chi}_{M,k}^d\cdot e^{jk\theta t} + \overset{*}{\chi}_{M,k}^d\cdot e^{-jk\theta t}\right]$	–	$\dot{\chi}_{M,k}^d = 0{,}5\cdot\left(\chi_{M,k}^{d,\cos} - j\chi_{M,k}^{d,\sin}\right);\ \overset{*}{\chi}_{M,k}^d = 0{,}5\cdot\left(\chi_{M,k}^{d,\cos} + j\chi_{M,k}^{d,\sin}\right);$ $\chi_{M,k}^{d^{\cos}} = \frac{2m}{\pi}M_m 2\cos\pi/2m\sin(\frac{\pi}{2m}-\Delta\varphi)\sin(\beta_0-\Delta\varphi)\frac{1}{4m^2k^2-1}+$ $+\frac{2m}{\pi}(1+2\cos\pi/m)\sin\Delta\varphi\sin(\beta_0-\Delta\varphi)\frac{1}{4m^2k^2-1};$ $\chi_{M,k}^{d^{\sin}} = \omega\frac{2m}{\pi}M_m 2\cos\pi/2m\sin(\frac{\pi}{2m}-\Delta\varphi)\cos(\beta_0-\Delta\varphi)\frac{2mk}{4m^2k^2-1}+$ $+\omega\frac{2m}{\pi}(1+2\cos\pi/m)\sin\Delta\varphi\cos(\beta_0-\Delta\varphi)\frac{2mk}{4m^2k^2-1}$

б) падение напряжения на активном сопротивлении силовой обмотки и э.д.с. самоиндукции, которая имеет место в случае явнополюсного ЭМП;

в) э.д.с. трансформаторную, связанную с пульсациями тока возбуждения;

г) э.д.с. вращения, наведенную в силовой обмотке магнитным полем индуктора.

Напряжение контура возбуждения включает:

а) падение напряжения на индуктивности обмотки возбуждения от изменения тока в ней;

б) падение напряжения на активном сопротивлении обмотки возбуждения;

в) э.д.с. трансформаторную, обусловленную пульсациями тока якоря;

г) переменную составляющую э.д.с. вращения.

Следует заметить, что произведение $\chi_{M_0} i_f$ в первом уравнении системы (5) представляет собой противо-э.д.с., которая аналогична э.д.с. вращения в коллекторном ЭМП постоянного тока.

Данная система дифференциальных уравнений полностью описывает ВЭМС постоянного тока, учитывая при этом модуляцию параметров машины, которая обусловлена малым числом фаз якоря и дискретным характером работы вентилей ЗИ. Эта система имеет периодические коэффициенты с разрывами первого рода при неизвестных токах, вследствие чего точное аналитическое решение ее представляется сложной математической задачей, поскольку к настоящему времени методы решения систем взаимных дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами не разработаны.

Возможно численное решение на ЭВМ с достаточной степенью точности. Однако такое решение можно получить отдельно для каждой конкретной ВЭМС со значительной затратой машинного времени.

Решение системы дифференциальных уравнений (5) сводится, как известно, к определению функций токов, протекающих в обмотках силовой и возбуждения. Аналитический метод решения следует считать более предпочтительным перед численным методом, поскольку в этом случае появляется возможность исследования и сравнительного анализа ВЭМС в достаточно широком диапазоне мощностей.

Далее представлен метод приближенного аналитического решения дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами применительно к двигательному режиму ВЭМС с принудительной коммутацией вентилей ЗИ.

Этот метод основан на теории систем с переменными параметрами, базирующейся на использовании уравнений типа Хилла. Он развит относительно электрических цепей в работе [5]. Сходимость рядов Фурье, описывающих параметры ВЭМС, дает основание использовать эти ряды при преобразовании дифференциальных уравнений (5) и перейти, в результате, к рекуррентным уравнениям с дальнейшим решением систем алгебраических уравнений.

Одним из существенных моментов при решении системы (5) является определение вида решения. Как показано в [1] и подтверждено экспериментальными исследованиями, вынужденные составляющие токов обмоток силовой и возбуждения, определяющие установившейся режим работы ВЭМС, являются периодическими функциями и могут быть записаны в виде

$$i_a = I_a^0 + \sum_{S=1}^{\infty} I_a^S \cos\left(S\theta t + \varphi_a^s\right);$$

$$i_f = I_f^0 + \sum_{S=1}^{\infty} I_f^S \cos\left(S\theta t + \varphi_f^s\right), \qquad (6)$$

где S – натуральный ряд чисел от -∞ до ∞;

$\theta = mn\omega$.

Представим эти ряды в комплексной форме записи

$$i_{a,f} = 0{,}5 \sum_{S=-\infty}^{\infty} \left[\dot{I}_{a,f}^S \cdot e^{jS\theta t} + \overset{*}{I}_{a,f}^S \cdot e^{-jS\theta t} \right], \qquad (7)$$

где $\dot{I}_{a,f}^S = I_{a,f} \cdot e^{j\varphi_{a,f}^S}$;

$\overset{*}{I}_{a,f}^S = I_{a,f} e^{-j\varphi_{a,f}^S}$.

Здесь индексы a и f указывают на принадлежность амплитуд токов к контурам обмоток силовой и индуктора соответственно.

Правую часть уравнений в (5), представляющую собой напряжение, приложенное к контурам силовой обмотки и обмотки возбуждения, также можно записать в виде

$$U_{a,f} = 0{,}5\left[U_{a,f} e^{jS\theta t} + U_{a,f} e^{-jS\theta t}\right]. \qquad (8)$$

Следует отметить, что для ВЭМС, обмотки которой подключены к зажимам источников постоянного напряжения, справедливы соотношения

$U_{a,f} \neq 0$ при $S = 0$;

$U_{a,f} = 0$ при $S \neq 0$.

В формуле (7) представлены по два взаимно сопряженных комплексных числа. Решение системы (5) следует искать для вещественных составляющих токов и, следовательно, при учете только вещественных составляющих напряжений. После подстановки (7) и (8) в (5) получим следующую систему уравнений

$$\sum_{S=-\infty}^{\infty}\Bigg[\, jS\theta\Big(L_0\dot I_a^S e^{jS\theta t}+\dot I_a^S\sum_{k=1}^{\infty}\dot L_k e^{j(S+k)\theta t}+\dot I_a^S\sum_{k=1}^{\infty}\overset{*}{L}_k e^{j(S-k)\theta t}$$
$$+\Big(R_a+\chi_{L_0}\Big)\dot I_a^S e^{jS\theta t}+\dot I_a^S\sum_{k=1}^{\infty}\dot\chi_{L,k}e^{j(S+k)\theta t}+\dot I_a^S\sum_{k=1}^{\infty}\overset{*}{\chi}_{L,k}e^{j(S-$$
$$+jS\theta\Big(M_0^a\dot I_f^S e^{jS\theta t}+\dot I_f^S\sum_{k=1}^{\infty}\dot M_k^a e^{j(S+k)\theta t}+\dot I_f^S\sum_{k=1}^{\infty}\overset{*}{M}_k^a e^{j(S-k)\theta t}$$
$$+\chi_{M_0}\dot I_f^S e^{jS\theta t}+\dot I_f^S\sum_{k=1}^{\infty}\dot\chi_{M,k}^a e^{j(S+k)\theta t}+\dot I_f^S\sum_{k=1}^{\infty}\overset{*}{\chi}_{M,k}^a e^{j(S-k)\theta t}\Bigg]=$$
$$=U_a e^{jS\theta t},$$
$$\sum_{S=-\infty}^{\infty}\big[\, js\theta L_f\dot I_f^S e^{jS\theta t}+R_f\dot I_f^S e^{jS\theta t}+js\theta M_0^d\dot I_a^S e^{jS\theta t}+$$
$$+js\theta\dot I_a^S\sum_{k=1}^{\infty}\dot M_k^d e^{j(S+k)\theta t}+js\theta\dot I_a^S\sum_{k=1}^{\infty}\overset{*}{M}_k^d e^{j(S-k)\theta t}+$$
$$+\dot I_a^S\sum_{k=1}^{\infty}\dot\chi_{M,k}^d e^{j(S+k)\theta t}+\dot I_a^S\sum_{k=1}^{\infty}\overset{*}{\chi}_{M,k}^d e^{j(S-k)\theta t}=U_f e^{jS\theta t}. \tag{9}$$

Во втором, пятом, восьмом, одиннадцатом слагаемых первого уравнения заменим S на $S'=S-k$, а в третьем, шестом, девятом, двенадцатом слагаемых - на $S''=S-k$.

Во втором уравнении замену S на $S'=S+k$ проведем в четвертом и шестом слагаемых, а в пятом и седьмом слагаемых заменим S на $S''=S+k$. После преобразований получим для уравнений силовой обмотки и обмотки возбуждения

$$\sum_{S=-\infty}^{\infty}\sum_{k=1}^{\infty}\Big\{\Big[\,j(S-k)\theta\dot L_k+\dot\chi_{L,k}\Big]\dot I_a^{(S-k)}+\Big[\,j(S-k)\theta\dot M_k^a+\dot\chi_{M,k}^a\Big]\dot I_f^{(S-k)}+$$
$$+\Big(\,jS\theta L_0+R_a+\chi_{L_0}\Big)I_a^S+\Big(\,jS\theta M_0^a+\chi_{M_0}\Big)\dot I_f^S+$$
$$+\Big[\,j(S+k)\theta\overset{*}{L}_k+\overset{*}{\chi}_{L,k}\Big]\dot I_a^{(S+k)}+\Big[\,j(S+k)\theta\overset{*}{M}_k^a+\overset{*}{\chi}_{M,k}^a\Big]\dot I_f^{(S+k)}\Big\}e^{jS\theta t}=$$
$$=U_a e^{jS\theta t};$$
$$\sum_{S=-\infty}^{\infty}\sum_{k=1}^{\infty}\Big\{\Big[j(S-k)\theta\dot M_k^d+\dot\chi_M^d\Big]\dot I_a^{(S-k)}+$$
$$+jS\theta M_k^d\dot I_a^S+\Big(jS\theta L_f+R_f\Big)\dot I_f^S+$$
$$+\Big[\,j(S+k)\theta\overset{*}{M}_k^d+\overset{*}{\chi}_{M,k}^d\Big]\dot I_a^{(S+k)}\Big\}e^{jS\theta t}=U_f e^{jS\theta t} \tag{10}$$

Отметим, что в (10) проведена замена не только индекса S, как это сделано в [1], но и S, стоящего перед коэффициентами уравнений.

Так как система (10) должна удовлетворять при произвольных значениях t, ее можно представить в виде следующих рекуррентных уравнений

$$\dot\chi_L^{S,k}I_a^{(S-k)}+\dot\chi_{M,a}^{S,k}I_f^{(S-k)}+z_L^S I_a^S+\chi_{M,a}^S I_f^S+$$
$$+\overset{*}{\chi}_L^{S,k}I_a^{(S+k)}+\overset{*}{\chi}_{M,a}^{S,k}I_f^{(S+k)}=U_a,$$
$$\dot\chi_{M,d}^{S,k}I_a^{(S-k)}+\chi_{M,d}^S I_a^S+z_f^S I_f^S+\overset{*}{\chi}_{M,d}^{S,k}I_a^{(S+k)}=U_f, \tag{11}$$

где $\dot\chi_L^{S,k}=j(S-k)\theta\dot L_k+\dot\chi_{L,k}$;

$\overset{*}{\chi}_L^{S,k}=j(S+k)\theta\overset{*}{L}_k+\overset{*}{\chi}_{L,k}$;

$\dot\chi_{M,a}^{S,k}=j(S-k)\theta\dot M_k^a+\dot\chi_{M,k}^a$;

$\overset{*}{\chi}_{M,a}^{S,k}=j(S+k)\theta\overset{*}{M}_k^a+\overset{*}{\chi}_{M,k}^a$;

$Z_L^S=jS\theta L_0+R_a+\chi_{L_0}$;

$\chi_{M,q}^S=jS\theta M_0^a+\chi_{M_0}$;

$\dot\chi_{M,d}^{S,k}=j(S-k)\theta\dot M_k^d+\dot\chi_{M,k}^d$;

$\overset{*}{\chi}_{M,d}^{S,k}=j(S+k)\theta\overset{*}{M}_k^d+\overset{*}{\chi}_{M,k}^d$;

$\chi_{M,d}^S=jS\theta M_0^d$;

$Z_f^S=jS\theta L_f+R_f$.

Здесь индекс k принимает все положительные значения ряда чисел k = 1, 2, 3…∞, а S принимает значения всего натурального ряда чисел, в том числе и нуля: S = -∞…, -2, -1, 0, 1, 2, … ∞.

Система рекуррентных уравнений (11) распадается на систему алгебраических уравнений произвольного порядка (12), решение которой определяет комплексные амплитуды токов как постоянных составляющих, так и переменных, протекающих по обмоткам силовой и возбуждения ВЭМС.

Систему алгебраических уравнений ВЭМС произвольного порядка удобно представить в матричной форме, после чего ее решение на ПЭВМ можно получить с любой заранее заданной точностью.

Составляющие токов силовой обмотки и обмотки возбуждения вычисляются как

$$I_{a,f}^S=\frac{D_{a,f}^S}{D^S}, \tag{13}$$

где D^S - определитель системы (12);

$$
\begin{vmatrix}
\cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & z_L^{-2} & \chi_{M,q}^{-2} & \overset{*}{\chi}_L^{-2,1} & \chi_{M,a}^{-2,1} & \overset{*}{\chi}_L^{-2,2} & \overset{*}{\chi}_{M,a}^{-2,2} & \overset{*}{\chi}_L^{-2,3} & \overset{*}{\chi}_{M,a}^{-2,3} & \overset{*}{\chi}_L^{-2,4} & \overset{*}{\chi}_{M,a}^{-2,4} & \cdot \\
\cdot & \chi_{M,d}^{-2} & z_f^{-2} & \overset{*}{\chi}_{M,d}^{-2,1} & 0 & \overset{*}{\chi}_{M,d}^{-2,2} & 0 & \overset{*}{\chi}_{M,d}^{-2,3} & 0 & \overset{*}{\chi}_{M,d}^{-2,4} & 0 & \cdot \\
\cdot & \dot{\chi}_L^{-1,1} & \dot{\chi}_{M,a}^{-1,1} & z_L^{-1} & \chi_{M,a}^{-1} & \overset{*}{\chi}_L^{-1,1} & \overset{*}{\chi}_{M,a}^{-1,1} & \overset{*}{\chi}_L^{-1,2} & \overset{*}{\chi}_{M,a}^{-1,2} & \overset{*}{\chi}_L^{-1,3} & \overset{*}{\chi}_{M,a}^{-1,3} & \cdot \\
\cdot & \dot{\chi}_{M,d}^{-1,1} & 0 & \chi_{M,d}^{-1} & z_f^{-1} & \overset{*}{\chi}_{M,d}^{-1,1} & 0 & \overset{*}{\chi}_{M,d}^{-1,2} & 0 & \overset{*}{\chi}_{M,d}^{-1,3} & 0 & \cdot \\
\cdot & \dot{\chi}_L^{0,2} & \dot{\chi}_{M,a}^{0,2} & \dot{\chi}_L^{0,1} & \dot{\chi}_{M,a}^{0,1} & z_L^0 & \chi_{M,a}^0 & \overset{*}{\chi}_L^{0,1} & \overset{*}{\chi}_{M,a}^{0,1} & \overset{*}{\chi}_L^{0,2} & \overset{*}{\chi}_{M,a}^{0,2} & \cdot \\
\cdot & \dot{\chi}_{M,d}^{0.2} & 0 & \dot{\chi}_{M,d}^{0.1} & 0 & \chi_{M,d}^0 & z_f^0 & \overset{*}{\chi}_{M,d}^{0,1} & 0 & \overset{*}{\chi}_{M,d}^{0,2} & 0 & \cdot \\
\cdot & \dot{\chi}_L^{1,3} & \dot{\chi}_{M,a}^{1,3} & \dot{\chi}_L^{1,2} & \dot{\chi}_{M,a}^{1,2} & \dot{\chi}_L^{1,1} & \dot{\chi}_{M,a}^{1,1} & z_L^1 & \chi_{M,a}^1 & \overset{*}{\chi}_L^{1,1} & \overset{*}{\chi}_{M,a}^{1,1} & \cdot \\
\cdot & \dot{\chi}_{M,d}^{1.3} & 0 & \dot{\chi}_{M,d}^{1.2} & 0 & \dot{\chi}_{M,d}^{1.1} & 0 & \chi_{M,d}^1 & z_f^1 & \overset{*}{\chi}_{M,d}^{1,1} & 0 & \cdot \\
\cdot & \dot{\chi}_L^{2,4} & \dot{\chi}_{M,a}^{2,4} & \dot{\chi}_L^{2,3} & \dot{\chi}_{M,a}^{2,3} & \dot{\chi}_L^{2,2} & \dot{\chi}_{M,a}^{2,2} & \dot{\chi}_L^{2,1} & \dot{\chi}_{M,a}^{2,1} & z_L^2 & \chi_{M,a}^2 & \cdot \\
\cdot & \dot{\chi}_{M,d}^{2,4} & 0 & \dot{\chi}_{M,d}^{2,3} & 0 & \dot{\chi}_{M,d}^{2.2} & 0 & \dot{\chi}_{M,d}^{2,1} & 0 & \chi_{M,d}^2 & z_f^2 & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot
\end{vmatrix}
\cdot
\begin{vmatrix}
\cdot \\ \dot{I}_a^{-2} \\ \dot{I}_f^{-2} \\ \dot{I}_a^{-1} \\ \dot{I}_f^{-1} \\ \dot{I}_a^0 \\ \dot{I}_f^0 \\ \dot{I}_a^1 \\ \dot{I}_f^1 \\ \dot{I}_a^2 \\ \dot{I}_f^2 \\ \cdot
\end{vmatrix}
=
\begin{vmatrix}
\cdot \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ U_a \\ U_f \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \cdot
\end{vmatrix}
\qquad (12)
$$

$D^S_{a,f}$ - определитель, полученный из определителя D^S заменой соответствующего столбца правой частью системы (12).

D^S и $D^S_{a,f}$ - числовые определители произвольного порядка, элементами которых являются коэффициенты сходящегося ряда Фурье.

Применительно к ВЭМС эти коэффициенты определяют конструктивные параметры электромеханического преобразователя и зависят, кроме того, от режима работы - двигательного или генераторного, частоты вращения и угла опережения включения вентилей ЗИ.

Как показано в [5], наибольшее влияние на величину вычисленного определителя оказывает его центральная компонента (нулевое приближение)

$$D^0 = \begin{vmatrix} z_L^0 & \chi_{M,a}^0 \\ 0 & z_f^0 \end{vmatrix},$$

которая учитывает только постоянные составляющие параметров ВЭМС, являющиеся усредненными интегральными характеристиками ВЭМС. Поэтому при учете только нулевого приближения можно получить для *m*-фазной системы достаточно простые аналитические выражения постоянных составляющих токов ВЭМС.

$$I_a^0 = \frac{U_a - I_f^0 \omega M_f \frac{2m}{\pi} \sin\frac{\pi}{m} \cos\beta_0}{R_a + \omega\left(L_d - L_q\right)\frac{4m}{\pi}\cos^2\frac{\pi}{2m}\sin\frac{\pi}{m}\sin 2\beta_0}, \quad (14)$$

$$I_f^o = \frac{U_f}{R_f}. \quad (15)$$

Полученные формулы близки к выражениям, приведенными в [6], в которых ВЭМС также рассматривается с позиций ЭМП постоянного тока. Это совпадение косвенно подтверждает правомерность предложенного метода исследования электромагнитных процессов в ВЭМС. Отличие заключается в том, что в предложенных выражениях знак угла β_0 зависит от того, какая коммутация (опережающая или запаздывающая) имеет место при работе ВЭМС.

Опережающая коммутация, которая является предпочтительной при работе ВЭМС в двигательном режиме, предопределяет отрицательное значение угла β_0, поэтому перед вторым слагаемым в знаменателе (14) появится знак минус и при той же частоте вращения ток силовой обмотки явнополюсного ЭМП будет больше тока аналогичного ему неявнополюсного. Это подтверждается и рассмотрением процесса электромеханического преобразования энергии: при опережающей коммутации реактивная составляющая момента, создаваемая при роторе явнополюсной конструкции ЭМП, является отрицательной и, следовательно, при прочих равных условиях ток в такой ВЭМС должен быть увеличен.

Выражения (14) и (15) в целом корректно описывают функционирование ВЭМС, хотя они являются приближенными и могут быть уточнены при решении определителей более высокого ранга.

Выводы

1. Предложен обобщенный подход к анализу вентильных электромеханических систем с позиционно-зависимой принудительной и естественной коммутацией, как активных взаимоиндуктивных цепей с переменными параметрами, имеющими разрывы первого рода.
2. Приведен метод решения дифференциальных уравнений электромагнитных процессов с переменными коэффициентами в открытой форме при заранее обусловленном решении в форме ряда гармонических составляющих.
3. Получено аналитическое решение для нулевого приближения и показана возможность получения уточненных значений переменных – токов контуров ВЭМС с заранее заданной точностью.

Список литературы

1. Высоцкий В.Е. Математическое моделирование вентильных двигателей с искусственной коммутацией /В.Е. Высоцкий - Самара: СамГТУ, 2004. - 348 с.
2. Лебедев Н.И. Вентильные электрические машины**.** Отв. ред. И.А. Глебов / Н.И. Лебедев, В.М. Гандшу, Я.И. Явдошак. // РАН. Науч. исслед. ин-т электромашиностроения. - СПб.: Наука, 1996 – 352 с.
3. Hemati Neuram, Leu S. A complete model characterization of brushless d. c. motor // IEEE Trans. Power Ind. Appl., 1992. 28. N. 1, pf. P. 172 – 182.
4. Высоцкий В.Е., Тулупов П.В. Математические модели динамики неголономных электромеханотронных систем / В.Е. Высоцкий, П.В. Тулупов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия "Технические науки". – 2002. - №19. - С. 54-63.
5. Тафт В.А. Спектральные методы расчета нестационарных цепей и систем / В.А. Тафт. М.: Энергия, 1978. 272 с.
6. Лутидзе Ш.И. Введение в динамику синхронных

машин и машинно-полупроводниковых систем / Ш. И. Лутидзе, Г.В. Михневич, В.А. Тафт // М.: Наука, 1973. - 338 с.

References

1. Vysotsky V.E. Matematicheskoe modelirovanie ventil’nih dvigateley s iskusstvennoy kommutatsiey [Mathematical modeling of valve motors with artificial switching]. Samara, SamSTU, 2004. - 348 p.
2. Lebedev N.I., Gandshu V.M., Yavdoshak Ya.I., Ed. by I.A. Glebov. Ventilnie elektricheskie mashini [Valve electric machines]. RAS. Scientific research. Institute of Electrical Engineering. St. Petersburg: Nauka Publ., 1996. 352 p.
3. Hemati Neuram, Leu S. A complete model characterization of brushless d. c. motor // IEEE Trans. Power Ind. Appl., 1992. 28. N. 1, pf. P. 172 – 182.
4. Vysotsky V.E., Tulupov P.V. Matematicheskie modeli dinamiki negolonomnyh elektromekhanotronnyh sistem [Mathematical models of dynamics of nonholonomic electromechanotronic systems] Bulletin of the Samara State Technical University. The series "Technical Sciences". - 2002. - No. 19. - pp. 54-63. (In Russ.)
5. Taft V.A. Spektral’nye metody rascheta nestatsionarnyh tsepei i sistem [Spectral methods for calculating nonstationary circuits and systems]. M.: Energiya, 1978. 272 p.
6. Lutidze Sh.I., Mikhnevich G.V., Taft V.A. Vvedenie v dinamiku sinkhronnyh mashin i mashinno-poluprovodnikovyh sistem [Introduction to the dynamics of synchronous machines and machine-semiconductor systems]. M.: Nauka, 1973. - 338 p.

УДК: 66-2

Координатное устройство для автоматизации лабораторного стенда по зажиганию твердых и жидких топлив

Губин А.В.[1], Губина Е.Д. [1], Сперанский М.Ю.[1], Лавренчук А.А. [1], Кузнецов П.Н. [1]
[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, 299053, Россия, e-mail: avgubin@mail.sevsu.ru, edgubina@mail.sevsu.ru, mysperanskiy@mail.sevsu.ru, aalavrenchuk@mail.sevsu.ru, PNKuznetsov@sevsu.ru.

Статья поступила 26.01.2024 г.; после доработки 29.01.2024 г.

Аннотация

В статье излагаются результаты разработки координатного устройства, предназначенного для автоматизации процесса подачи образцов топлива в лабораторный реактор при проведении экспериментальных исследований реакционной способности и характеристик горения твердых и жидких видов топлива. В качестве исполнительного механизма реализована система на базе гибридного шагового электродвигателя, обеспечивающая программную регулировку пространственно-временных параметров подачи образцов топлива в рабочую камеру. Экспериментальная верификация разработанного устройства подтвердила эффективность его применения в составе лабораторных установок для повышения точности и воспроизводимости исследований кинетических и термохимических характеристик процессов горения.

Ключевые слова: твердое топливо, автоматизация, сжигание, реакционная способность.

Coordinate device for automation of a laboratory stand for ignition of solid and liquid fuels

Gubin A.V. [1], Gubina E.D.[1]., Speranskiy M.Y.[1], Lavrenchuk A.A. [1], Kuznetsov P.N. [1]
[1]Sevastopol State University, Sevastopol, 299053, Russia, e-mail: avgubin@mail.sevsu.ru, edgubina@mail.sevsu.ru, mysperanskiy@mail.sevsu.ru, aalavrenchuk@mail.sevsu.ru, PNKuznetsov@sevsu.ru.

Received 26.01.2024 y.; received in final form 29.01.2024 y.

Abstract

This paper presents the development of a coordinate device to automate fuel sample feeding to a reactor for experimental studies of solid and liquid fuel combustion. A two-phase stepper motor system with microcontroller control is implemented, enabling software regulation of fuel sample spatial-temporal supply parameters into the reaction chamber. Experimental verification confirmed the device efficiency and potential for improving accuracy and reproducibility of combustion process investigations in laboratory setups.

Keywords: solid fuel, automation, combustion, reactivity.

Введение

Существование современного человека трудно представить без электроэнергии. Количество потребляемых технических устройств увеличивается, отчего растут и производственные мощности предприятий.

Так, по данным Росстата [1], генерация электроэнергии в Российской Федерации по итогам 2022 года выросла на 0,6 % по сравнению с 2021 годом и достигла 1167 млрд кВт*ч. В то же время рост потребления наблюдается во всем мире, так, по данным EnerData [2], устойчивый рост энергопотребления по итогам на 2022 год в

Индии составил 7,3 %, в Китае – 3 %, США – 1,8 %.

На рисунках 1-2 представлены статистические данные по потреблению энергии в мире.

Не стоит забывать и про возможность исчерпания традиционных природных ресурсов, что говорит о востребованности ресурсоэффективного использования данных видов.



Рис. 1. Мировое потребление по типу энергии

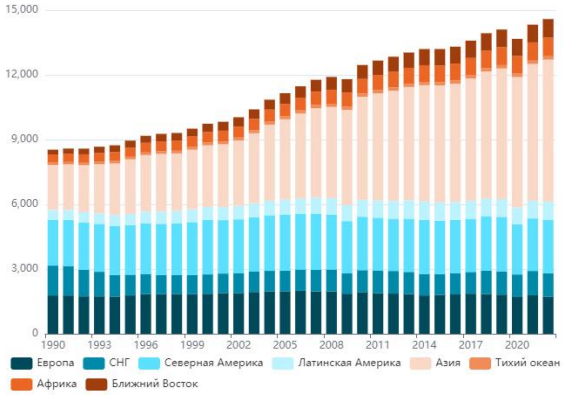


Рис. 2. Тенденция потребления энергии в мире (нефтянной эквивалент)

Изучение процессов зажигания и устойчивого горения является актуальным вопросом энергетической промышленности, так как это позволяет оценить эффективность использования того или иного топлива.

Существует множество лабораторных стендов, основная задача которых – исследование задержки зажигания топлива и выхода газофазных продуктов в процессе горения [3-5]. Главную сложность в данных системах представляет процесс подачи топлива в камеру сгорания муфельной печи. Из-за неравномерности распределения температурного поля внутри печи, становится актуальным вопрос о положении каждого образца во время эксперимента и скорости его входа в зону горения.

В качестве решения данной проблемы может являться координатное устройство, которое может подавать топливную навеску в печь с определенной скоростью и в определенное положение.

В данной работе представлена принципиальная схема подключения основных устройств и описан принцип действия работы устройства.

Материальное обеспечение

В качестве управляющего органа всей системы выбран микроконтроллер ATmega328p (Arduino Nano 3.0) [6].

Основные технические характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1. *Технические характеристики микроконтроллера*

Параметр	Значение, Ед. измерения
Рабочее напряжение	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12 В
Входное напряжение (предельное)	6-20 В
Цифровые Входы/Выходы	14
Аналоговые входы	8
Постоянный ток через вход/выход	40 мА
Флэш-память	32 кБ
ОЗУ	2 кБ
Тактовая частота	16 МГц
Размеры	1,85 см x 4,2 см

Приводным устройством выступил гибридный шаговый двигатель Nema 17 [7], который позволяет осуществить непосредственную подачу топлива в печь с помощью, закрепленной на нем трубы из нержавеющей стали.

Основные параметры, которые были обозначены для выбора исполнительного механизма были стоимость, способ управления и мощность. Данные приводы используют в 3D принтерах, а также на станках по работе с древесиной, металлом и т.д. Технические характеристики выбранного привода представлены в таблице 2.

Для корректной работы привода осуществлен выбор драйвера.

В данной работе был выбрана модель A4988 из-за относительно недорогой стоимости и простоты алгоритма управления [8]. Технические параметры драйвера представлены в таблице 3.

Помимо этого, в драйвере предусмотрена защита от перегрузки по току, от короткого замыкания и от пониженного питания, что говорит о его надежности.

Таблица 2. *Технические характеристики шагового двигателя*

Параметр	Значение, Ед. измерения
Число фаз	2
Длина мотора	47 мм
Номинальный ток/фаза	1,68 А
Сопротивление/фаза	1,65 Ом
Индуктивность/фаза:	4,1 мГн
Удерживающий момент:	4,4 кг*см
Момент инерции ротора:	68 г*см²
Стопорный момент:	0,25 кг*см

Таблица 3. *Технические характеристики драйвера*

Параметр	Значение, Ед. измерения
Напряжение двигателя	8-35 В
Максимальный ток на одну обмотку двигателя	1 А
Напряжение питания логической части драйвера	3-5,5 В
Размер одного шага двигателя	От 1 до 1/16 полного шага
Габариты платы драйвера	20 мм х 15 мм

Для питания схемы выбран блок питания на напряжение 12 В и мощностью 400 Вт.

Принцип работы и результаты

Схема подключения основных элементов представлена на рисунке 3.

Для передачи вращательного момента от шагового двигателя к направляющей трубе была использована алюминиевая двухкоготная гибкая муфта.

Управление экспериментальным стендом реализовано при помощи кнопки S_1, определяющей направление движения механизма - вперед или назад. Фиксация крайних положений механизма обеспечивается концевыми выключателями S_2 и S_3, установленными на передней и задней частях корпуса, срабатывание которых приводит к остановке цикла перемещения. Для поддержания стабильной работоспособности стенда наряду с ручным режимом управления реализован программный режим. Регулировка скорости линейного перемещения исполнительного механизма выполняется с помощью потенциометра.

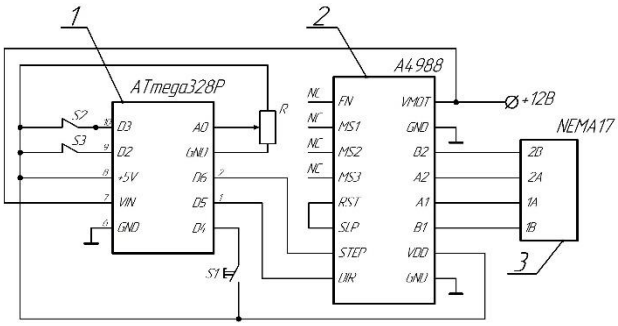


Рис. 3. Схема подключения.
(1 – модуль микроконтроллера; 2 – драйвер шагового двигателя; 3 – шаговый двигатель)

Алгоритм функционирования встроенного программного обеспечения устройства, приведен на рисунке 4.

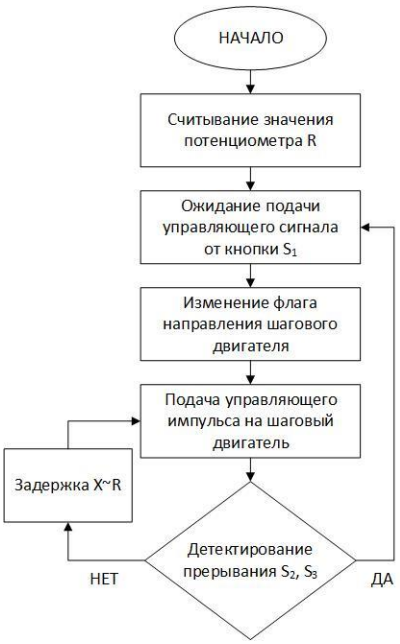


Рис. 4. Алгоритм функционирования встроенного программного обеспечения.

После подачи электропитания на устройство, микроконтроллер осуществляет считывание показаний подключенного к входу аналого-цифрового преобразователя потенциометра R. Далее микроконтроллер переходит в режим ожи-

дания. Вывод из данного состояния производится по фронту сигнала от кнопки S_1 и сопровождается инверсией флага, определяющего направление вращения шагового двигателя привода механизма подач. Затем на обмотки шагового двигателя подаются управляющие импульсы, обеспечивающие перемещение механизма. Данный цикл повторяется до наступления аппаратного прерывания, инициируемого размыканием одного из конечных выключателей S_2 или S_3. После чего микроконтроллер вновь переходит в режим ожидания сигнала управления от кнопки S_1.

После завершения сборки электрической схемы и конструкции устройства в целом, была проведена серия экспериментальных испытаний, подтвердившая работоспособность разработанной системы и возможность её применения в составе лабораторных стендов для исследования процессов воспламенения и горения топлив. На рисунке 5 представлен итоговый вариант технической реализации данного устройства. Результаты проведённой научно-исследовательской работы свидетельствуют о достижении поставленных целей и задач проекта.

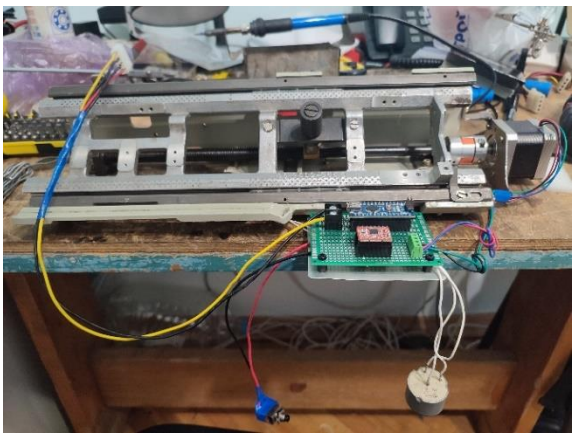


Рис. 5. Фотография координатного устройства

Заключение

В рамках данной работы было разработано координатное устройство для автоматизации процесса подачи топлива в камеру сгорания лабораторной установки, предназначенной для исследования задержки воспламенения и характеристик горения топлива. Предложенное техническое решение позволяет повысить точность и воспроизводимость экспериментов за счет программного управления положением и скоростью перемещения образцов топлива, что особенно актуально из-за неравномерности температурных полей в рабочем объеме печи.

Вместе с тем, в рамках дальнейших исследований представляет интерес доработка системы в части реализации обратной связи по температуре с использованием специализированного датчика, что позволит более точно позиционировать образцы по заданному температурному профилю.

Кроме того, перспективным направлением является создание многокоординатных систем на базе нескольких шаговых приводов, обеспечивающих возможность подачи образцов под различными углами в широком диапазоне пространственных координат.

Список литературы

1. TADVISER [Электронный ресурс]: Федеральная служба государственной статистики Росстат. Режим доступа: URL: https://www.tadviser.ru/ (дата обращения 21.12.2023)
2. Enerdata [Электронный ресурс]: Общее потребление электроэнергии. Режим доступа: URL: https://energystats.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html (дата обращения 21.12.2023)
3. Толокольников, А. А. Совершенствование процессов проведения экспериментальных исследований по определению задержки зажигания диспергированных твердых топлив / А. А. Толокольников, А. В. Губин, С. А. Янковский // Молодежь и современные информационные технологии : Сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 03–07 декабря 2018 года / Томский политехнический университет. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2019. – С. 138-139. – EDN KEEBYG.
4. Activation of the Combustion of Low-Reactivity Solid Fuels with Metal-Rolling Production Waste / K. B. Larionov, I. V. Mishakov, A. S. Gorshkov [et al.] // Energy. – 2023. – Vol. 278. – P. 128009. – DOI 10.1016/j.energy.2023.128009.
5. Патент № 2482389 C2 Российская Федерация, МПК F23B 90/00, F23J 15/00, C10L 10/00. Способ сжигания угля (варианты), установка для сжигания угля и способ уменьшения количества серы и ртути, выделяющихся при сжигании угля (варианты) : № 2011129016/06 : заявл. 13.07.2011 : опубл. 20.05.2013 / Д. С. Комри ; заявитель НОКС II ИНТЕНЭШНЛ, эЛТиДи.. – EDN WCJDLO.
6. Arduino.ru [Электронный ресурс]: Arduino Nano Режим доступа: URL: https://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano

(дата обращения 21.12.2023)
7. Robot-kit [Электронный ресурс]: Шаговый двигатель Nema17 0.9° 48 мм Режим доступа: URL: https://robot-kit.ru/3240/ (дата обращения 21.12.2023)
8. IARDUINO [Электронный ресурс]: Драйвер шагового двигателя, A4988, красный Режим доступа: URL: https://iarduino.ru/shop/Expansion-payments/drayver-shagovogo-dvigatelya-a4988.html (дата обращения 22.12.2023)
9. Arduino [Электронный ресурс]: Arduino IDE 2.2.1 Режим доступа: URL: https://www.arduino.cc/en/software (дата обращения 22.12.2023)

References

1. TADVISER [Electronic resource]: Federal State Statistics Service Rosstat. Access mode: URL: https://www.tadviser.ru/ (access date 12/21/2023)
2. Enerdata [Electronic resource]: Total electricity consumption. Access mode: URL: https://energystats.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html (access date 12/21/2023)
3. Tolokolnikov, A. A. Improving the processes of conducting experimental research to determine the ignition delay of dispersed solid fuels / A. A. Tolokolnikov, A. V. Gubin, S. A. Yankovsky // Youth and modern information technologies: Collection of proceedings of the XVI International scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists, Tomsk, December 03–07, 2018 / Tomsk Polytechnic University. – Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University, 2019. – P. 138-139. – EDN KEEBYG.
4. Activation of the Combustion of Low-Reactivity Solid Fuels with Metal-Rolling Production Waste / K. B. Larionov, I. V. Mishakov, A. S. Gorshkov [et al.] // Energy. – 2023. – Vol. 278. – P. 128009. – DOI 10.1016/j.energy.2023.128009.
5. Patent No. 2482389 C2 Russian Federation, IPC F23B 90/00, F23J 15/00, C10L 10/00. Coal combustion method (options), coal combustion installation and method for reducing the amount of sulfur and mercury released during coal combustion (options): No. 2011129016/06: application. 07/13/2011: publ. 05/20/2013 / D. S. Comrie; applicant KNOX II INTERNATIONAL, ELTD.. – EDN WCJDLO.
6. Arduino.ru [Electronic resource]: Arduino Nano Access mode: URL: https://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano (access date 12/21/2023)
7. Robot-kit [Electronic resource]: Stepper motor Nema17 0.9° 48 mm Access mode: URL: https://robot-kit.ru/3240/ (access date 12/21/2023)
8. IARDUINO [Electronic resource]: Stepper motor driver, A4988, red Access mode: URL: https://iarduino.ru/shop/Expansion-payments/drayver-shagovogo-dvigatelya-a4988.html (access date 12/22/2023)
9. Arduino [Electronic resource]: Arduino IDE 2.2.1 Access mode: URL: https://www.arduino.cc/en/software (accessed 12/22/2023)

УДК 004.453

Некоторые применения интегрального исчисления в электротехнике с использованием символьного пакета MATLAB

Царёв В.Г [1], Чернявский И.С.[2]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, vgtsarev@mail.sevsu.ru, chernyavski.ilya@mail.ru.

.

Статья поступила 28.02.2024 г.; после доработки 29.02.2024 г.

Аннотация

В статье рассмотрены прикладные задачи применения интегрального исчисления функции одной переменной в электротехнике. Выведена основная формула нахождения количества электричества. Рассмотрены примеры электротехники, в которых применяется определенный интеграл.

Ключевые слова: определенный интеграл, количество электричества, сила тока, точечный заряд, среда Matlab, символьный пакет.

Some applications of integral calculus in electrical engineering using the MATLAB symbolic package

Tsarev V.G.[1], Chernyavsky I.S.[2]
Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, vgtsarev@mail.sevsu.ru, chernyavski.ilya@mail.ru.

Received 28.02.2024 y.; received in final form 29.02.2024 y.

Annotation

The article considers the applied problems of applying the integral calculus of the function of one variable in electrical engineering. The basic formula for finding the amount of electricity is derived. Examples of electrical engineering in which a certain integral is used are considered.

Keywords: definite integral, amount of electricity, current strength, point charge, Matlab environment, symbolic package.

Введение

Еще совсем недавно, физик и инженер превосходно обходились знанием классических результатов дифференциального и интегрального исчисления. Но в наши дни, когда изучение новых теорий все чаще требует владения разнообразным математическим аппаратом, физик и инженер должны знать многочисленные разделы математики. Однако преподавание математики в ВУЗах недостаточно приспособлено к новым потребностям в аналитических знаниях будущих специалистов.

Современный инженер электротехник должен владеть основными методами интегрирования, применять определенный интеграл к решению профессиональных практических задач.

Основная часть

Рассмотрим один из разделов вышей математики – интегральное исчисление функции одной переменной (определенный интеграл).

Применение определенного интеграла доста-

точно широко. Для уяснения смысла интегрирования в электротехнике рассмотрим следующую задачу [1].

Пусть по проводнику течет ток переменной силы $I = I(t)$, где $I(t) \geq 0$ – непрерывная на отрезке $[t_1, t_2]$ функция. Определить количество электричества Q, протекшего через поперечное сечение проводника за промежуток времени $[t_1, t_2]$.

Здесь $Q \neq I \cdot t$, т.к. $I \neq const$ – не постоянная величина.

Рассмотрим количество электричества на переменном отрезке $[t_1, x]$, тогда Q становится функцией аргумента x, т.е $Q = Q(x)$ [2].

Выберем внутри отрезка $[t_1, t_2]$ произвольное значение x и придадим ему приращение $\Delta x = dx$, тогда функция $Q(x)$ также получит приращение $\Delta Q = Q(x + \Delta x) - Q(x)$, где ΔQ – величина истинного количества электричества, протекшего через поперечное сечение проводника за время $[x, x + \Delta x]$.

Положим, что на отрезке $[x, x + \Delta x]$ ток постоянен и совпадает со своим значением в точке x. Если Δx достаточно мало, это упрощение позволяет найти элементарное количество электричества или дифференциал dQ, при этом $dQ = I(t)\Delta t$ или $dQ = I(t)dt$.

В связи с этим все количество электричества на отрезке $[t_1, t_2]$ равно

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} dQ = \int_{t_1}^{t_2} I(t)dt$$

.

Круг задач в электротехники, в которых необходимо вычислить определенный интеграл, широк и многообразен. Рассмотрим некоторые из них.

Для всестороннего освещения рассматриваемой темы вычисления определенных интегралов, воспользуемся средой Matlab. Программа Matlab это высокоуровневый язык программирования, который обычно используют для выполнения различных технических и математических расчетов. В ней содержится отдельный пакет символьных вычислений Symbolic Math Toolbox [3-4].

Приведем решение нескольких прикладных физических задач из области электротехники, иллюстрируя решение синтаксисом символьного пакета Matlab.

Задача 1. Сила тока $I(t) = 2t^2 - 3t + 2$. Определить количество электричества, протекшее через поперечное сечение проводника за 10сек, считая время от начала опыта.

Решение:

$$Q = \int_0^{10} (2t^2 - 3t + 2)dt = \left(\frac{2t^3}{3} - \frac{3t^2}{2} + 2t \right)\Bigg|_0^{10} =$$

$$= \frac{3220}{6} = \frac{1610}{3} \text{ (Дж).}$$

Теперь рассмотрим решение этой задачи в символьном пакете среды Matlab [5]:

```
>> % объявляем символьные переменные
>> syms t
>> % вводим подынтегральную функцию
>> It=2*t^2-3*t+2

It =

2*t^2-3*t+2


>>  % вычисляем определенный интеграл
>> Qt=int(It,t,0,10)

Qt =

1610/3
```

Задача 2. Падение напряжения в электрической цепи 220 В. В цепь включена постоянная нагрузка с сопротивлением 15 Ом и дополнительно вводится сопротивление со скоростью 0,2 Ом/с. Какое количество электричества протечёт по цепи за 1 мин?

Решение. По закону Ома падение напряжения U, сила тока I и сопротивление R связаны между собой соотношением $I = \frac{U}{R}$. По условиям задачи сопротивление цепи изменяется по закону

$$R(t) = 15 + \int_0^t 0,2dt = 1 + 0,2t$$

.

Тогда, по закону Ома, сила тока изменяется по закону

$$I(t)=\frac{U}{R(t)}=\frac{220}{R(t)}=\frac{220}{15+0,2t}.$$

Поэтому количество электричества, протекшее по проводнику за 1 мин, равно

$$\int_0^{60} I(t)dt=\int_0^{60}\frac{220}{15+0,2t}dt=\frac{220}{0,2}\ln(15+0,2t)\Big|_0^{60}=$$
$$=1100\ln 1,8\approx 646.57 \text{ Кл.}$$

В среде Matlab решение данной задачи примет следующий вид:

```
>> syms t
>> Rt=15+int(0.2,t)

Rt =

15+1/5*t


>> Qt=int(220/Rt,t,0,60)

Qt =

2200*log(3)-1100*log(5)


>> % упрощаем числовое выражение
>> vpa(Qt,5)

ans =

646.6
```

Задача 3. Электрический точечный заряд $+e$ движется в электрическом поле, созданным точечным зарядом $+e$. Определить работу при перемещении заряда e_1 из точки А в точку В (рис.1), считая, что А и В находятся на прямой, проходящей через заряд $+e$.

Решение. Общеизвестно, что точечный заряд движется всегда прямолинейно. Исходя из этого, работу можно вычислить по формуле $A=\int_a^b F(r)dr$, здесь r – перемещение, а F(r) – модуль силы. По закону Кулона, сила взаимодействия между двумя точечными зарядами в пустоте равна $F=\frac{e_1e_2}{r^2}$.

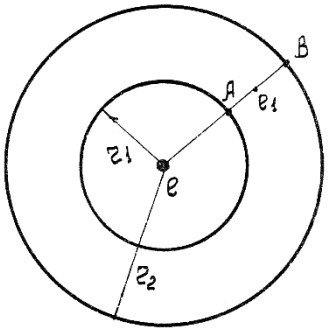


Рис.1

В нашем случае работа вычисляется по следующей формуле:

$$A=\int_{r_1}^{r_2}\frac{e_1e}{r^2}dr=e_1e\,(-\frac{1}{r})\Big|_{r_1}^{r_2}=e_1e\,(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2})=$$
$$=e_1(\frac{e}{r_1}-\frac{e}{r_2})$$

Выражение, стоящее в скобках является разностью потенциалов.

В среде Matlab решение данной задачи выглядит так:

```
>> syms r e e1 r1 r2
>> Fr=e1*e/r^2

Fr =

e1*e/r^2


>> A=int(Fr,r,r1,r2)

A =

-e1*e*(-r2+r1)/r2/r1


>> % преообразуем данное выражение
>> pretty(A)

                  e1 e (-r2 + r1)
                - ---------------
                      r2 r1
```

Задача 4. Электрическая цепь имеет в начальный момент времени сопротивление в R *Ом*, которое в дальнейшем равномерно возрастает со скоростью V (Ом/с). В цепь подано постоянное напряжение U (В). Найти заряд, прошедший через цепь за время t (с).

Решение. Применим следующую формулу для расчета электрического заряда

$$Q=I\cdot t$$

В свою очередь, используя закон Ома найдем

силу тока:

$$I = \frac{U}{R}$$

При этом сопротивление R является функцией времени:

$$R(t) = R + V \cdot t$$

Следовательно, и ток является функцией времени $I(t)$ – т.е. зависит от времени:

$$I(t) = \frac{U}{R(t)} = \frac{U}{R + V \cdot t}$$

Рассмотрим бесконечно малый отрезок времени dt, на котором ток принимает постоянное значение, и вычислим на этом отрезке «элементарный» заряд dQ:

$$dQ = I(t)dt = \frac{U}{R + V \cdot t}dt$$

По итогу полный заряд Q на отрезке $[0, t_1]$ будет равен:

$$Q = \int_{t_1} dQ = \int_0^{t_1} \frac{U}{R + Vt}dt = \frac{U \cdot \ln(R + Vt)}{V}\Big|_0^{t_1} =$$

$$= \frac{U}{V}\ln\frac{R + Vt_1}{R}$$

Расчет в среде Matlab:

```
>> syms t U R V t1
>> It=U/(R+V*t)

It =

U/(R+V*t)


>> Q=int(It,t,0,t1)

Q =

U*(log(R+V*t1)-log(R))/V


>> pretty(Q)

                    U (log(R + V t1) - log(R))
                    --------------------------
                                V
```

Выводы

Как видно из работы, с помощью определенного интеграла можно решить ряд интересных и важных задач, используя при этом пакет прикладных программ Matlab.

Список литературы

1. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления. – М.: Наука, 1972.-Т.П.
2. Мачехина Т.В., Бажанова В.Б. Определенный интеграл и его приложения. – Методическое пособие и задачник. Севастополь, СВВМИУ, 1984.
3. Данко П.Е. Попов А.Г. Высшая математика в упражнениях и задачах – М.: Мир и образование, 2003.
4. Потемкин В. Г. Вычисления в среде MATLAB: ДИАЛОГ- МИФИ. 2004.
5. Шакин В.Н., Семенова Т.И. Основы работы с математическим пакетом Matlab, Учебное пособие / МТУСИ, 2016. 133 с.

References

1. Piskunov N.S. Differential and integral calculus. - M.: The science, 1972.-T.P.
2. Machekhina T.V., Bazhanova V.B. Definite integral and its applications. – Methodical manual and task book. Sevastopol, Sevastopol Higher Navy Engineering College, 1984.
3. Danko P.E. Popov A.G. Higher mathematics in exercises and tasks – M.: Peace and education, 2003.
4. Potemkin V. G. Computing in MATLAB: DIALOG- MEPhI. 2004.
5. Shakin V.N., Semenova T.I. Fundamentals of working with the Matlab mathematical package, Textbook / MTUCI, 2016. 133 p.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 621.311.24, 620.92

Фотоэлектрические системы резервного электроснабжения для индивидуальных потребителей

В.А. Березняк[1], В.В. Кувшинов[2], А.Д. Касницкий[3], И.Д. Артёменко[4], Н.В. Шахова[5]

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия. gern96-10@mail.ru [1], VVKuvshinov@sevsu.ru[2], makkas_snab@mail.ru[3], leftysingle@gmail.com[4], nvshakhova@sevsu.ru[5]

Статья поступила 20.02.2024 г.; после доработки 21.02.2024 г.

Аннотация

Для обеспечения бесперебойной работы энергетических систем автономных потребителей необходимо использование надёжных источников бесперебойного питания. В работе предложена система электропитания на основе аккумуляторных батарей и системы солнечной генерации для обеспечения работы частных жилых домов. Совместно с фотоэлектрической системой представленной установки используются накопители энергии.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, фотоэлектрический преобразователь, поток солнечной радиации, возобновляемая энергетика, солнечная батарея.

Photovoltaic backup power supply systems for individual consumers

V.A. Bereznyak[1], V.V. Kuvshinov[2], A.D. Kasnitsky[3], I.D. Artemenko[4], N.V. Shahova[5]

Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, gern96-10@mail.ru [1], VVKuvshinov@sevsu.ru[2], makkas_snab@mail.ru[3], leftysingle@gmail.com[4], nvshakhova@sevsu.ru[5]

Received 20.02.2024 y.; received in final form 21.02.2024 y.

Abstract

To ensure uninterrupted operation of energy systems of autonomous consumers, it is necessary to use reliable uninterruptible power supplies. The work proposes a power supply system based on rechargeable batteries and solar generation systems to ensure the operation of private residential buildings. Energy storage devices are used in conjunction with the photovoltaic system of the presented installation.

Key words: battery, photovoltaic converter, solar radiation flux, renewable energy, solar battery.

Введение

Обеспечение качественной работы основного оборудования с использованием энергосберегающих технологий и независимых альтернативных источников энергии для бесперебойной работы автономных электросетей (в частности, для жилых домов), является одной их важнейших задач. В представленной работе были предложены различные типы источников питания независящих от центральных линий электроснабжения для их использования в нестационарных условиях. Эти устройства используют для энергоснабжения возобновляемые источники энергии, в частности солнечные электрические батареи с высокоэффективными фотопреобразователями и системами накопления энергии [1]. Такие системы питания не заменяют основные генерирующие мощности лечебных учреждений

и не усложняют их работу, при этом они эффективно помогают работе медицинской технике в нестационарных условиях. Эти системы не осуществляют вредные выбросы и улучшают экологическую составляющую. Предложенные системы можно с уверенностью назвать резерывными источниками электроснабжения маломощного оборудования.

Резервные системы питания и накопления энергии, используемые при работе различных учреждений, на основе фотоэлектрических источников энергии позволяют значительно уменьшить негативные эффекты, возникающие из-за использования традиционных органических топлив. Такими системами могут являться как тепловые или электрические накопители энергии, так и дополнительные генерирующие установки. Эти системы могут устанавливаться как в промышленных учреждениях, так и в передвижных пунктах и работать совместно со стационарными энергоустановками, что позволяет их эффективно использовать в качестве альтернативных источников энергии [2]. Из всех типов и видов маломощных резервных систем питания необходимым требованиям наиболее соответствуют фотоэлектрические установки с накопителями энергии [3].

Постановка задачи

При работе энергетических комплексов для обеспечения учреждений необходимо постоянно иметь некоторый резервный запас мощности с целью уменьшения негативного влияния нехватки мощности, а также при частых отключениях централизованных поставок электроэнергии или отсутствия общей электросети. Запас необходимой энергии накапливается в аккумуляторных батареях (АКБ) или других резервных накопителях. Необходимую энергию можно получать как с общей сети, так и при использовании генерирующих солнечных электроустановок [4]. Солнечная зарядная станция на базе фотоэлектрических преобразователей и АКБ является эффективным решением для обеспечения электроэнергией индивидуальных потребителей. Предложенные резервные системы питания состоят из гибридной энергосистемы, оснащенной различными генераторами электроэнергии: фотоэлектрическими панелями малой мощности, компактными солнечными элементами, автономными генераторами на традиционных топливах, а также системой хранения и распределения электроэнергии [5]. Основными преимуществами таких установок являются их мобильность и компактность.

Цель представленной работы являлось обеспечение качественной работы основного оборудования с использованием высокоэффективных солнечных элементов и накопителей энергии для бесперебойной работы различной маломощной техники и жилых зданий. Для достижения поставленной цели в качестве зарядной батареи для бесперебойного источника питания были использованы высокоэффективные кремниевые фотопреобразователи с наномодифицированной поверхностью. Предложенные системы способны для постоянного использования в не стационарных условиях и перемещению вне учреждений, поэтому для решения этой проблемы были выбраны фотопреобразователи с повышенными энергетическими характеристиками [6]. Одной из целей работы являлось создание зарядной энергоэффективной солнечной панели на основе фотоэлектрического преобразователя с наномодифицированной приёмной поверхностью [7], которую можно было использовать для обеспечения бесперебойной работы основного оборудования, представленного на рис. 1.

Основные технические параметры, определяющие количественные, качественные и стоимостные характеристики продукции являются электротехнические показатели фотопреобразователей, ёмкость АКБ, количество солнечных элементов и др.



Рис. 1. Внешний вид основного и вспомогательного оборудования для обеспечения автономного электроснабжения

Для зарядки аккумуляторной батареи использовалась фотоэлектрическая панели мощностью по 300 Вт, состоящая из поликремниевых фотоэлектрических элементов, контроллеров заряда-разряда, и другого, вспомогательного оборудования. Представленные кремниевые наномодифицированные элементы были обработаны в лаборатории искрового плазменного спекания (находящийся в МГТУ «Станкин» в г. Москва) и имеют высокоэффективные эксплуатационные характеристики, такие как увеличенный КПД, защита от перегрева, повышенную твердость и др. Использованные устройства позволяют соблюдать все конструктивные требования, включая технологические требования, требования по надежности, эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту, хранению, упаковке, маркировке и транспортировке оборудования. Представленные из лаборатории искрового плазменного спекания МГТУ «Станкин» элементы имеют повышенные эксплуатационные характеристики, в частности, обладают более теплостойкими характеристиками, имеют значительно большую против ударность, чем обычные кремниевые элементы и повышенными значением КПД (на 20 % превосходит не модифицированные элементы). Эти элементы более стойкие к транспортировке и не менее деградируют при эксплуатации.

Результаты исследований

Для стабильной выработки электроэнергии и надежности зарядной системы использовалась комбинированная фотоэлектрическая установка с накопителями энергии. Как уже было сказано в представленной работе были проведены натурные испытания фотоэлектрической системы, которая состоит из фотоэлектрических панелей (мощностью по 300 Вт), и аккумуляторных батарей ёмкостью 40 А·ч, инверторов и другого оборудования (рис. 2). Представленная система может быть подключена к общей сети, а также работать автономно. Небольшие размеры системы позволяют перемещение её на любое расстояние и использование в полевых условиях, а качественные фотоэлектрические преобразователи значительно увеличивают эффективность работы.

В ходе исследований были проведены натурные экспериментальные исследования работы системы. Для уменьшения потерь сгенерированной солнечными станциями электроэнергии и увеличения эффективности работы необходимо более качественно использовать основное и вспомогательное оборудование станции [4]. Для этого были приведены экспериментальное исследования работы установок.



Рис. 2. Основное оборудование для системы резервного питания

На рис. 3 приведены мощностные характеристики отдельного модуля солнечной установки мощностью 300 Вт в летние месяцы, при различной освещенности.

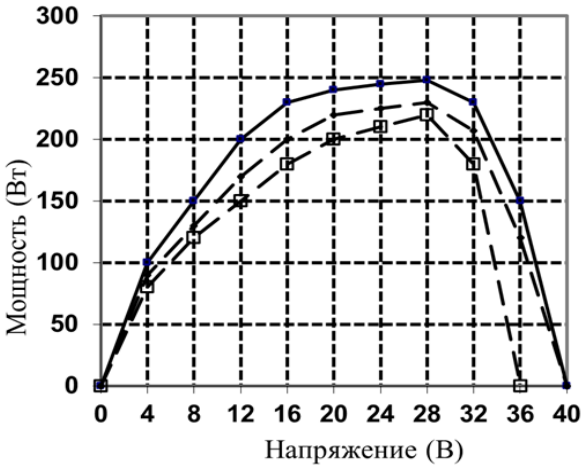


Рис. 3. Мощностные характеристики фотоэлектрической панели мощностью 300 Вт.

Для работы резервной системы в качестве накопителя энергии использовались АКБ. При проведении экспериментов была получена зависимость зарядной ёмкости аккумулятора в зависимости от времени зарядки (рис. 4).

Как видно из графика за 1 ч аккумулятор заряжается на 15 % номинальной ёмкости. Заряд аккумулятора происходит от 30 % до 98 % ёмкости. Время заряда до 98 % составляет 8-14 часов. Для качественной работы накопителей энергии необходимо проверить параметры зарядного тока, который соответствует ёмкости делённой на 10,6, время заряда до 98 % составляет до 10 ч.

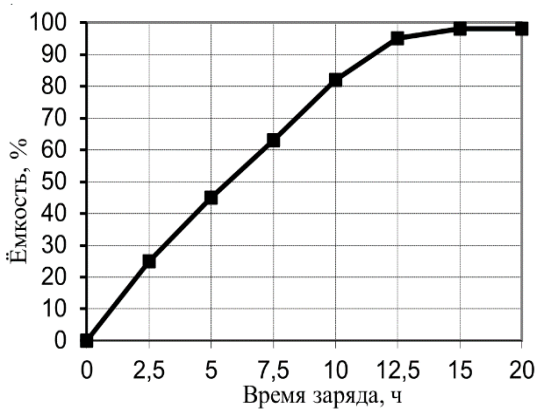


Рис. 4. Зависимость относительной ёмкости заряда от времени

Для определения достаточного процента заряда необходимо провести экспериментальные тестирования зависимости зарядного тока от потока солнечной радиации падающей на рабочую поверхность панели. При этом угловой коэффициент был принят около 0,8. Т.е. освещенность составляет около 800 Вт/м^2, характеристика зарядного тока приведена на рис. 5.

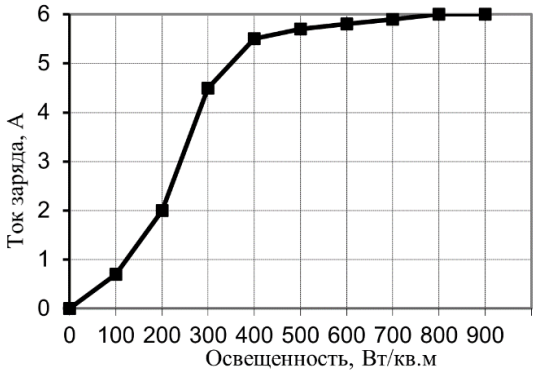


Рис. 5. Зависимость тока заряда от освещённости панели

Эти исследования очень значимы для дальнейших расчетов зарядки и работы аккумуляторной станции в комбинации с фотоэлектрическими модулями, используемыми в качестве бесперебойных источников энергоснабжения. Использование предложенных систем позволяет обеспечить автономное электроснабжение как для собственных нужд, так и для стационарных объектов. Применение в качестве систем генерации фотоэлектрических установок обеспечивает надёжную работу основного оборудования при отсутствии центрального электроснабжения. Предложенные резервные системы питания не заменяют основные генерирующие мощности и не усложняют их работу, при этом они эффективно помогают их работе. Также эти системы не осуществляют вредные выбросы и улучшают экологию.

Выводы

По результатам вышеописанных исследований можно сделать следующие основные выводы:

- В представленной работе была предложена установка для электроснабжения автономных потребителей, использующая фотоэлектрические системы с накопителя энергии при совместной работе с централизованной сетью. Аккумуляторные батареи могут заряжаться как от солнечной энергии, так и от общей сети, однако использование независимого питания позволяет использовать оборудование в условиях отсутсвия поставок электроэнергии.
- В работе впервые были предложены высококачественные солнечные элементы с повышенным КПД, а также с качественными характеристиками по перегреву рабочей поверхности, использованию рассеянного потока солнечной радиации, защитой от деградации и др.
- В работе была предложена методика использования различных источников накопления и генерации электрической энергии с учётом специфики оборудования, в частности использование резервных и бесперебойных источников питания.
- Использование источников питания основе возобновляемых источников энергии для обеспечения потребителей является важной задачей для многих регионов России, т. к. позволяет улучшить экологическую составляющую и уменьшить зависимость от традиционных органических топлив.

Список литературы

1. Кувшинов В.В. Повышение эффективности работы солнечных и ветровых электростанций за счет применения накопителей энергии / Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Власов Н.А., Березняк В.А., Гхашим М. // Энергетические установки и технологии. 2022. Т. 8. № 1. С. 90-95.
2. Кувшинов В.В. Использование фотоэлектрических преобразователей в качестве источников питания медицинского оборудования / Кувшинов В.В., Матвеев Ю.В., Березняк В.А., Смирнов В.В., Тиман Д.И. // Естественные и технические науки. 2023. № 1 (176). С. 166-168.

3. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 397 с.
4. Кувшинов, В.В., Морозова, Н.В. / Возможности повышения мощностных характеристик солнечных установок для использования в энергетике Крыма // М.: Спутник+, 2017. 175 с.
5. Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции результатов измерения вольтамперной характеристики (МЭК 891-87): ГОСТ 28976-91. – [Введ. 19.04.91]. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 42 с. – (Национальный стандарт России).
6. Васильев А.М., Кукушкин Д.Ю., Трофимов В.В. Осаждение нанокластеров металлов из коллоидных растворов на поверхность пористых рулонных материалов методом электрофореза // Известия ран. серия физическая, 2019 том, № 12(83), С. 1670–1674.
7. Кувшинов В.В. Возможности повышения мощности фотоэлектрических преобразователей модификацией их поверхностей нанокластерами серебра / Кувшинов В.В., Крит Б.Л., Морозова Н.В., Кукушкин Д.Ю., Савкин А.В. // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2018. № 1 (43). С. 36-42.

References

1. Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Vlasov N.A., Bereznyak V.A., Ghashim M. Increasing the efficiency of solar and wind power plants through the use of energy storage devices *Power installations and technologies*, 2022, Vol. 8, No. 1, pp. 90-95.
2. Kuvshinov V.V., Matveev Yu.V., Bereznyak V.A., Smirnov V.V., Timan D.I. The use of photoelectric converters as power sources for medical equipment. *Natural and technical sciences*, 2023, No. 1 (176), pp. 166-168.
3. Rauschenbach G. Handbook for the design of solar panels. M.: Energoatomizdat, 1983, 397p.
4. Kuvshinov, V.V., Morozova, N.V. Possibilities for increasing the power characteristics of solar installations for use in the energy sector of Crimea. Moscow, Sputnik+, 2017, 175 p.
5. Photovoltaic devices made of crystalline silicon. Method for correcting the results of measuring the current-voltage characteristic (IEC 891-87): GOST 28976-91 [Input. 04/19/91], Moscow, IPK Publishing House of Standards, 2004, 42 p., (National Standard of Russia).
6. Vasiliev A.M., Kukushkin D.Yu., Trofimov V.V. Deposition of metal nanoclusters from colloidal solutions onto the surface of porous roll materials using electrophoresis. *Izvestiya RAS. Physical series*, 2019 volume, No. 12(83), pp. 1670–1674.
7. Kuvshinov V.V., Krit B.L., Morozova N.V., Kukushkin D.Yu., Savkin A.V. Possibilities of increasing the power of photoelectric converters by modifying their surfaces with silver nanoclusters. *Vector of science of Tolyatti State University*, 2018, No. 1 (43), pp. 36-42.

УДК 656.13

Расчёт резонансной частоты для системы беспроводной передачи энергии с последовательной топологией

Гайдук С.В.[1], Царев В.Г.[2]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, svgaidyk@mail.sevsu.ru, vgtsarev@mail.sevsu.ru.

Статья поступила 26.02.2024 г.; после доработки 28.02.2024 г.

Аннотация

Рассматривается система беспроводной передачи энергии (БПЭ) с последовательной топологией, как наиболее устойчивая к возмущениям и обеспечивающая высокий коэффициент передачи мощности. Описана её математическая модель во временной области. На основании классической теории основ электротехники выведено уравнение для определения резонансной частоты в колебательном контуре. Для экспериментальной установки системы БПЭ с последовательной топологией, разработанной для электротележки ЕТ-20132, оборудованной беспроводной зарядной станцией определена резонансная частота.

Ключевые слова: беспроводная передача энергии (БПЭ), резонансная частота, последовательная топология, резонансный контур, трансформатор, робастность, коэффициент передачи мощности, электротележка.

Calculation of the resonant frequency for a wireless power transmission system with a serial topology

Gaiduk S.V.[1], Tsarev V.G.[2]
Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, svgaidyk@mail.sevsu.ru, vgtsarev@mail.sevsu.ru.

Received 26.02.2024 y.; received in final form 28.02.2024 y.

Annotation

A wireless power transmission (WPT) system with a sequential topology is considered as the most resistant to disturbances and providing a high power transfer coefficient. Its mathematical model in the time domain is described. Based on the classical theory of the fundamentals of electrical engineering, an equation has been derived for determining the resonant frequency in an oscillatory circuit. For the experimental installation of a WPT system with a sequential topology, developed for an ET-20132 electric cart equipped with a wireless charging station, the resonant frequency was determined.

Keywords: wireless power transfer (WPT), resonant frequency, series topology, resonant circuit, transformer, robustness, power transfer coefficient, electric trolley.

Введение

Беспроводная передача энергии (БПЭ) - одна из перспективных тем в области электротехники на сегодняшний день. Это связано с тем, что исключается необходимость постоянного подключения и замены энергоносителей, а также появляется возможность удобно и эффективно обеспечивать электропитанием оборудование. Преимущества БПЭ, как перспективной технологии, заключаются в том, что она требует меньше физических контактов и является более безопасной, что позволяет применять её для питания устройств в сложных условиях. Интерес к беспроводной передаче энергии стимулировал исследования и разработки в этой области. Ключевыми направлениями развития являются увеличение дальности передачи, повышение эффек-

тивности системы и разработка более компактных и удобных устройств. Технология беспроводной передачи энергии, активно применяются в электротранспорте, медицинской и бытовой электронике, мобильных устройствах и других отраслях. Этот способ может оказать значительное влияние на повседневную жизнь людей, сократив потребность в проводах и разъемах. Однако БПЭ сопряжена с такими препятствиями, как потери при передаче, воздействие на окружающую среду и электромагнитное влияние на организм человека. Для преодоления указанных проблем, необходимы активные исследования в области БПЭ.

Основная часть

Технологий передачи энергии без проводов достаточно много [1]. Среди современных приёмов будем рассматривать метод электромагнитной индукции. Простым устройством для беспроводной передачи энергии является трансформатор. Первичная и вторичная обмотки трансформатора не связаны на прямую. Передача энергии осуществляется посредством процесса, известного как взаимная индукция. Резонанс несколько увеличивает дальность передачи. При резонансной индукции передатчик и приёмник настроены на одну и ту же частоту. Таким образом, значительная мощность может быть передана между двумя взаимно настроенными LC-контурами. Передающая и приёмная катушки, как правило, представляют собой однослойные соленоиды или плоскую спираль с набором конденсаторов, которые позволяют настроить принимающий элемент на частоту передатчика. Резонанс используется как в панели беспроводной зарядки (передающем контуре), так и в модуле приёмника (встроенного в нагрузку) для обеспечения максимальной эффективности передачи энергии.

При разработке систем БПЭ, сталкиваются с техническими ограничениями, наиболее явными из которых являются габаритные размеры катушек резонансного контура, участвующих в передаче энергии, а также диапазон частот, в котором осуществляется передача энергии.

В качестве исследуемой системы БПЭ, будем рассматривать схему с S-S (последовательной) топологией [2], приведенную на рис. 1, так как она обеспечивает бóльший коэффициент передачи мощности и обладает робáстностью резонансной частоты по отношению к взаимной индуктивности.

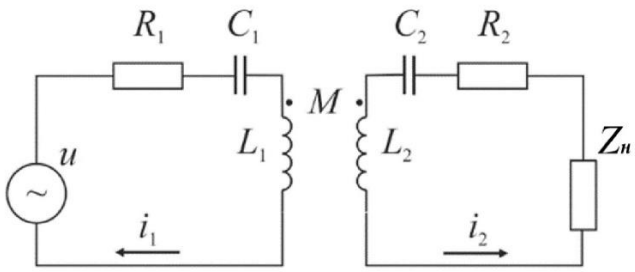


Рис. 1. Схема беспроводной зарядной станции с S-S топологией.

Математическую модель во временной области представим системой уравнений:

$$\begin{cases} u_{C_1} + i_1 R_1 + L_1 \dfrac{di_1}{dt} + M \dfrac{di_2}{dt} = u; \\ u_{C_2} + L_2 \dfrac{di_2}{dt} + M \dfrac{di_1}{dt} + i_2 Z_{2\Sigma} = 0; \\ C_1 \dfrac{du_{C_1}}{dt} = i_1; \\ C_2 \dfrac{du_{C_2}}{dt} = i_2. \end{cases} \quad (1)$$

где u – входное напряжение;

u_{C_1} – напряжение на конденсаторе в первичной цепи;

u_{C_2} – напряжение на конденсаторе во вторичной цепи;

i_1 – ток первичной цепи;

i_2 – ток вторичной цепи;

R_1, R_2, C_1, C_2 – активные сопротивления и емкости первичной и вторичной цепей;

$Z_н$ – эквивалентное сопротивление нагрузки;

L_1, L_2 – индуктивности первичной и вторичной катушек;

M – взаимная индуктивность;

$Z_{2\Sigma} = (R_2 + Z_н)$.

В математической модели, приняты следующие допущения:

- не учитываются потери в конденсаторах;
- не учитываются реальные характеристики инвертора;
- источник питания идеальный;
- нагрузка представлена активным сопротивлением, величина которого определяется из номинальных значений тока и напряжения для заряда аккумуляторной батареи;
- не учитывается эффект вытеснения тока в проводниках (поверхностный эффект).

Согласно методике расчёта электрических

цепей с взаимной индуктивностью, [3] выполним её «развязывание», в результате получим схему, изображённую на рис. 2.

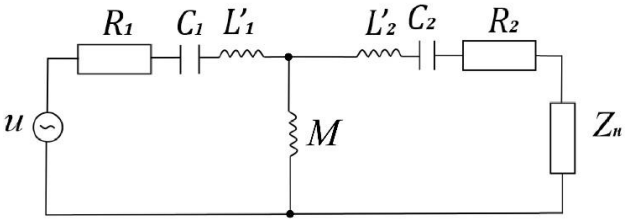


Рис. 2. Схема «развязанной» электрической цепи с S-S топологией.

где: $L_1' = L_1 - M$ – индуктивность I контура с учётом взаимной индуктивности;

$L_2' = L_2 - M$ – индуктивность II контура с учётом взаимной индуктивности.

Переходя к операторной форме, с учётом замены, где $p = j \cdot \omega$ – переменная в комплексной области; $U(p)$ – операторное напряжение, выразим операторное сопротивление $Z(p)$для схемы рис. 3.

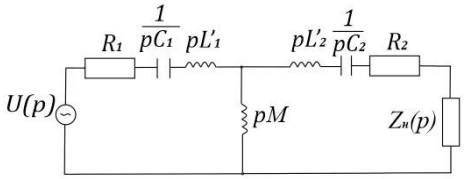


Рис. 3. Операторная схема замещения.

При этом операторное сопротивление нагрузки, имеет вид:

$$Z_{\text{н}}(p) = R_{\text{н}} + j\omega L_{\text{н}} + \frac{1}{j\omega C_{\text{н}}} = R_{\text{н}} + pL_{\text{н}} + \frac{1}{pC_{\text{н}}} \quad .$$

Операторное сопротивление схемы рисунка 3 представлено в виде следующего выражения:

$$Z(p) = R_1 + \frac{1}{pC_1} + pL_1' + \frac{p\text{M}\cdot(pL_2' + \frac{1}{pC_2} + R_2 + Z_{\text{н}}(p))}{p\text{M} + Z_{\text{н}}(p) + pL_2' + \frac{1}{pC_2} + R_2}; \qquad (2)$$

В реальной электрической цепи, условие резонанса напряжений состоит в равенстве нулю входного реактивного сопротивления [3]. Для этого перейдя из операторной формы эквивалентного сопротивления к комплексному, выделив мнимую часть, приравняв её к нулю, можно получить уравнение для определения резонансной частоты.

$$Z(p) \Longrightarrow \underline{Z} \Longrightarrow \mathfrak{I}_m(\underline{Z}) = 0 \Longrightarrow \omega_{\text{рез}} - ?$$

Представим искомое сопротивление в виде суммы операторного сопротивления последовательного участка электрической цепи рисунка 3 и операторного сопротивления параллельного участка этой же цепи, а именно: $Z(p) = Z_I(p) + Z_{II}(p)$;

где $Z_I(p) = R_1 + \frac{1}{pC_1} + pL_1'$;

$$Z_{II}(p) = \frac{pL_m \cdot (pL_2' + \frac{1}{pC_2} + R_2 + Z_{\text{н}}(p))}{pL_m + Z_{\text{н}}(p) + pL_2' + \frac{1}{pC_2} + R_2};$$

Выделив отдельно мнимую часть из $Z_I(p)$ и $Z_{II}(p)$, выполнив замены, получим степенное уравнение относительно циклической частоты:

$$A_1\omega^6 + A_2\omega^4 + A_3\omega^2 + A_4 = 0, \qquad (3)$$

Где

$A_1 = (\text{M} + L_2' + L_{\text{н}})^2 \cdot L_1'C_1 + C_1\text{M}\,L_2' + ML_{\text{н}} \cdot (M + L_2' + L_{\text{н}})$;

$A_2 = L_1'C_1(R_2 + R_{\text{н}})^2 - 2L_1'C_1 \cdot \left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_{\text{н}}}\right) \cdot (M + L_2' + L_{\text{н}}) - (M + L_2' + L_{\text{н}})^2 + C_1(M(R_2 + R_{\text{н}})(R_2 + R_{\text{н}}) - (ML_2' + ML_{\text{н}})\left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_{\text{н}}}\right) - M(M + L_2' + L_{\text{н}})\left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_{\text{н}}}\right))$;

$A_3 = L_1'C_1 \cdot \left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_{\text{н}}}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_{\text{н}}}\right) \cdot (M + L_2' + L_{\text{н}}) - (R_2 + R_{\text{н}})^2 - C_1M \cdot \left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_{\text{н}}}\right)^2$; $A_4 = -\text{C}^2 = -\left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_{\text{н}}}\right)^2$;

Параметрами исходной схемы являются следующие значения: *$L_1 = 2{,}52 * 10^{-5}$ Гн,*

$L_2 = 2{,}66 * 10^{-5}$ Гн, $M = 6{,}9 * 10^{-6}$ Гн,

$C_1 = 7{,}474 * 10^{-8}$ Ф, $C_2 = 7{,}512 * 10^{-8}$ Ф

$L_н = 0$, $R_н = 2{,}8$ Ом, $C_н = 10 * 10^{-30}$Ф,

$R_2 = 0{,}01$ Ом.

Значение сопротивления нагрузки

Rн = 2,8 Ом, соответствует номинальному зарядному току 36 А для аккумуляторных батарей электротележки ЕТ-20132 рисунок 4, при напряжении 100 В. Остальные значения параметров были выбраны из определённого диапазона значений на основе исследований, произведённых раннее [4].



Рис. 4. Электротележка ЕТ-20132 с установленной системой БПЭ.

Частота, на которой осуществляется передача энергии была принята равной 90 кГц, в соответствии с [4]. В результате расчётов с применением среды MATH CAD, корни уравнения (3) имеют вид:

$$\begin{pmatrix} -4.665\times 10^{15} + 4.614i\times 10^{15} \\ -4.665\times 10^{15} - 4.614i\times 10^{15} \\ -7.287\times 10^{5} \\ 7.287\times 10^{5} \\ 4.665\times 10^{15} + 4.614i\times 10^{15} \\ 4.665\times 10^{15} - 4.614i\times 10^{15} \end{pmatrix}$$

Подходящим из данного набора решений является циклическая частота $\omega_{рез}$ =7,287*10^5. Для вычисления линейной частоты резонансного контура, воспользуемся соотношением: $f = \frac{\omega_{рез}}{2\pi}$ = *1,16*10^{5}Гц.*

Полученное значение линейной частоты попадает в диапазон допустимых значений частот для испытываемой установки БПЭ электротележки.

Выводы

Согласно классической теории основ электротехники, определили резонансную частоту в колебательном контуре. Расчётное уравнение было применено к эксперимен тальной установке системы БПЭ с последовательной топологией, разработанной для электротележки ЕТ-20132 и оборудованной беспроводной зарядной станцией. Таким образом, расчётные значения практически совпали с экспериментальными данными.

Список литературы

1. Фриск В.В. Исследование беспроводной технологии передачи электричества // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Том 12. №7, с.29-32.
2. V. M. Zavylov, I. Y. Semykina (C.A.), S. A. Abeidulin, E. A. Dubkov, and A. S. Veliliaev. Criteria for Choosing of Resonant Circuit Parameters of Wireless Power Transfer Charging System Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering 01 (2022) 2236.
3. Зевеке Г.В. Основы теории цепей. Учебник для вузов. Авторы: Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. 5-е издание, переработанное. Москва: Энергоатомиздат, 1989г. 519 с.
4. Завьялов В.М. Анализ влияния параметров резонансного контура на КПД системы беспроводной передачи энергии. / Завьялов В.М., Гайдук С.В., Абейдулин С.А., Углова М.Б.// Вопросы Электротехнологии 2023. №1(38). С.37-46.

References

1. Frisk V.V. Study of wireless technology for transmitting electricity // T-Comm: Telecommunications and transport. 2018. Volume 12. No. 7, pp. 29-32.
2. V. M. Zavylov, I. Y. Semykina (C.A.), S. A. Abeidulin, E. A. Dubkov, and A. S. Veliliaev. Criteria for Choosing of Resonant Circuit Parameters of Wireless Power Transfer Charging System Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering 01 (2022) 2236.
3. Zeveke G.V. Fundamentals of circuit theory. Textbook for universities. Authors: G.V. Ze-veke, P.A. Ionkin, A.V. Netushil, S.V. Strakh. 5th edition, revised. Moscow: Energoatomizdat, 1989. 519 pp.
4. Zavyalov V.M. Analysis of the influence of resonant circuit parameters on the efficiency of a wireless power transmission system. / Zavyalov V.M., Gaiduk S.V., Abeydulin S.A., Uglova M.B.// Issues of Electrical Technology 2023. No. 1(38). P.37-46.

УДК 621.311.24, 620.92

Возможности увеличения эффективности использования фотоэлектрических преобразователей

А.С. Жильцов [1], А.Г. Косий [2], А.С. Владимиров [3], А.Н. Фролова [4], Н.А. Власов [5]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия. [1]29novel@gmail.com, [2]kosiandr@bk.ru, [3]Fontan129a@mail.ru, [4] ANFrolova@sevsu.ru, [5]Mr.asphodel@mail.ru

Статья поступила 20.02.2024 г.; после доработки 26.02.2024 г.

Аннотация
Приведены исследования работы фотоэлектрических преобразователей при солнечном излучении и возможность их использования для выработки электрической энергии в энергосистемы Крымского полуострова.

Ключевые слова: солнечный концентратор, фотоэлектрический преобразователь, поток солнечной радиации, возобновляемая энергетика, солнечная батарея.

Opportunities to increase the efficiency of use photovoltaic converters

A.S. Zhiltsov[1], A.G. Kosiy[2], A.S. Vladimirov[3], A.N. Frolova[4], N.A.Vlasov[5]
Sevastopol State University, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia,
[1]29novel@gmail.com, [2]kosiandr@bk.ru, [3]Fontan129a@mail.ru, [4] ANFrolova@sevsu.ru, [5]Mr.asphodel@mail.ru

Received 20.02.2024y.; received in final form 26.02.2024y.

Abstract
Studies of the operation of photovoltaic converters under solar radiation and the possibility of their use to generate electric energy in the energy systems of the Crimean Peninsula are presented.

Keywords: solar concentrator, photoelectric converter, solar radiation flux, renewable energy, solar battery.

Введение

Энергетика большинства стран, так же, как и Российской Федерации, как и раньше, базируется в основном на использовании органического топлива с негативным влиянием на окружающую среду. Работа промышленных предприятий, общественного транспорта, электростанций и котельных приводит к возникновению ряда негативных процессов: загрязнению атмосферы – возникновение кислотных дождей, разрушение зданий, заболеванию лесов, загрязнение сточными водами водоёмов, что вызывает их старение. То есть деятельность промышленных предприятий, электростанций и котельных приводит к «заболеванию» всей окружающей среды в целом. Всё это негативно сказывается на здоровье и самих людей. Увеличивается смертность и частота проявления различных заболеваний, в том числе онкологических. Внедрение технологий энергосбережения и электроустановок, использующих экологически чистые возобновляемые источники энергии, на локальном уровне в сумме позволит значительно снизить эти негативные явления. И, кроме того, будет способствовать сбережению ресурсов (угля, воздуха, воды, нефти и газа). Согласно подписанным международным договорам, государство РФ обязуется наращивать производство электроэнергии за счет внедрения нетрадиционных возобновляемых источников, а также, согласно подписанному Парижскому соглашению, наша держава обязуется ограничивать выбросы в атмосферу углекислого газа.

Актуальность темы

Применение солнечных установок для обеспечения индивидуальных и промышленных потребителей электрической энергией позволяет снизить использование природного газа и другого органического топлива, необходимых для производства электроэнергии, а также позволяет существенно сократить вредные выбросы в атмосферу, образующиеся в результате сгорания различных видов топлив на тепловых электростанциях [1]. Использование вместо органических топлив в промышленности, на транспорте и в коммунальном хозяйстве солнечных установок позволяет значительно сократить выбросы в атмосферу углекислого газа, уменьшить парниковый эффект и глобальное потепление на планете. Особо актуально это для крымского региона, не имеющего в достаточном количестве электрических станций. Как известно в Крыму основная доля электроэнергии поступает из других областей России или вырабатывается тепловыми электростанциями. Использование автономных фотоэлектрических установок на жилых домах позволяет также сократить потери электроэнергии на линиях электропередачи, которые по разным оценкам в России составляют от 10 до 20 %. Отдельно следует отметить работу грузопассажирского транспорта в условиях Крымского полуострова. Основные энергетические нагрузки по работе крымского железнодорожного и троллейбусного транспорта идут опять же на тепловые электростанции, вырабатывающие основную долю электроэнергии в Крыму. Поэтому можно смело утверждать, что любое увеличение выработки электроэнергии за внедрения нетрадиционных возобновляемых источников энергии способствует энергосбережению на крымских автомобильных и железных дорогах [2].

Солнечные электростанции, в отличие, не только от традиционных электростанций, но и от электростанций, преобразовывающих возобновляемые источники энергии (ветроэлектростанции, геотермальные, приливные, гидроэлектростанции) можно устанавливать в непосредственной близости от потребителя. Это, пожалуй, единственные из известных электростанций, которые можно устанавливать непосредственно в центре густонаселенных городов, для обеспечения электроэнергией промышленных предприятий, объектов коммунального и рекреационного хозяйства [2].

При этом кремниевые фотоэлектрические установки могут иметь достаточно долгий срок службы (при хорошем качестве исполнения и правильной эксплуатации их срок службы может достигать 20-40 лет, а по прогнозам и до 100 лет) [3]. Цены на сами солнечные батареи год от года существенно снижаются. Все это позволяет повысить их конкурентоспособность на рынке электрооборудования.

Постановка цели и задач научного исследования

Задачей автора являлось исследование серийных фотоэлектрических преобразователей с целью повышения выработки электрической энергии за счёт использование отражающих поверхностей стен зданий, дорожных покрытий, водной поверхности и др. в качестве концентраторов солнечного излучения для солнечных батарей [4]. Конечной целью исследования было рассмотрение путей снижения стоимости солнечных установок, что способствует более быстрому внедрению экологически чистых мощностей для выработки электроэнергии в наш быт.

Одним из направлений снижения себестоимости фотоэлектрических модулей, может являться использование для концентрации светового потока на рабочую поверхность солнечные установок плоских отражающих покрытий. Основным элементов концентратора, представляющего собой плоский фоклин, являются плоские отражатели с селективным или не селективным покрытием, расположенные под определенным углом к нормали [5]. Предел концентрации светового потока для так называемы плоских фоклинов составляет 3 раза. Себестоимость зеркал на порядок ниже себестоимости фотоэлектрических элементов. Увеличение освещенности в 2-3 раза не требует дополнительного отвода тепла от рабочей поверхности солнечного модуля.

Результаты исследования

Исследования работы солнечных батарей с плоскими концентраторами излучения были проведены на фотоэлектрических модулях, выпускаемых Российскими предприятиями. При увеличении освещенности солнечной батареи ток, вырабатываемый ей, увеличивается в прямой зависимости (рис.1) [6]. Теоретически при больших освещенностях (в десятки раз) ток будет увеличиваться еще сильнее.

При проведении исследований было установлено, что при применении концентраторов светового потока мощность, вырабатываемая фотоэлементом, увеличивалась до 40 % (рис. 2).

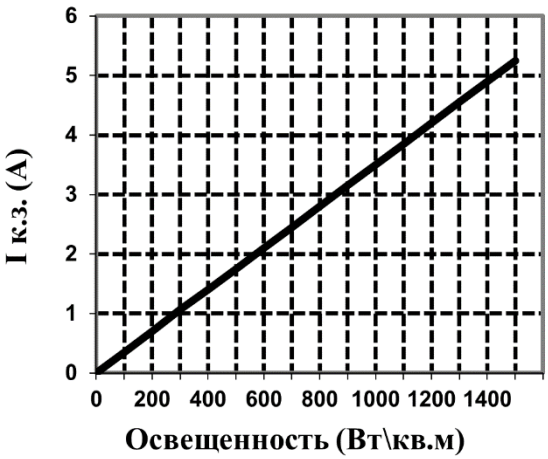


Рис.1. Зависимость тока короткого замыкания фотопреобразователя (использован модуль мощностью 50 Вт) от солнечной освещенности рабочей поверхности

Напряжение и ток в рабочей точке менялись, причем напряжение при увеличении освещенности немного падало, что свидетельствует о смещении рабочей точки, а ток и мощность в целом возрастали. Большое значение при увеличении мощности имеют геометрические размеры солнечных модулей и плоских зеркал. Так для модуля площадью 0,46 м^2 увеличение мощности составляет 35 %, а для модуля площадью 0,12 м^2 – до 75 % при одинаковой площади зеркал.

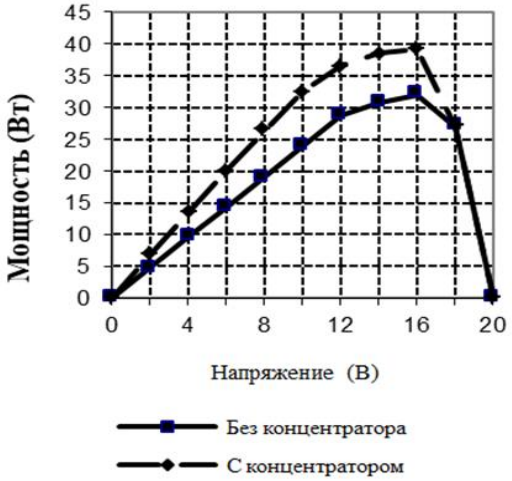


Рис. 2. Зависимость увеличения мощностных характеристик фотоэлектрического модуля мощностью 50 Вт при сконцентрированном солнечном излучении.

В целом плоские концентраторы могут быть применены, как в производстве переносных солнечных модулей, так и в производстве крупных солнечных электростанций, фотоэлектрические модули для которых выпускаются на различных украинских и зарубежных предприятиях.

Различие в увеличении мощности для различных фотоэлектрических панелей (от 25 и до 45 %) объясняется большей концентрацией светового потока на единицу площади приемной поверхности.

Экологический эффект от использования фотоэлектрических установок

Использование предложенных нами недорогих плоских солнечных концентраторов позволяет в 2-3 раза повысить выработку электроэнергии, уже существующими фотоэлектрическими установками, и при этом соответственно сократить цену на единицу их номинальной мощности. При этом для увеличения выработки электроэнергии солнечными батареями не приходится увеличивать производство солнечных элементов, которое само по себе является вредным и сопровождается опасными выбросами в атмосферу. В таблице 1 приведены данные о выбросах, производимых тепловыми электростанциями.

***Таблица 1**. Выбросы в атмосферу отходов электростанций мощностью 1 млрд Вт, работающих на разных видах ископаемого топлива, т/год*

Ископаемое топливо	Выбросы, т/год				
	пыль	угарный газ	оксиды азота	двуокиси серы	углеводороды
Уголь	3000	2000	27000	110000	400
Нефть	1200	700	25000	37000	470
Газ	500	-	20000	20	34

В данной работе не рассматривается возможность использования для отопления и горячего водоснабжения солнечных водонагревательных установок (гелиоколлекторов). Экологическая польза от использования этих установок еще более высока. Поэтому я хочу привести данные экспертов Европейского союза, работавших в Крыму по программе TASIS о количестве вредных выбросов в атмосферу Крыма и возможность сокращения их за счет внедрения солнечных установок (Таблица 2).

Таким образом, применение только фотоэлектрических установок позволит снизить вредные выбросы в атмосферу и снизить экономический и экологический ущерб в несколько раз.

Использование описанных выше установок для обеспечения индивидуальных потребителей и промышленных объектов позволяет снизить использование природного газа и другого органического топлива, необходимых для производ-

ства электроэнергии, а также позволяет существенно сократить вредные выбросы в атмосферу.

Таблица 2.

Наименования загрязняющих веществ	Показатели по видам топлив (т/год)		
	Уголь	Нефть	Природный газ
Углекислый газ (CO_2)	30 603	24 054	16 206
Двуокись серы (SO_2)	536	508	-
Окислы азота (NO_2)	56	100	19
Твердые частицы	920	32	1

Особо следует отметить возможность использования солнечных батарей для обеспечения отдаленных потребителей, у которых отсутствует централизованная подача электроэнергии. Такими потребителями являются не только небольшие сезонные объекты: пасеки, полевые лагеря, туристические базы, и др., но и довольно крупные стационарные: метеостанции, лесоводческие хозяйства, фермы. Часто для этих объектов было невыгодно тянуть линия электропередачи, поэтому раньше и сейчас на них устанавливают дизельные и бензиновые электрогенераторы, не рассматривая возможность использования солнечных батарей.

Заключение

Приведенные исследования на серийных солнечных элементах позволяют сделать следующие основные выводы:

- внедрение солнечных установок позволит снизить вредные воздействия на окружающую среду котельных и тепловых электростанций;
- применение плоских отражающих покрытий для солнечных батарей позволит, не увеличивая вредное производство кремниевых элементов повысить выработку электроэнергии существующими фотоэлектрическими электроустановками;
- в целях экономии средств сборка фотоэлектрических модулей может производиться на базе малых лабораторий, что также будет способствовать более быстрому внедрению солнечных электроустановок в хозяйственную деятельность;
- использование солнечных батарей особенно важно для обеспечения отдаленных потребителей, у которых отсутствует централизованная подача электроэнергии.
- согласно различным межгосударственным договорам (например, Киотский протокол), государства, существенно ограничивающие выбросы в атмосферу вредных веществ и углекислого газа будут иметь не только экологический, но и экономический эффект.

Список литературы

1. Раушенбах Г, Справочник по проектированию солнечных батарей: Пер. с англ.\ Под ред. М.М. Колтуна. М.: Энергоатомиздат, 1983.
2. Изменение мощностных характеристик фотоэлектрических установок при различных климатических факторах / Кувшинов В. В. // Энергетические установки и технологии. 2017. Т. 3. № 2. С. 61-66.
3. Изменение мощностных характеристик фотоэлектрических установок при различных климатических факторах / Кувшинов В.В. // Энергетические установки и технологии. 2017. Т. 3. № 2. С. 61-66.
4. Баранов В. Я. Новые концентраторы излучения и перспективы их применения в оптике и гелиотехнике. — Тр. ГОИ, 1979, т. 45, выл, 179, с. 57-70.
5. Баранов В. К., Васильева Л. В. И др. Селективно отражающеё металлическое зеркало. — Гелиотехника, 1966, № 2, с. 9-11.
6. М.М. Колтун, Оптика и метрология солнечных элементов. М.: Наука, 1985, 300 с.

References

1. Rauschenbach G., Handbook for the design of solar panels: Trans. from English\ Ed. MM. Koltuna. M.: Energoatomizdat, 1983.
2. Changes in the power characteristics of photovoltaic installations under various climatic factors / Kuvshinov V.V. // Energy installations and technologies. 2017. T. 3. No. 2. P. 61-66.
3. Changes in the power characteristics of photovoltaic installations under various climatic factors / Kuvshinov V.V. // Energy installations and technologies. 2017. T. 3. No. 2. P. 61-66.
4. Baranov V. Ya. New radiation concentrators and prospects for their use in optics and solar technology. - Tr. GOI, 1979, vol. 45, howl, 179, p. 57-70.
5. Baranov V.K., Vasilyeva L.V. et al. Selective reflecting metal mirror. - Solar engineering, 1966, No. 2, p. 9-11.
6. M.M. Koltun, Optics and metrology of solar cells. M.: Nauka, 1985, 300 p.

УДК 621.039:628.1'17

Ультразвук в технологиях борьбы с биообрастаниями в системах оборотного водоснабжения на АЭС

Т.Г. Зацаринная[1], Н.А. Мороз[2], К.П. Аникевич[1],
Е.Л. Неврова[3], А.Н. Петров[3]

[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия,
[2]АО «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций»,
Ферганская, 25, г. Москва, 109507, Россия,
[3]ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», пр. Нахимова, 2,
г. Севастополь, 299011, Россия
[1]biochip@mail.ru, [2]sv_nata@mail.ru, [1]anikonst@mail.ru, [3]el_nevrova@mail.ru, [3]alexpet-14@mail.ru

Статья поступила 05.02.2024 г.; после доработки 07.02.2024 г.

Аннотация

В данной статье представлена разработанная электрическая схема ультразвуковой установки (УЗУ) с кратким описанием ее элементного состава. Данное устройство позволяет обеспечить превентивную защиту от обрастателей систем технического водоснабжения. Приведены результаты лабораторных и натурных экспериментов, подтверждающие эффективность работы подобных УЗУ.

Ключевые слова: атомная электростанция, ультразвуковая установка, биопомехи, мониторинг, метод, излучатель, микросхема, приборы.

Ultrasound in Biofouling Control Technologies in Circulating Water Supply Systems at Nuclear Power Plants

T.G. Zatsarinnaya[1], N.A. Moroz[2], K.P. Anikevich[1], E.L. Nevrova[3], A.N. Petrov[3]

[1]Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
[2]All-Russian Research Institute for Nuclear Power Plants Operation JSC, 25 Ferganskaya st., Moscow, 109507, Russia
[3]A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, 2 Nakhimov av.,
Sevastopol, 299011, Russia
[1]biochip@mail.ru, [2]sv_nata@mail.ru, [1]anikonst@mail.ru, [3]el_nevrova@mail.ru, [3]alexpet-14@mail.ru

Received 05.02.2024 y.; received in final form 07.02.2024 y.

Abstract

This article presents the developed electrical circuit of an ultrasonic device (UD) and also a brief description of its units. This device allows providing a preventive protection against fouling of technical water supply systems. The results of long-term experiments which were carried out in the laboratory and marine area with purpose to prove efficiency of such UD are given in the article.

Keywords: nuclear power plant, ultrasonic device, biointerference, monitoring, method, oscillator, microchip, devices.

Введение

В реальных условиях эксплуатации атомных электростанций в элементах системы технического водоснабжения (СТВ) формируются биологические помехи, прямо или косвенно обусловленные живыми организмами – обрастателями. Биологические обрастания состоят из сообществ бактерий, микро- и макроводорослей,

моллюсков, губок, мшанок, усоногих ракообразных, трубчатых полихет, асцидий и других организмов, поселяющихся и развивающихся на теплообменной поверхности аппаратов, в трубопроводах и на конструкциях охладителей оборотной воды [1; 2; 3]. На начальном этапе сукцессии перифитона формируется бактериально-водорослевая плёнка на элементах СТВ АЭС и иного оборудования, контактирующего с циркуляционной охлаждающей водой [4]. Многочисленные примеры свидетельствуют о засорении СТВ гидробионтами – дрейссеной на Калининской АЭС в 2015 г., мшанкой на Курской АЭС в 2014 г. и 2016 г. [5; 6].

Появление в трубах и на стенках теплообменных аппаратов АЭС биологических обрастаний снижает напор воды, в результате чего насосы не в состоянии подавать требуемый для охлаждения объем. Ухудшение условий теплопередачи и уменьшение расхода воды приводят к снижению эффекта охлаждения, нарушению технологических режимов работы теплообменных аппаратов, нестабильности работы оборудования АЭС и снижению мощности энергоблоков, и как результат – к недовыработке электроэнергии и значительным экономическим потерям [1, 5, 6, 7]. Суммарный ущерб за последнее время от биообрастаний на АЭС и ТЭС превысил 11 млрд. руб.

В соответствии с требованиями Стандарта организации [СТО][1] при эксплуатации систем технического водоснабжения должны быть обеспечены бесперебойная подача охлаждающей воды в необходимом количестве, регулирование температурного режима и предотвращение загрязнений технологического оборудования. Для своевременного предотвращения критических ситуаций на всех АЭС проводится непрерывный биолого-химический мониторинг водоемов-охладителей и других элементов СТВ. На основе анализа полученных мониторинговых данных оцениваются риски формирования биологических обрастаний и возникновения биопомех, с учетом которых разрабатываются рекомендации и мероприятия по борьбе с ними.

Применяемые в настоящее время методы борьбы с биообрастаниями на АЭС подразделяют на физические (термическая обработка, ультрафиолетовое излучение, обработка ультразвуком и пр.), физико-химические (использование необрастающих покрытий, применение малообрастающих материалов), химические (обработка пестицидами, углекислым газом, хлорирование, озонирование и др.), биологические (разработка биоактивных соединений), а также комплексные. Основная цель данных методов состоит в том, чтобы оказать влияние на жизнеспособность гидробионтов-обрастателей таким образом, чтобы их развитие не смогло вызвать деградацию потока в СТВ.

Однако необходимо учитывать, что каждый водный организм играет свою важную роль в экосистеме водоема, например, дрейссены и усоногие раки являются фильтраторами воды и способствуют ее очищению, микро- и макроводоросли не только служат первичными продуцентами углерода, но и важнейшими источниками кислорода и первичным звеном трофической цепи. В связи с этим целесообразно разрабатывать и применять технологии превентивной борьбы с биопомехами, которые будут не уничтожать организмы, а лишь отпугивать, предотвращая их прикрепление и формирование сообществ обрастаний на поверхности элементов СТВ.

Из-за сложности характера водной жизни, которая колонизирует подводную поверхность, прямое и однозначное решение проблемы биологического обрастания невозможно, в связи с чем современный подход к борьбе с биообрастаниями должен объединять не только комплекс мер реагирования на данную проблему, но также стратегию по предупреждению развития биологических помех (рис. 1). Выбор превентивной стратегии должен быть актуализирован для каждого объекта энергетики и основан на априорной информации о режиме водоснабжения, типе СТВ, на мониторинговом прогнозе. Все мероприятия, проводимые в рамках данной стратегии, должны быть экологически безопасными.

В 2020 году АО «Всероссийским научно-исследовательским институтом по эксплуатации атомных электростанций (ВНИИАЭС)» успешно выполнен аванпроект по теме: «Разработка технологии борьбы с биологическими обрастаниями технологического оборудования систем оборотного водоснабжения на АЭС (АП-19/246)» [6]. Выполненный объем работ в рамках данного проекта и анализ патентных исследований подтвердили, что ультразвуковые установки (УЗУ) – это один из инструментов по борьбе с биопомехами.

[1] СТО 1.1.1.01.0678-2015 «Основные правила обеспечения эксплуатации атомных станций».



Рис. 1. Принципиальные блоки схемы создания и оптимизации стратегии по борьбе и предотвращению биопомех с использованием мониторинга для выработки, пробной реализации и последующей верификации стратегии защиты от обрастания на примере объекта топливной энергетики [5].

Технология, реализованная по методу ультразвуковой обработки, позволяет вести борьбу с биообрастаниями без необходимости останова технологического оборудования, как это принято в ходе плановых ремонтов, и может быть встроена в автоматизированный технологический процесс без изменения проекта СТВ АЭС.

Активные работы по созданию УЗУ начались довольно давно. Так, Вуд и Лумис в 1927 г. наблюдали разрушение водорослей Spirogyra и Paramecium под воздействием ультразвука неизвестной интенсивности [8].

Многочисленные исследования по изучению ультразвука, как эффективного средства в борьбе с биообрастаниями и опасными микроорганизмами в водоемах, проводились в различных странах. Выявлено, что соотношение скорости и доли гибели некоторых бактерий и организмов перифитона (личинки и молодь моллюсков, балянусов, многощетинковых червей и др.) находятся в зависимости от продолжительности воздействия, частоты и удельного давления волн ультразвука [6, 9, 10, 11; 12]. Производственные компании занимались разработками УЗУ, к примеру, Sonic Solutions (США, устройства серии SS), LG Sound (Нидерланды, устройства MPC Buoy, XXL) и другие, но, по предположению Е.Ю. Киселева с соавторами [13], некоторые устройства могут быть копиями или перемаркированными изделиями других производителей.

Несмотря на то, что УЗ давно используют в различных отраслях науки, техники, медицины и биологии, его влияние на различные таксономические группы организмов требует еще более детального изучения, поэтому актуальность дальнейшей разработки, создания и совершенствования ультразвуковых установок по-прежнему несомненна. В связи с вышеизложенным, наша работа посвящена обзору технического обоснования и результатов практического применения УЗУ для борьбы с биообрастаниями систем технического водоснабжения.

Материал и методы

Теоретическое обоснование и принципиальная схема работы УЗУ. Основным процессом при распространении в жидкости мощного низкочастотного ультразвука в диапазоне от 20 кГц до 100 кГц при амплитудах переменного звукового давления порядка единиц атмосфер и выше является кавитация. Согласно современным представлениям, кавитация включает в себя пульсацию, схлопывание и различные виды движений пузырьков в жидкости под действием переменного звукового давления [14].

Когда акустическая продольная волна распространяется через жидкость, то общее внешнее давление P(t), испытываемое макроскопическим объемным элементом, складывается из двух составляющих: статической и динамической части. Таким образом, P(t) задается формулой [15]:

$$P(t) = P_0 + P_A \sin(\omega t),$$

где P_0 - статическое давление (обычно атмосферное давление), бар, P_A - максимальная амплитуда акустического сигнала, бар, а ω - угловая частота акустической волны, рад/с.

Интенсивность ультразвука акустической волны, частота которой превышает 20 кГц, определяется по формуле [15]:

$$I = \frac{P_A^2}{2\rho \cdot c}, \quad (1),$$

где ρ - плотность, г/см3, а c - скорость звука, м/с. Произведение $\rho \cdot c$ называется акустическим сопротивлением жидкости.

Формула (1) позволяет рассчитать динамическую составляющую давления продольной волны, к примеру, распространяющейся через жидкость с частотой 1,0 кГц. Если учесть, что интенсивность ультразвука составляет 3 Вт/м^2, плотность ρ = 1,0 г/см^3, а скорость звука c = 1500 м/с, то давление будет изменяться от 3,0 до -3,0 бар тысячу раз в секунду. Этот пример показывает, что даже при умеренной интенсивности звука жидкость будет находиться под воздействием значительного внешнего давления.

Известно, что почти полную гибель личинок двустворчатого моллюска дрейссены вызывает непрерывное УЗ воздействие мощностью 100–800 Вт, напряжением 438 В и частотой 17–22 кГц в течение нескольких суток, при этом процент гибели резко возрастает с увеличением частоты и силы звукового давления [6]. В целом, результаты лабораторных (на Ростовской АЭС) и натурных испытаний (в Институте биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН (ИнБЮМ)) подтвердили, что задачи УЗ защиты от обрастания оборудования СТВ должны решаться не только путем повышения мощности и интенсивности [3]. В связи с вышеизложенным, представляется важным продолжение научных исследований по изучению воздействия УЗ на гидробионтов с целью подбора таких параметров работы УЗУ, которые смогли бы превентивно препятствовать оседанию, прикреплению и развитию перифитона на всех этапах сукцессии сообществ, всех стадиях жизненного цикла организмов – обрастателей из различных таксономических групп. Важно, при этом, минимизировать негативное влияние ультразвука на состояние иных компонентов водных сообществ в экосистемах водоемов-охладителей [14].

С целью дальнейшего продолжения совершенствования эксплуатационных параметров УЗУ разработана электрическая схема и собран экспериментальный образец установки (рис. 2 а, б).

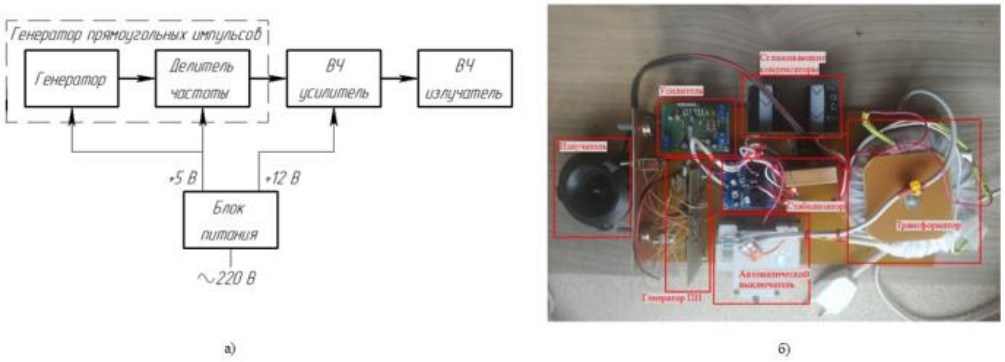


Рис. 2. Структурная схема (а) и экспериментальная установка для борьбы с биобрастаниями в сборе (б).

Основные блоки в составе УЗУ - это генератор прямоугольных импульсов (ПИ), блок питания, высокочастотный (ВЧ) усилитель, ВЧ излучатель, реализованные на современных элементах электронной аппаратуры (рис. 3).

Генератор прямоугольных импульсов собран на двух микросхемах: NE555 [16] и SN74HC74 [17]. Генератор импульсов на базе микросхемы NE555 выдает импульсы прямоугольной формы, но с коэффициентом заполнения не обязательно равным 0,5 (длительность сигнала высокого уровня не равна длительности сигнала низкого уровня).

В режиме генератора импульсов частотой и скважностью можно управлять независимо с помощью внешних резисторов *R5* и (*R6*+*R7*) и внешнего конденсатора *C9* или *C10* (рис. 4). Частота следования импульсов определяется формулой [16]:

$$f = \frac{1}{0{,}693 \cdot (R_1 + 2 \cdot (R_2 + R_3)) \cdot C_n}, \qquad (2)$$

где Cn – емкость, Ф; R – сопротивление, Ом; f – частота, Гц.

Длительности сигналов высокого t_L и низкого t_H уровней определяются формулами

$$t_L = 0{,}693 \cdot (R_2 + R_3) \cdot C_n$$

и

$$t_H = 0{,}693 \cdot (R_1 + (R_2 + R_3)) \cdot C_n.$$

Вторая микросхема в составе генератора прямоугольных импульсов (SN74HC74) содержит два независимых D-триггера с положительным фронтом срабатывания. Здесь D-триггер – делитель частоты, переключающий значение на своем выходе только по фронту сигнала, тем самым устанавливая коэффициент заполнения импульсов равным 0,5 (скважностью 2) хоть и меньшей частоты.

Аналоговая интегральная микросхема (NE555) – универсальный таймер – формирует одиночные и повторяющиеся импульсы со ста-

бильными временными характеристиками, которые и поступают на вход синхронизации D-триггера. Выходной сигнал D-триггера подается на вход ВЧ усилителя.

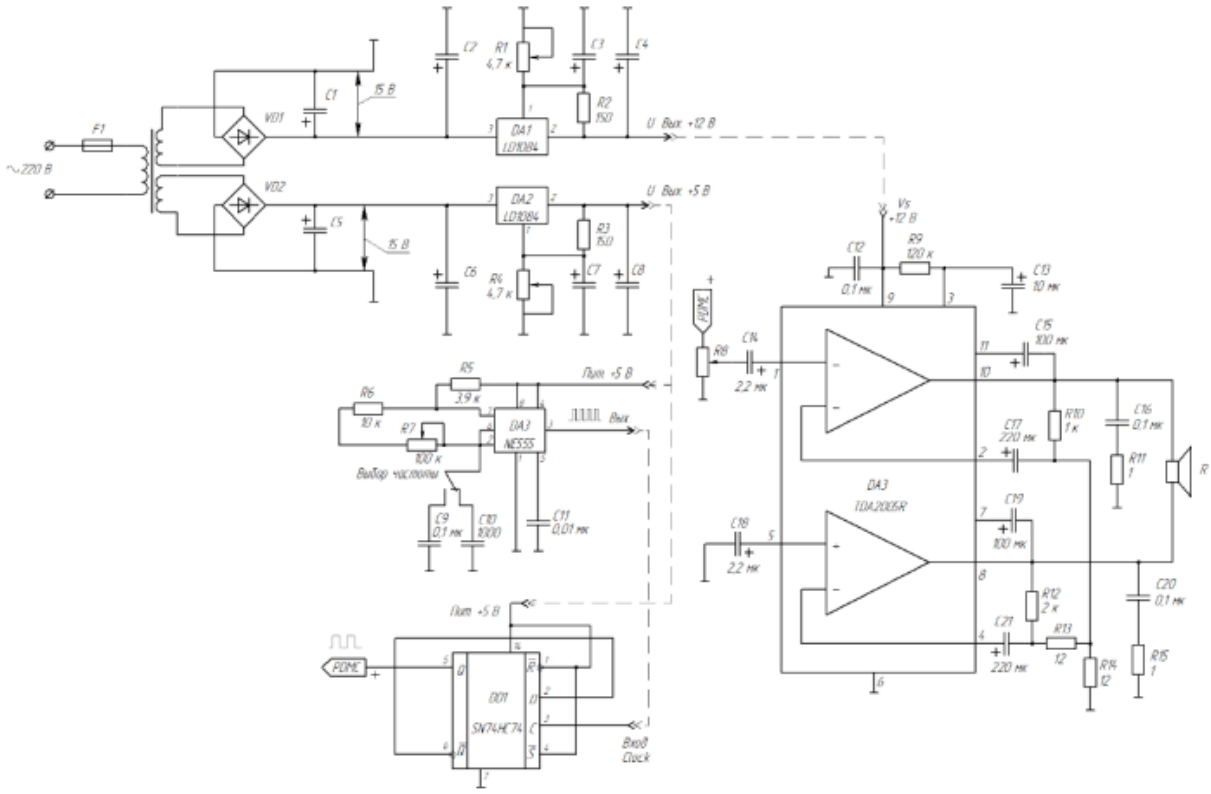


Рис. 3. Принципиальная схема экспериментальной ультразвуковой установки для борьбы биообрастаниями.

Высокочастотный усилитель собран на базе микросхемы TDA2005R [18]. На входе ВЧ усилителя установлен переменный резистор *R8* для регулирования уровня входного сигнала потенциометрическим способом. В качестве полезной нагрузки усилителя включен высокочастотный излучатель. На ВЧ подается стабилизированное напряжение 12 В, которое обеспечивает блок питания.

Блок питания выдает стабилизированное напряжение 5 В и 12 В и в его состав входит тороидальный трансформатор с двумя вторичными обмотками, который обеспечивает гальваническую развязку цепей. Переменное напряжение со вторичных обмоток трансформатора преобразуется в двухполупериодном выпрямителе, построенном на основе конфигурации с четырьмя диодами (схема Греца), в пульсирующее напряжение постоянной полярности. Пульсации сглаживаются фильтрами, в качестве которых используются конденсаторы большой емкости (*C2* и *C6*, рис. 3). На выходе конденсаторов все же присутствует небольшой уровень пульсации, а напряжение составляет 15 В. Для получения стабилизированного напряжения определенно заданного значения в смехе блока питания применен регулируемый стабилизатор напряжения на интегральной микросхеме LD1084. При помощи подстроечного резистора *R1* на одном стабилизаторе выставлено напряжение в 5 В, оно необходимо для дальнейшего питания генератора импульсов, собранного на микросхеме NE555, и делителя частоты, представленного D-триггером, а на другом стабилизаторе выставлено напряжение 12 В, предназначенное для питания усилителя на микросхеме TDA2005R.

LD1084 [19] – это стабилизатор напряжения, обеспечивающий выходной ток до 5 А. При максимальном выходном токе гарантируется просадка выходного напряжения не более 1,5 В. Выходная характеристика прямого падения напряжения зависит от тока нагрузки (рис. 4). LD1084 обладает лучшими характеристиками с точки зрения допуска падения и выходной мощности по сравнению трехконтактными стабилизаторами. В отличие от других стабилизаторов, где часть выходного тока расходуется впустую в

виде тока покоя, ток покоя LD1084 поступает в нагрузку, что повышает эффективность. Для обеспечения стабильности необходим конденсатор емкостью не менее 10 мкФ. Устройство поставляется в корпусе TO-220. Встроенная регулировка позволяет стабилизатору достигать очень жесткого допуска по выходному напряжению в пределах ±1% при 25°C.

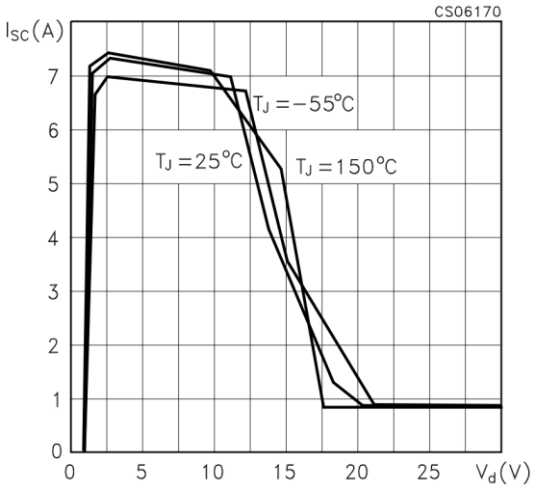


Рис. 4. Выходная характеристика прямого падения напряжения в зависимости от тока нагрузки [19].

Используя формулу (2) и учитывая, что SN74HC74 является делителем частоты на 2, можно рассчитать выдаваемую частоту звукового диапазона на выходе SN74HC74. Полагая, что $R1 = 3.9$ кОм, $R2 = 2$ кОм, $C1 = 5100$ пФ получим формулы:

– при $R3 = 100$ кОм

$$f_{min1} = \frac{0{,}5}{0{,}693 \cdot 10^3 (3{,}9 + 2(2 + 100))} \times$$

$$\times \frac{1}{5100 \cdot 10^{-12}} = 680 \; Гц;$$

– при $R3 = 0$ кОм

$$f_{max1} = \frac{0{,}5}{0{,}693 \cdot 10^3 (3{,}9 + 2(2 + 0))} \times$$

$$\times \frac{1}{5100 \cdot 10^{-12}} = 17908 \; Гц;$$

Для смежного ультразвукового диапазона на выходе SN74HC74 выдаваемая частота ($R1 = 3.9$ кОм, $R2 = 2$ кОм, $C2 = 200$ пФ):

– при $R3 = 100$ кОм

$$f_{min2} = \frac{0{,}5}{0{,}693 \cdot 10^3 (3{,}9 + 2(2 + 100))} \times$$

$$\times \frac{1}{200 \cdot 10^{-12}} = 17352 \; Гц;$$

– при $R3 \approx 30$ кОм

$$f_{max2} = \frac{0{,}5}{0{,}693 \cdot 10^3 (3{,}9 + 2(2 + 30))} \times$$

$$\times \frac{1}{200 \cdot 10^{-12}} = 53135 \; Гц.$$

Таким образом, разработанная лабораторная установка хотя и является маломощной (20 Вт), но позволяет создавать диапазон ультразвуковых волн от 17 до 53 кГц и эффективно воздействовать на биообрастателей СТВ, что подтверждается результатами лабораторных экспериментов.

Экспериментальные исследования УЗУ в лабораторных и натурных условиях. Для оценки эффективности защиты от биообрастаний гидротехнических сооружений АЭС протестированы разнорежимные параметры излучения УЗУ в ходе длительных экспериментов в лабораторных и полевых условиях на базе ИнБЮМ [3].

На первом этапе эксперимента в лабораторных условиях, имитирующих естественную среду, использованы в качестве субстрата пластины размером 5,5×6,5 см из нержавеющей стали марки А-3 и пластины размером 10×18 см из цемента марки М-500. Пластины закреплены на держателях в 40-литровых контейнерах – контрольном (КК) и экспериментальном (ЭК), по 13 шт. стальных и бетонных пластин в каждом (рис. 5 a, b). Далее контейнеры заполнены нефильтрованной морской водой, отобранной из бухты Севастопольская, которую заменяли каждые два дня. В ходе эксперимента на опытные образцы субстрата поэтапно оседали и прикреплялись компоненты фитоперифитона, среди которых доминировали бентосные диатомовые микроводоросли (Bacillariophyta). На ЭК воздействовали УЗ с помощью пяти высокочастотных излучателей с постоянной контролируемой мощностью 500 Вт, частотой 27150…27300 Гц, силой тока 3 А, продолжительностью излучения 4 часа по три раза в неделю (рис. 5 c). Расстояние от излучателей до поверхности воды в ЭК составляло 10 см.

КК изолировали от УЗУ с помощью листов пенопласта, оргстекла и плотной резины толщиной 1,5 см. Для предотвращения нагрева морской воды в ЭК при работе УЗУ установлен прибор HAILEA, одновременно понижающий температуру воды в ЭК в течение 4 часов работы УЗУ и термостатирующий воду в обоих контейнерах (19±0,5 ºС) (рис. 5 c). В лаборатории поддерживали постоянные условия освещения 8/16 ч и вентиляции, необходимые для нормальной жизнедеятельности фитоперифитона. Эксперимент продолжали 4 месяца (с сентября по декабрь 2021 г.)



Рис. 5. Длительный эксперимент в лабораторных условиях, имитирующих естественную среду: a – КК с пластинами из цемента и стали; b – ЭК с УЗУ и такими же пластинами; c – приборы для настройки и поддержания временно́го и мощностного режима работы УЗУ (вверху) и устройство для охлаждения и термостатирования HAILEA (внизу) [3].

По истечении каждого месяца эксперимента по два образца бетонных и стальных пластин изымали из каждого контейнера, фитоперифитон с поверхности пластин снимали с помощью скальпеля и щетки на участке 5,5×6,5 см и смывали фильтрованной морской водой. Объем каждого смыва доводили до 100 мл, затем суспензию исследовали под световым микроскопом Carl Zeiss Axiostar+ при увеличении × 400 на водных препаратах. Таксономическую идентификацию проводили по микрофотографиям постоянных препаратов, изготовленных по [20], полученным с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Hitachi SU3500.

Клетки диатомовых просчитывали в камере Горяева в двух повторностях, затем результаты пересчитывали на 1 м^2 поверхности субстрата [21] по формуле:

$$N = \frac{(a \times V)}{\left(S \times 10^{-4} \times 7 \times 10^{-3}\right)} \text{ (экз. } \times \text{ м}^{-2}\text{)},$$

где a – число клеток в объеме 0,007 мм^3; V – определенный объем пробы, 100 мм^3; S – площадь поверхности пробы, 35,75 см^2.

На втором этапе такие же пластины закреплены на контрольном (КС) и экспериментальном (ЭС) стенды и экспонированы на дне морской акватории радиобиологического корпуса (РБК) ИнБЮМ, на глубине 0,5–0,7 м, в течение 5 месяцев (с апреля по сентябрь 2022 г.) (рис. 6 a-i).

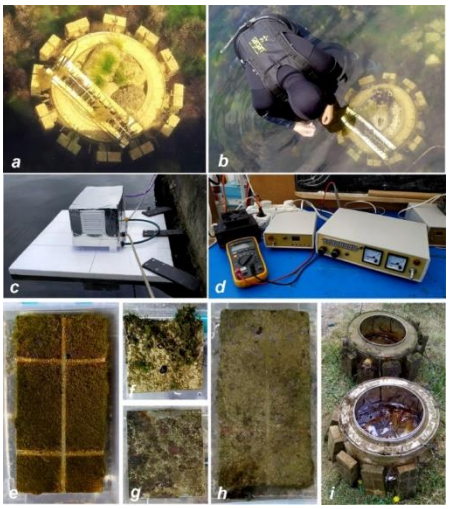


Рис. 6. Эксперимент в морской акватории РБК ИнБЮМ:
a – КС с пластинами из бетона и стали; b – отбор образцов легководолазом; c – УЗУ с защитными приспособлениями над ЭС; d – приборы для поддержания временно́го и мощностного режима работы УЗУ; e – бетон после 5-месячной экспозиции, контроль; f – сталь после 5-месячной экспозиции, контроль; g – сталь после 5-месячного воздействия УЗУ; h – бетон после 5-месячного воздействия УЗУ; i – КС (вверху) и ЭС (внизу) после 5-месячной экспозиции in situ [3].

УЗУ помещена над ЭС на плавучую платформу и защищена от ударно-волнового воздействия, атмосферных осадков и солнечного излучения специальным чехлом (рис. 6 c). Расстояние от излучателей до поверхности воды в акватории составляло 20 см. КС установлен в акватории на расстоянии 30 м от ЭС и защищен от воздействия УЗУ бетонным сооружением. В ходе эксперимента температура воды в акватории медленно поднималась от 10 до 25±0,5 ºС. Ежемесячно с каждого стенда снимали по две пластины каждого типа субстрата с помощью легководолаза и затем в лаборатории оценивали численность и видовое богатство диатомовых по вышеизложенной методике.

В течение первых двух месяцев на ЭС воздействовала УЗУ со следующими параметрами: мощность – 500 Вт, частота – 28500±5% Гц, сила тока – 3 А, продолжительность работы – 4 часа, периодичность – 3 раза в неделю. С июля 2022 г. продолжительность воздействия УЗУ на ЭС увеличена до 8 часов с периодичностью 5 раз в неделю (рис. 6 d). Эксперимент в натурных условиях закончен 21.09.2022 г. вследствие осенних штормов.

Результаты и обсуждение

На первом этапе эксперимента отмечено различное состояние морской воды в обоих контейнерах. Вода в ЭК была прозрачная в течение всего времени наблюдения, хлопья ржавчины отсутствовали, пластины из бетона и стали визуально чистые. Вода в КК уже через две недели представляла суспензию из агрегаций окислов железа и полисахаридов, выделяемых клетками диатомовых, несмотря на постоянную замену через каждые два дня.

Через 4 месяца средняя плотность поселения диатомовых на бетоне в КК составила $90326{,}9\times10^3$ экз./м^2, количество видов – 14 в ЭК – $892{,}8\times10^3$ экз./м^2, 3 вида. Отметим, что в первый месяц на стальных пластинах в КК и ЭК не было отмечено ни одной клетки диатомовых. Первые немногочисленные клетки обнаружены в ЭК только по истечении двух месяцев. На стальных пластинах средняя численность диатомовых через 4 месяца в КК составила $124285{,}45\times10^3$ экз./м^2, количество видов – 11, в ЭК – $7142{,}7\times10^3$ экз./м^2, 3 вида.

Таким образом, результаты эксперимента *in vitro* показали, что воздействие УЗУ при данных параметрах оказывает превентивную защиту бетонного и металлического субстрата от оседания основных компонентов фитоперифитона – бентосных диатомовых. Кроме того, воздействие УЗУ способствует механическому очищению пластин от поверхностных загрязнений, ржавчины и метаболитов гидробионтов.

Далее эксперимент был продолжен с постановкой испытательных стендов в морской акватории РБК ИнБЮМ. В течение полевого этапа эксперимента, при формировании обрастания на образцы субстрата из металла и бетона последовательно оседали фито- и зоо- компоненты перифитона: бактерии, диатомовые, иные группы микроводорослей, макрофиты, личинки моллюсков, полихет, усоногих раков. Вариабельность параметров микрообрастаний на обоих типах стендов (ЭС и КС), по-видимому, обусловлена как изменениями гидрологической обстановки в мелководной морской акватории, так и стимулированием развития таксоцена диатомовых, т.е. ответной стресс-реакцией на УЗ-воздействие в начальный период экспозиции стендов.

Результаты первого месяца эксперимента в море показали, что действие УЗУ мощностью 500 Вт, частотой излучения 28.5 ± 5% кГц и силой тока 3 А, при продолжительности работы по 4 часа три раза в неделю, оказывало выраженную активацию развития микрофитоперифитона на опытных образцах на ЭС.

В первый месяц экспозиции в обрастаниях бетонных и стальных пластин КС отмечена наименьшая плотность поселения диатомовых (45500×10^3 и 14000×10^3 экз./м^2, соответственно. Напротив, на ЭС показатели обилия диатомового обрастания превышали таковые на КС в десятки раз: 1302000×10^3 экз./м^2 – на бетонных образцах и 472000×10^3 экз./м^2 – на стальных. На ЭС в первый месяц также отмечено наибольшее видовое богатство – 14 видов на бетоне и 13 на стали. По-видимому, параметры излучения УЗУ в этот период эксперимента не только не подавляют развитие микроперифитона, но вызывают стимулирующий эффект, что ранее отмечалось в подобных исследованиях и другими авторами [9, 22; 10].

С учетом результатов первого месяца, далее интенсивность УЗУ увеличена: с июля продолжительность работы излучателей составила 8 часов в день, периодичность – 5 раз в неделю. Параметры мощности, частоты излучения и силы тока оставлены неизменными. После 3-месячной экспозиции в море выявлены следующие отличия: на КС плотность поселения диатомовых на бетонном субстрате составила 1305000×10^3 экз./м^2, в то время как на ЭС она уменьшилась более чем в 2 раза – до 585000×10^3 экз./м^2. На пластинах из стали на КС насчитано 365500×10^3 экз./м^2, а на ЭС – 244500×10^3 экз./м^2. Видовое богатство диатомовых на КС и ЭС было сходным: по 16 видов на обоих типах субстратов.

После 5-месячного периода эксперимента установлено, что под воздействием УЗУ на ЭС плотность поселения организмов-обрастателей существенно уменьшилась, по сравнению с КС (рис. 6 *i*). Ту же картину наблюдали и при финальном осмотре субстрата: пластины из бетона и стали на КС значительно отличались по плотности фитоперифитона (рис. 6 *e, f*) от таковых пластин с ЭС (рис. 6 *g, h*). Наименьшая плотность поселения диатомовых водорослей по окончании 5-месячной экс-

позиции отмечена в обрастаниях стальных пластин ЭС (121000×10^3 экз./м^2). На стальных образцах КС зафиксировано вдвое большее количество клеток – 228000×10^3 экз./м^2.

При сравнении бетонных пластин установлено, что на ЭС показатель плотности Bacillariophyta был в 4 раза меньший (385000×10^3 экз./м^2), чем на КС (1553500×10^3 экз./м^2). Очевидно, что интенсивность заселения бентосными диатомовыми гладкого стального субстрата ниже, чем бетонного с шероховатой поверхностью, обеспечивающей лучшую адгезию клеток микроводорослей.

Важно, что показатели плотности поселения диатомовых на обоих типах пластин на ЭС после 5 месяцев воздействия УЗУ с увеличенными параметрами продолжительности и частоты значительно снизились, по сравнению с начальным периодом эксперимента.

В составе перифитона на обоих типах субстрата выявлено 30 массовых видов, относящихся к 21 роду, 17 семействам, 13 порядкам и 3 классам бентосных Bacillariophyta (рис. 7). Резко доминировали мелкоклеточные виды, принадлежащие к родам *Navicula* Bory 1822 и *Nitzschia* Hassall 1845, отличающиеся наибольшей скоростью деления и устойчивостью к стрессовому воздействию.

Максимальная плотность поселения *Nitzschia* sp.1 на 5-й месяц эксперимента на бетоне КС составила 1178500×10^3 экз./м^2, *Navicula perminuta* Grunow – 831000×10^3 экз./м^2. К субдоминантам относятся *Thalassiosira excentrica* (Ehrenb.) Cleve (203500×10^3 экз./м^2), *Nitzschia longissima* (Bréb. ex Kütz.) Grunow (87000×10^3 экз./м^2), *Caloneis liber* (W. Sm.) Cleve (31500×10^3 экз./м^2), *Nitzschia* sp. 2 (19000×10^3 экз./м^2), *Amphora marina* (W. Sm.) Chase (11000×10^3 экз./м^2), *Licmophora gracilis* (Ehrenb.) Grunow (9000×10^3 экз./м^2), *Pleurosigma elongatum* W. Sm. (4500×10^3 экз./м^2), *Cylindrotheca closterium* (Ehrenb.) Reimann et Lewin (4000×10^3 экз./м^2), *Entomoneis paludosa* (W. Sm.) Reimer (3000×10^3 экз./м^2). Численность остальных видов в разные месяцы изменялась от 500 до 2500 $\times10^3$ экз./м^2.

Таким образом, увеличение продолжительности и частоты воздействия УЗУ после 5 месяцев экспозиции в море оказало выраженное ингибирующее влияние на формирование таксоцена диатомовых – основного компонента микроперифитона, способствуя уменьшению его плотности поселения и видового богатства на обоих типах субстрата. Данные наших экспериментов в целом согласуются с полученными ранее результатами других исследователей и позволяют расширить накопленные сведения по оценке влияния УЗ на резистентность и выживание разных групп перифитона.

В частности, в работе [9] показано, что даже при кратковременном (до 1–2 мин.) воздействии УЗ частотой около 17 кГц и давлением от 1700 до 5000 бар, отмечена потеря способности к прикреплению и последующая почти 100% элиминация личинок зооперифитона (циприсы балянусов и др.).

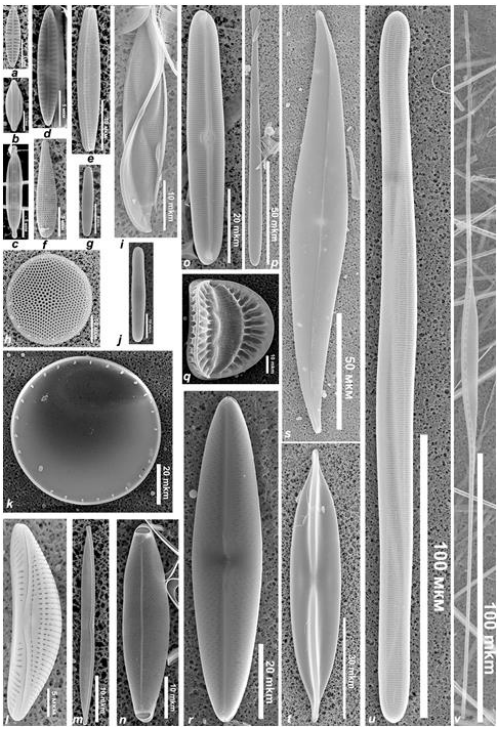


Рис. 7. Доминирующие виды бентосных диатомовых водорослей в микроперифитоне бетонного и стального субстратов (СЭМ): *a – Navicula perminuta; b – Nitzschia* sp.1*; c – Nitzschia sp.2; d – Navicula parapontica; e – Tabularia tabulata; f – Licmophora gracilis; g – Microtabella delicatula; h – Thalassiosira excentrica; i – Entomoneis paludosa; j – Grammatophora marina; k – Actinocyclus subtilis ; l – Amphora marina; m – Nitzschia hybrida; n – Striatella unipunctata; o – Caloneis liber; p – Licmophora flabellata; r – Trachyneis aspera; s – Pleurosigma elognatum; t – Plagiotropis lepidoptera; u – Ardissonea crystallina; v – Nitzschia longissim* [10].

Результаты комбинированного применения УЗУ мощностью 0.12 кВт и частотой 25 кГц и амальгамной УФ-лампы мощностью 30 Вт показали, что совместное действие УФ–УЗ излучения на перифитон фильтров установки замкнутого водоснабжения вызывает достоверное снижение встречаемости *Ciliata* и *Oligochaeta* уже после 72 часов действия установки, но в то же

время не оказывает заметного влияния на численность раковинных амеб, коловраток и других форм паразитических инфузорий в перифитоне [23].

Эффект стимулирования развития микроводорослей, выявленный в первый месяц эксперимента *in situ*, описан в работах по токсикологии и физиологии как первичная активация отклика тест-объекта при воздействии различных токсикантов, электромагнитных полей и иных стрессоров [24]. Данное явление, по-видимому, обусловлено краткосрочной реакцией диатомовых на воздействие УЗУ, выражающейся в мобилизации их адаптационных возможностей и интенсификации деления клеток [25]. На третий месяц воздействия УЗУ с повышенными параметрами интенсивности отмечено уменьшение плотности поселения диатомовых, отражающее снижение сопротивляемости на второй стадии стресса (ингибирование). Известно, что близкое расположение к биообъекту излучателей УЗУ и их прямое воздействие способно разрушать мембраны и органеллы одноклеточных организмов, а также инактивировать ферменты [26].

На пятый месяц эксперимента под воздействием УЗУ наступает третья стадия стресса – истощение адаптивных возможностей и элиминация диатомовых, что выражается в уменьшении на несколько порядков численности клеток микроводорослей на обоих типах субстратов на ЭС. В водной толще УЗ излучение хорошо распространяется на большую площадь и может препятствовать прикреплению свободноживущих форм организмов, особенно микроперифитона, уничтожать микропланктон и бактерии на сравнительно большом удалении от работающей УЗУ, тем самым ухудшая кормовой ресурс хищных организмов, подавлять жизнеспособность некоторых групп перифитона (водоросли, цилиаты) [27]. Ультразвуковые волны, в отличие от жесткого излучения, не обладают аккумулирующим действием, поэтому длительное воздействие УЗ слабой интенсивности может не вызывать заметных изменений у облучаемых организмов перифитона. Напротив, кратковременное импульсное излучение повышенной мощности может оказать более выраженный эффект на сообщество организмов-обрастателей, чем при ослабленном, но непрерывном озвучивании. Однако, даже при непрерывном УЗ воздействии более слабых (заведомо нелетальных) доз еще невозможно установить степень подавляющего действия УЗ только по отсутствию ответного отклика организмов перифитона. Так, при облучении УЗ ниже определенного порогового уровня, признаки ингибирующего воздействия у разных групп биоты могут отсутствовать, но при этом может возникать обратный эффект – стимулирование процессов развития и роста организмов-обрастателей, как это наблюдалось на ЭС в начальный период полевого эксперимента.

По итогам полевых исследований можно заключить, что поскольку чувствительность разных групп организмов перифитона к УЗ воздействию различна, то необходимо осуществлять подбор универсальных пороговых параметров для достижения наибольшего эффекта действия УЗУ (исключая заведомо жесткие дозы, опасные для окружающей биоты). Например, личинки раков-балянусов могут отмирать и осыпаться с экспериментальных пластин уже при низких уровнях воздействия УЗ, тогда как осевшая молодь усоногих раков или мелкие моллюски способны сохранять жизнеспособность и при более высоких уровнях облучения УЗ. Для повышения эффективности воздействия УЗУ следует также учитывать и сезонные аспекты в сукцессионном процессе формирования перифитона на облучаемых субстратах. Так, в период весеннее-летнего пика развития фитоперифитона и наибольшей интенсивности оседания организмов и формирования первичной пленки на поверхностях СТВ, интенсивность и сила УЗ при работе установки должна быть выше, чем при облучении в осеннее-зимний период.

В целом, результаты проведенных лабораторных и натурных стендовых исследований показывают, что задачи обеспечения УЗ защиты оборудования СТВ от обрастания должны решаться не только путем генерации повышенных уровней мощности и интенсивности УЗУ, которые заведомо вызывали бы быстрое и полное отмирание всех эколого-таксономических групп обрастателей на облучаемых поверхностях, но подбором таких параметров озвучивания, которые превентивно препятствовали бы формированию перифитона: оседанию и прикреплению микрофито- и зообентоса, последующему их росту и развитию. Представляется важным расширение лабораторных и полевых (стендовых) исследований, направленных на изучение ультразвукового воздействия различной интенсивности и продолжительности на выживание и способность к развитию отдельных групп перифитонных организмов с целью достижения максимального эффекта в защите СТВ ТЭС и АЭС и с учетом минимизации негативного влияния УЗ на состояние иных компонентов водных сообществ в экосистемах водоемов-охладителей.

Заключение

На первом этапе воздействия УЗУ отмечено стимулирование развития микроперифитона как на бетонном, так и на металлическом субстрате.

Увеличение продолжительности и частоты воздействия УЗУ оказало выраженное влияние на формирование таксоцена диатомовых водорослей – основного компонента микроперифитона. При повышении интенсивности воздействия УЗУ по истечении пяти месяцев эксперимента плотность поселения и видовое богатства диатомовых водорослей на обоих типах субстрата (металл и бетон) значительно уменьшилось, по сравнению с предыдущими месяцами. На всех типах субстрата, независимо от условий эксперимента, доминировали мелкоклеточные виды из родов *Navicula* Bory 1822 и *Nitzschia* Hassall 1845. Всего обнаружено 30 видов бентосных диатомовых, относящихся к 21 роду, 17 семействам, 13 порядкам и 3 классам Bacillariophyta.

По результатам испытания УЗУ в лабораторных и натурных условиях отмечено эффективное воздействие повышенных параметров ультразвука на уменьшение интенсивности обрастания бетонного и металлического субстратов, что позволяет рекомендовать дальнейшее продолжение экспериментов на полнофункциональной установке более высокой мощности непосредственно в условиях эксплуатации АЭС.

Список литературы

1. Протасов А.А., Панасенко Г.А., Бабарига С.П. Биологические помехи в эксплуатации энергетических станций, их типизация и основные гидробиологические принципы ограничения // Гидробиологический журнал. 2008. Т. 44, № 5. С. 36–53.
2. Горская О.И. Биолого-химический мониторинг Ростовской АЭС как эффективный инструмент предупреждения биологических помех в системах циркуляционного и технического водоснабжения // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – № 4(45). – С. 6-14 http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-04-01 .
3. Неврова Е.Л., Петров А.Н., Мороз Н.А., Касьянов А.Б. Экспериментальное изучение воздействия ультразвука на микроперифитон искусственных субстратов с целью защиты от биопомех систем технического водоснабжения атомных электростанций //Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2023. № 3. С. 98–113. EDN JCUYKV.
4. Ковальчук Ю.Л., Неврова Е.Л., Шалаева Е.А. Диатомовые обрастания твердых субстратов / Рос. акад. наук, Ин-т проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2008. 174 с.
5. Орлова М.И. Долгосрочная программа предупреждения развития биопомех на АЭС, связанных собрастанием: особенности организмов-источников биопомех, общие принципы формирования программы и значение мониторинга // Труды 4-й Научно-практической конференции «Экологическая и радиационная безопасность объектов атомной энергетики». Калининград: Балтийская АЭС, 2017. С. 230–238.
6. Мороз Н.А., Неврова Е.Л., Замыслова Т.Н., Касьянов А.Б., Петров А.Н., Ревков Н.К. Методы борьбы с биообрастаниями на атомной электростанции // Проблемы создания защитных покрытий нового поколения от коррозии, биообрастания и обледенения для морских, береговых и сухопутных объектов / Ред. М. И. Орловой, В. А. Родионов. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭУ, 2021. Гл. 6. С. 94–103. EDN PKOOCR.
7. Орлова М.И.,. Родионов В.А. Биообрастание, морские и континентальные воды: теория, практика, перспективы региональных междисциплинарных исследований. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика – 2020. – Т.13, № 4. – С. 121-136.
8. O'Brien W.D.Jr. Ultrasound — biophysics mechanisms. // Progress in Biophysics and Molecular Biology 93, 2007, pp. 212–255.
9. Долгопольская М.А. Аксельбанд А.М. Действие ультразвуковых колебаний на организмы морских обрастаний и процесс обрастания // Тр. Севаст. Биостанции, 1964. Т.17. С. 309–324.
10. Звягинцев А.Ю., Полторуха О.П., Масленников С.И. Обрастание морских систем технического водоснабжения и анализ методов защиты от обрастания в водоводах (аналитический обзор) // Вода: химия и экология. 2015. №1. с. 37-60.
11. Annisha O.D.R. et.al. Efficacy of integrated ultraviolet-ultrasonic technologies in the removal of erythromycin and quinolone-resistant Escherichia coli from domestic wastewater through a laboratory-based experiment // Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development. 2019. Vol., no. 3. P. 571–580.
12. Gerde J.A., Montalbo-Lomboy M., Yao L., Grewell D., Wang T. Evaluation of microalgae cell disruption by ultrasonic treatment // Bioresource Technology 125, 2012, p. 175–181.
13. Киселев Е.Ю., Румянцев В.А., Рыбакин В.Н. Применение ультразвукового излучения низкой интенсивности для борьбы с «цветением» воды водоемах, механизмы воздействия на водоросли // Ученые записки. 2014. № 34. С. 115–122.
14. Скворцов С. П. Методы контроля параметров ультразвуковой кавитации. Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн.

2015. № 02. С. 83–100. DOI: 10.7463/0215.0759806
15. Riesz P., BerdahI D., . Christman C.L. Free Radical Generation by Ultrasound in Aqueous and Nonaqueous Solutions. //Invironmental Health Perspectives, 1985. Vol.64, pp. 233-252.
16. xx555 Precision Timers datasheet // Texas Instruments URL: https://www.ti.com/lit/gpn/ne555 (дата обращения: 12.09.2023).
17. SNx4HC74 Dual D-Type Positive-Edge-Triggered Flip-Flops With Clear and Preset datasheet // Texas Instruments URL: https://www.ti.com/lit/gpn/sn74hc74 (дата обращения: 12.09.2023).
18. 20 W bridge/stereo amplifier for car radio // STMicroelectronics URL: https://www.st.com/resource/en/datasheet/tda2005.pdf (дата обращения: 13.09.2023).
19. 5 A low-drop positive voltage regulator adjustable // STMicroelectronics URL: https://www.st.com/resource/en/datasheet/ld1084.pdf (дата обращения: 11.09.2023).
20. Неврова Е.Л., Снигирева А. А., Петров А. Н., Ковалева Г. В. Руководство по изучению морского микрофитобентоса и его применению для контроля качества среды / ред. А.В. Гаевская. Симферополь: Н.Оріанда, 2015. 176 с. https://www.researchgate.net/publication/291148289
21. Неврова Е.Л. Разнообразие и структура таксоценов бентосных диатомовых водорослей (Bacillariophyta) Чёрного моря / ред. А.В. Гаевская. – Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2022. – 329 с.
22. Зевина Г.Б. Биология морского обрастания. М.: Изд-во МГУ, 1994. 135 с.
23. Климов В.А., Никифоров-Никишин Д.Л., Кочетков Н.И., Горбунов А.В. Изменение состава перифитона элементов фильтрации установок замкнутого водоснабжения при совместном воздействии УФ-излучения и ультразвука // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2022. № 4. С. 113–122. https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-4-113-122 . EDN CMNJQY
24. Гелашвили Д.Б., Безель В.С., Романова Е.Б., Безруков М.Е., Силкин А.А., Нижегородцев А.А. Принципы и методы экологической токсикологии / ред. Д.Б. Гелашвили. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2016. – 702 с.
25. Li J., Ahn J., Liu D., Chen Sh., Ye X., Tian Ding T. Evaluation of ultrasound-induced damage to Escherichia coli and Staphylococcus aureus by flow cytometry and transmission electron microscopy // Applied and environmental microbiology. 2016. V. 82. N. 6. P. 1828–1837.
26. Zhang G., Zhang P., Bo Wang B., Hong Liu H. Ultrasonic frequency effects on the removal of Microcystis aeruginosa // Ultrasonics sonochemistry. 2006. V. 13. N. 5. P. 446–450.
27. Doosti M.R, Kargar R., Sayadi M. H. Water treatment using ultrasonic assistance: A review // Proceedings of the International Academy of ecology and environmental sciences. 2012. V. 2. N. 2. P. 96.

References

1. Protasov A.A., Panasenko G.A., Babariga S.P. Biological interference of power plants during operation, their typing and basic hydrobiological principles of limitation. // Hydrobiological Journal, 2008, vol. 44, no. 5, pp. 36–53.
2. Gorskaya O.I. Biological and chemical monitoring of the Rostov NPP is as an effective tool for preventing biological interference in circulation and technical water supply systems. //Global nuclear security, 2022, no. 4(45). pp. 6–14 available at http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-04-01.
3. Nevrova E.L., Petrov A.N., Moroz N.A., Kas′yanov A.B. Experimental Study of Ultrasound Effect on Microperiphyton of Artificial Substrates for Fouling Protection of Technical Water Supply Circuit of Nuclear Power Plants. // Environmental safety of the coastal and offshore zone of the sea, 2023, no. 3, pp. 98–113. EDN JCUYKV.
4. Kovalchuk Yu. L., Nevrova E.L., Shalaeva E.A. Диатомовые обрастания твердых субстратов [Diatom fouling of solid substrates] // the Russian Academy of Sciences, Institute of Problems of Ecology and Evolution named after A.N. Severtsova. Moscow: Tovarishchestvo nauch. izd.. KMK, 2008, 174 p.
5. Orlova M.I. Long-term program for preventing the development of biofouling at nuclear power plants: features of biofouling organisms-sources, general principles of program formation and the importance of monitoring // Proceedings of the 4th Scientific and Practical Conference ′Environmental and Radiation Safety of nuclear power facilities′. Kaliningrad: Baltic NPP, 2017, pp. 230–238.
6. Moroz N.A. , Nevrova E.L., Zamyslova T.N., Kas′yanov A.B., Petrov A.N., Revkov N.K. . Metody borby s bioobrastaniyami na atomnoy elektrostantsii [Methods of biofouling control at a nuclear power plant] // Problems of creating of new types protective coatings against corrosion, biofouling and icing for marine, coastal and onshore facilities / Ed. M.I. Orlova, V.A. Rodionova. Saint-Petersburg: St. Petersburg State University, 2021, ch. 6, pp. 94–103. END PKOOCR.
7. Orlova M.I., Rodionov V.A. Biofouling, marine and continental waters: theory, practice, prospects for regional interdisciplinary research. // Fundamental and applied hydrophysics, 2020, vol. 13, no. 4, pp. 121–136.
8. O'Brien W.D.Jr. Ultrasound – biophysics mechanisms. // Progress in Biophysics and Molecular Biology 93, 2007, pp. 212–255.
9. Dolgopolskaya M.A., Akselband A.M. Deistvie

uktrazvukovykh kolebaniy na organizmy morskikh obrastaniy i protsess obrastaniya[The effect of ultrasonic vibrations on marine fouling organisms and the fouling process]// Proceedings of the Sevastopol Biological Laboratory, 1964. Vol.17, pp. 309–324.
10. Zvyagentsev A.Yu., Poltorukha O.P., Maslennikov S.I. Fouling of marine technical water supply systems and analysis of anti-fouling methods in water pipelines (analytical review)// Water: chemistry and ecology, 2015, no. 1, pp. 37-60.
11. Annisha O.D.R. et.al. Efficacy of integrated ultraviolet-ultrasonic technologies in the removal of erythromycin and quinolone-resistant Escherichia coli from domestic wastewater through a laboratory-based experiment // Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development. 2019. Vol., no. 3, pp. 571–580.
12. Gerde J.A., Montalbo-Lomboy M., Yao L., Grewell D., Wang T. Evaluation of microalgae cell disruption by ultrasonic treatment // Bioresource Technology 125, 2012, pp. 175–181.
13. E.YU. Kiselev, V.A. Rumyantsev, V.N. Rybakin. The use of low-intensity ultrasonic radiation to cope of the water "blooming" in water reservoir, the ways influence on algae. // Scientific notes, 2014, no. 34, pp. 115–122.
14. Skvortsov S.P. Methods for monitoring ultrasonic cavitation parameters.// Science and Education. Moscow, 2015, no. 2, pp. 83–100.
15. Riesz P., BerdahI D., Christman C.L. Free Radical Generation by Ultrasound in Aqueous and Nonaqueous Solutions. // Invironmental Health Perspectives, 1985. Vol.64, pp. 233-252.
16. xx555 Precision Timers datasheet // Texas Instruments available at: https://www.ti.com/lit/gpn/ne555 (accessed 12 September 2023).
17. SNx4HC74 Dual D-Type Positive-Edge-Triggered Flip-Flops With Clear and Preset datasheet // Texas Instruments available at: https://www.ti.com/lit/gpn/sn74hc74 (accessed 12 September 2023).
18. 20 W bridge/stereo amplifier for car radio // STMicroelectronics available at: https://www.st.com/resource/en/datasheet/tda2005.pdf (accessed 13September 2023).
19. 5 A low-drop positive voltage regulator adjustable // STMicroelectronics available at: https://www.st.com/resource/en/datasheet/ld1084.pdf (accessed: 11.09.2023).
20. Nevrova E.L., Snigireva A.A., Petrov A.N., Kovaleva G.V. Rukovodstvo po izucheniu morskogo mikrofitobentosa I ego primeneniu dlya kontrolya kachesnva sredy [Guidelines for the study of marine microphytobenthos and its application for environmental quality control] / Ed. A.V. Gaevskaya. Simferopol: N. Orianda, 2015, 176 p. https://www.researchgate.net/publication/291148289
21. Nevrova E.L. Raznoobrazie i struktura taksotsenov bentosnych diatomovych vodorosley (Bacillariophyta) Chernogo moray [Diversity and structure of taxocenes of benthic diatoms (Bacillariophyta) of the Black Sea]/ Ed. A.V. Gaevskaya. Sevastopol: Federal Research Center "Institute of Biology of the South Seas", 2022, 329 p.
22. Zevina G.B. Biologiya morskogo obrastaniya [Marine fouling biology]. Moskow: Moscow State University, 1994, 135 p.
23. Klimov V.A., Nikiforov-Nikishin D.L., Kochetkov N.I. , Gorbunov A.V. Change in composition of periphyton of filtration elements in recirculation aquaculture systems under combined impact of UV radiation and ultrasound . // Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries, 2022, no. 4, pp. 113–122 available at https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-4-113-122 . EDN CMNJQY
24. Gelashvili D.B., Bezel V.S., Romanova E.B., Bezrukov M.E., Silkin A.A., Nizhnegorodtsev A.A. Printsypy imetody ekologicheskoi toksikologii [Principles and methods of environmental toxicology] / Ed. D.B. Gelashvil. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University, 2016, 702 p.
25. Li J., Ahn J., Liu D., Chen Sh., Ye X., Tian Ding T. Evaluation of ultrasound-induced damage to Escherichia coli and Staphylococcus aureus by flow cytometry and transmission electron microscopy // Applied and environmental microbiology, 2016. Vol. 82, no. 6, pp. 1828–1837.
26. Zhang G., Zhang P., Bo Wang B., Hong Liu H. Ultrasonic frequency effects on the removal of Microcystis aeruginosa // Ultrasonics sonochemistry, 2006. Vol. 13, no. 5, pp. 446–450.
27. Doosti M.R, Kargar R., Sayadi M. H. Water treatment using ultrasonic assistance: A review // Proceedings of the International Academy of ecology and environmental sciences, 2012. Vol. 2, no 2. P. 96.

УДК 620.92

Нормативно-правовое регулирование отношений между государством, предприятием и энергоснабжающей организацией

Е.Г. Какушина[1]

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, [1]littie@mail.ru.

Статья поступила 12.02.2024 г.; после доработки 13.02.2024 г.

Аннотация

Статья посвящена изучению правового регулирования отношений между государством, предприятием и энергоснабжающей организацией в области энергетики. В статье рассматриваются основные нормативно-правовые акты, регулирующие деятельность энергоснабжающих организаций и их взаимоотношения с государством и предприятиями. Авторы анализируют проблемы, возникающие в отношениях между этими субъектами в энергетической сфере, и предлагают рекомендации по их решению. В итоге статья представляет собой важный вклад в развитие правового регулирования в сфере энергетики и способствует повышению эффективности взаимодействия государства, предприятий и энергоснабжающих организаций.

Ключевые слова: нормативно-правовое регулирование, государство, предприятие, энергоснабжающая организация, энергетика, взаимодействие.

Regulatory and legal regulation of relations between the state, the enterprise and the energy supply organization

E.G. Kakushina[1]

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia.
[1]littie@mail.ru

Received 12.02.2024 y.; received in final form 13.02.2024 y.

Abstract

The article is devoted to the study of the legal regulation of relations between the state, the enterprise and the energy supply organization in the field of energy. The article discusses the main regulatory legal acts regulating the activities of energy supply organizations and their relations with the state and enterprises. The authors analyze the problems arising in the relations between these entities in the energy sector and offer recommendations for their solution. As a result, the article represents an important contribution to the development of legal regulation in the energy sector and contributes to improving the efficiency of interaction between the state, enterprises and energy supply organizations.

For citation: regulatory and legal regulation, state, enterprise, energy supply organization, energy, interaction.

Введение

В современных условиях взаимодействие государства, предприятия и энергоснабжающей организации играет важную роль в развитии народного хозяйства и обеспечении экономической стабильности. Эта область регулирует отношения, связанные с производством, транспортировкой и распределением энергоресурсов, таких как газ, нефть, электричество и другие виды топлива. Нормативно-правовое регулирование отношений между указанными субъектами является необходимым условием их эффективного взаимодействия. В данной статье мы рассмотрим основные аспекты нормативно-правового регулирования отношений между государством,

предприятием и энергоснабжающей организацией [4].

Задачи нормативно – правового регулирования

Нормативно-правовое регулирование отношений между государством, предприятием и энергоснабжающей организацией является важным аспектом энергетического сектора. На протяжении многих лет в России только государство имело право на создание, эксплуатацию и управление энергетическими объектами. Однако в последние десятилетия были осуществлены реформы в энергетическом секторе, и теперь частные предприятия тоже могут заниматься производством и сбытом электроэнергии.

Одной из задач нормативно-правового регулирования отношений между государством, предприятием и энергоснабжающей организацией является обеспечение устойчивого развития энергетического сектора. Для этого необходима грамотная и эффективная система правовых норм, которые бы регулировали отношения между участниками данного сектора [1].

Одним из ключевых элементов нормативно-правового регулирования является установление правил взаимодействия между государством, предприятием и энергоснабжающей организацией, которые бы гарантировали справедливость и прозрачность в рыночных отношениях. В первую очередь речь идет о разработке и принятии законов, которые бы устанавливали обязательства энергоснабжающих организаций по обеспечению качественного энергоснабжения для населения и предприятий, а также по соблюдению экологических и энергетических стандартов [3].

Кроме того, нормативно-правовое регулирование должно обеспечивать защиту прав собственности на энергетические объекты и установление четких механизмов государственного контроля за деятельностью энергоснабжающих организаций. Необходимо также развивать институты арбитража, которые бы имели возможность разрешать любые конфликты между участниками энергетического сектора [2].

Основные аспекты нормативно-правового регулирования отношений между государством, предприятием и энергоснабжающей организацией

Первым и, пожалуй, самым важным аспектом нормативно-правового регулирования отношений между государством, предприятием и энергоснабжающей организацией является установление правил и норм, которые регулируют взаимодействие между этими сторонами. Например, правовые нормы могут определять права и обязанности энергоснабжающей организации, предприятия и государства в отношении создания, эксплуатации и обслуживания энергетических объектов и систем. Также в рамках нормативно-правового регулирования могут устанавливаться требования к качеству энергоснабжения, тарифам на энергоресурсы и другим аспектам, связанным с производством и распределением энергии [4].

Вторым аспектом нормативно-правового регулирования отношений между государством, предприятием и энергоснабжающей организацией является контроль за соблюдением этих правил и норм. Такой контроль может осуществляться как государственными органами, так и специальными независимыми организациями, созданными для этой цели. Например, в России это может быть Федеральная служба по надзору в сфере энергетики, а в США - Комиссия по регулированию энергетики. Также в рамках нормативно-правового регулирования могут устанавливаться механизмы решения споров между сторонами, связанными с нарушением правил и норм, например, через судебные или арбитражные процессы [1].

Третий аспект нормативно-правового регулирования отношений между государством, предприятием и энергоснабжающей организацией - это установление стандартов и нормативов, которые регулируют технические и экологические аспекты производства и распределения энергоресурсов. Например, стандарты могут определять требования к качеству топлива, которое используется в производстве энергии, а также к параметрам и характеристикам энергетических объектов и систем, чтобы обеспечить их безопасность и эффективность. Эти стандарты и нормативы могут устанавливаться как государственными органами, так и специальными организациями, созданными для разработки и соблюдения этих стандартов [6].

Четвертым аспектом нормативно-правового регулирования отношений между государством, предприятием и энергоснабжающей организацией является обеспечение энергетической безопасности. Энергетическая безопасность - состояние, при котором государство, предприятия и энергоснабжающие организации имеют достаточные ресурсы для обеспечения надежного и

безопасного производства, транспортировки и распределения энергоресурсов.

Для обеспечения энергетической безопасности могут устанавливаться различные меры, такие как создание резервных энергосистем, разработка планов энергетической безопасности, регулярный мониторинг и анализ энергетической ситуации, а также разработка механизмов сотрудничества между государствами для обеспечения энергетической безопасности в регионе [5].

Примеры нормативно правового регулирования

1) Установление тарифов на энергоресурсы: государство может устанавливать тарифы на энергоресурсы, которые используются предприятиями и населением. Например, в России тарифы на электроэнергию устанавливаются регулирующими органами, а в США - Федеральной комиссией по регулированию энергетики.
2) Установление требований к качеству энергоснабжения: государство может устанавливать требования к качеству энергоснабжения, чтобы обеспечить надежность и безопасность работы энергосистемы. Например, в России действует Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности", который устанавливает требования к энергосбережению и рациональному использованию энергоресурсов.
3) Регулирование экологических аспектов производства и распределения энергоресурсов: государство может устанавливать нормы и стандарты, которые регулируют воздействие производства и использования энергоресурсов на окружающую среду. Например, в Европейском союзе действует Директива по экологической ответственности, которая устанавливает требования к экологической ответственности предприятий.
4) Установление прав и обязанностей энергоснабжающих организаций и предприятий: государство может устанавливать права и обязанности энергоснабжающих организаций и предприятий в отношении создания, эксплуатации и обслуживания энергетических объектов и систем. Например, в России действуют Федеральный закон "Об электроэнергетике" и Федеральный закон "Об основах регулирования тарифов на электрическую и тепловую энергию", которые устанавливают права и обязанности энергоснабжающих организаций и предприятий.
5) Контроль и надзор за деятельностью энергоснабжающих организаций и предприятий: государство может осуществлять контроль и надзор за деятельностью энергоснабжающих организаций и предприятий, чтобы обеспечить соблюдение правил и норм, установленных в рамках нормативно-правового регулирования. Например, в России действует Федеральная служба по надзору в сфере энергетики, которая осуществляет контроль за деятельностью энергоснабжающих организаций и предприятий.
6) Разработка планов и механизмов обеспечения энергетической безопасности: государство может разрабатывать планы и механизмы обеспечения энергетической безопасности, чтобы предотвратить возможные энергетические кризисы и обеспечить надежное и безопасное функционирование энергетической системы. Например, в России действует Национальная энергетическая безопасность, которая определяет стратегию развития энергетики и меры по обеспечению энергетической безопасности [4].

Заключение

В заключение можно сказать, что нормативно-правовое регулирование отношений между государством, предприятием и энергоснабжающей организацией является необходимым условием для устойчивого развития энергетического сектора. Необходимо разработать и принять надлежащие правовые нормы, которые бы регулировали взаимодействие между участниками данного сектора. Кроме того, необходимо создавать специальные механизмы, которые бы гарантировали контроль над выполнением этих норм и рассмотрением обращений по конфликтным ситуациям. Только в таком случае можно рассчитывать на успех в развитии энергетического сектора в России.

Нормативно-правовое регулирование отношений между государством, предприятием и энергоснабжающей организацией является важной областью правовой деятельности, которая определяет правила и нормы для взаимодействия этих сторон в производстве, транспортировке и распределении энергоресурсов. Эта область также обеспечивает контроль за соблюдением этих правил и норм, устанавливает стандарты и

нормативы, регулирующие технические и экологические аспекты производства и распределения энергоресурсов, и обеспечивает энергетическую безопасность. Все эти аспекты являются необходимыми для обеспечения надежного и безопасного производства, транспортировки и распределения энергоресурсов, что является важным условием для экономического развития и благосостояния общества.

Список литературы

1. Гражданский процессуальный кодекс Российской Федерации (ред. от 03.02.2021) // KRASRF.
2. Трудовой кодекс Российской Федерации (ред. от 28.12.2020) // KRASRF.
3. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 28.12.2020) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".
4. Якубов А.А. Правовые основы обеспечения энергетической безопасности Российской Федерации // Право и государство: теория и практика. – 2017. – № 5. – С. 32-37.
5. Романов В.В. Энергетический комплекс как объект права // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2020. – № 10. – С. 18-25.
6. Федосеева Е.С. Правовые основы взаимодействия государства, предприятий и энергоснабжающих организаций // Журнал административного права и процесса. – 2019. – № 4. – С. 45-50.

References

1. The Civil Procedural Code of the Russian Federation (ed. from 03.02.2021) // KRASRF.
2. The Labor Code of the Russian Federation (as amended on 12/28/2020) // KRASRF.
3. Federal Law No. 261-FZ of 11/23/2009 (as amended on 12/28/2020) "On Energy Conservation and on Improving Energy Efficiency and on Making Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation".
4. Yakubov A.A. Legal bases of ensuring energy security of the Russian Federation // Law and state: theory and practice. – 2017. – No. 5. – pp. 32-37.
5. Romanov V.V. Energy complex as an object of law // Energy saving. Energy. Energy Audit. – 2020. – No. 10. – pp. 18-25.
6. Fedoseeva E.S. Legal bases of interaction between the state, enterprises and energy supply organizations // Journal of Administrative Law and process. – 2019. – No. 4. – pp. 45-50.

УДК 620:92

Оптимизация системы солнечного энергоснабжения для автономных потребителей

В.П. Коломийченко[1], А.Н. Фролова [2]
[1] *Черноморское высшее военно-морское ордена Красной Звезды училище им. П.С. Нахимова ул. Павла Дыбенко, 1а, г. Севастополь, 299028, Россия*
[2]*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33,г. Севастополь, 299053, Россия, ANFrolova@sevsu.ru*

Статья поступила 20.02.2024 г.; после доработки 25.02.2024 г.

Аннотация
В работе приведен расчет системы солнечного горячего водоснабжения потребителей с использованием гелиоколлекторов, при расположении их на крышах зданий. Солнечные энергетические установки, экологически чистые и вполне могут заменить или дополнить традиционные способы получения энергии.

Ключевые слова: солнечный коллектор, гелиополя, поток солнечной радиации, возобновляемая энергетика, система солнечного энергоснабжения.

Optimization of solar power supply systems for autonomous consumers

V.P. Kolomiychenko[1], A.N. Frolova [2]
[1] *Black Sea Higher Naval Order of the Red Star School named after P.S. Nakhimov Pavel Dybenko str., 1a, Sevastopol, 299028, Russia*
[2]*Sevastopol State University, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia, ANFrolova@sevsu.ru*

Received 20.02.2024y.; received in final form 25.02.2024y.

Abstract
The paper provides a calculation of a solar hot water supply system for consumers using solar collectors, when located on the roofs of buildings. Solar power plants are environmentally friendly and may well replace or complement traditional methods of generating energy.

Keywords: solar collector, heliofields, solar radiation flux, renewable energy, solar power supply system.

Введение

Солнечное горячее водоснабжение – это наиболее развитый способ использования солнечной энергии. Он используется преимущественно для снабжения горячей водой индивидуальных хозяйств. Солнечные установки для подогрева воды являются «экологически выгодной» альтернативой традиционным системам, они надежны и удобны в обслуживании, а главное – дают возможность экономить традиционные энергоресурсы [1]. Так, на подогреве воды можно сэкономить до 50-60% за год, а в летние месяцы экономия может достигать 85-90%. Перспективным источником тепла в южных регионах России прежде всего для нужд горячего водоснабжения, является энергия Солнца. Уровень солнечного излучения в разных регионах страны составляет от 3,8 $\frac{ГДж}{м^2}$ на западе до 4,99 $\frac{ГДж}{м^2}$ на юге в год. Поэтому солнечную энергию можно эффективно использовать для подогрева воды на бытовые нужды или для отопления. Есть мнение, что с возобновлением экономического роста уровень потребления может существенно

вырасти. С другой стороны, потенциал энергоэффективности и энергосбережения составляет в коммунальном хозяйстве РФ, по разным оценкам, не меньше, чем 50%.

Горячее солнечное водоснабжение – наиболее развитый способ использования солнечной энергии. Самой простой, и соответственно, самой дешевой системой нагревания воды является естественная термосифонная [2]. В термосифонных системах рабочее тело является самодвижущимся благодаря перемещению тёплых масс меньшей плотности вверх. Такая циркуляция является саморегулируемой. Её интенсивность зависит от температуры между верхними частями и нижней части сборника. Отсутствие помпы и автоматической системы управления можно отнести к преимуществам термосифонных систем, т.к. они пригодны для работы там, где нет энергоснабжения. Но условием их эффективности является соответствующая конфигурация. Сборник должен стоять вертикально, на 30-40 см выше от верхнего края коллекторов, чтобы минимизировать гидравлические сопротивления, коллекторы соединяют параллельно и ограничивают длину труб, выполняя только необходимые сгоны. Такую установку можно использовать для нагревания технологической воды в животноводстве (обогрев, приготовление корма), пунктах приема молока, воды в водоемах для выращивания рыбы, полива растений, нагревания поверхности грунта в теплицах и парниках. Недостатком гравитационной системы является необходимость исключать её из эксплуатации при отрицательных температурах и ускоренное разрушение абсорбера при контакте с водой, чтобы избежать этого, можно использовать промежуточную циркуляцию с незамерзающим и специально подготовленным рабочим телом. Но в этом случае теплообменник образует большие гидравлические сопротивления потоку и уменьшает тепловую эффективность системы. Универсальные потребительские характеристики имеют системы с принудительной циркуляцией (ПЦ) рабочего тела в установках «солнечный коллектор – аккумулирующий резервуар». Здесь циркуляцию преимущественно осуществляет насос. В классическом варианте её работой управляет реле-регулятор температуры. Насос запускается, если температура рабочей среды на выходе из коллекторов превышает заданную в нижней части аккумулирующего резервуара. Циркуляция продолжается пока температура в обеих точках не сравняется. При благоприятных атмосферных условиях цикл постоянно повторяется. В не электрифицированных местностях насос приводится в действие энергией, полученной от фотоэлементов. Такая система характеризуется некоторым самоуправлением – производительность насоса пропорциональна интенсивности инсоляции. Гелиоэнергетические системы с принудительной циркуляцией могут подогревать воду непосредственно или посредственно [1-3]. Отличия в конструкции и эксплуатации обоих вариантов значительны. Для одноконтурных систем, когда вода нагревается в коллекторе, период эксплуатации ограничивается тёплым временем года [4].

Постановка задачи

Для обеспечения потребителей на территории крымского полуострова использовалась установка солнечного горячего водоснабжения (УСГВ) на принудительной циркуляции (ПЦ) предназначенная, в большинстве случаев, для сезонного горячего водоснабжения мини-гостиниц, частных домов, дач, подогрева воды плавательных бассейнов [5]. Для обеспечения максимального количества (за расчётный период) солнечной энергии плоский солнечный коллектор (ПСК) обычно устанавливают в наклонном положении с оптимальным углом наклона к горизонту [6]. Данные по приходу солнечной радиации приведены в табл. 1: где приход потока: I_s – прямой солнечной радиации, I_d – диффузной (рассеянной) солнечной радиации, I – суммарной солнечной радиации, а t_o -атмосферная температура в разные часы суток

.

Таблица 1. *Часовые суммы солнечной радиации, усреднённые по октябрю (на горизонтальную поверхность): φ = 45° с. ш.*

	Плотность потока солнечной радиации, $\frac{Вт}{м^2}$									
Часы	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	$\Sigma \frac{Вт \times час}{м^2}$,
I_s	200	400	450	475	490	425	315	180	100	3035
I_d	40	75	80	80	85	75	65	55	37	592
I	240	475	530	555	575	500	380	235	137	3627
t_o, °C	14,08	16	1,6	17	17,1	17,2	17,1	16,9	16,4	

В работе было необходимо произвести расчет УСГВ с периодом работы май – октябрь на широте города Севастополя (45° с. ш.). Расчет велся по данным октября, как для месяца с наименьшей поверхностной плотностью солнечной энергии в плоскости ПСК [4].

Результаты исследований

Если ПСК ориентирован строго (отклонение по азимуту равно нулю), то коэффициент пересчёта (угловой коэффициент) количества солнечной энергии с горизонтальной поверхности на наклонную *R* равен сумме трёх составляющих, соответствующих прямому, рассеянному и отражённому солнечному излучению:

$$R = \left(1 - \frac{I_d}{I}\right) R_s + \frac{I_d}{I} \times \frac{(1+\cos\beta)}{2} + \rho \frac{(1-\cos\beta)}{2}, \quad (1)$$

где $\frac{I_d}{I}$ – среднемесячная дневная доля рассеянного солнечного излучения; R_s – угловой коэффициент для прямого солнечного излучения, соответствующий углу падения радиации на рабочую поверхность (равен углу установки ПСК), ρ – отражательная способность (альбедо) Земли (принимается равным 0,7 для зимы (при снеговом покрове) и 0,2 для лета) [2].

Среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающей на наклонной поверхность ПСК равно:

$I_k = R \times I \times K_a$, (2)

где K_a – коэффициент, зависящий от ориентации ПСК по азимуту (угол между нормалью к плоскости ПСК и южным направлением); R – угловой коэффициент, соответствующий отношению среднемесячных дневных количеств солнечной энергии, поступающей на наклонную и горизонтальную поверхности [2, 3]. В таблице 2 приведены полученные результаты расчёта средней поверхностной плотности солнечной энергии в плоскости ПСК по месяцам.

Таблица 2. *Результаты расчёта средней поверхностной плотности солнечной энергии в плоскости ПСК по месяцам*

Данные / Месяц	I, $\frac{МДж}{м^2 \times сут}$	$\frac{I_d}{I}$	R_s	$\left(1-\frac{I_d}{I}\right)R_s$	$\frac{I_d(1+\cos\beta)}{2I}$	$\frac{\rho(1-\cos\beta)}{2}$	R	I_k $\frac{МДж}{м^2 \times сут}$	$T_{ос}$, °C
май	20,25	0,45	0,7	0,38	0,387	0,0568	0,83	16,47	15,6
июнь	23,07	0,434	0,6	0,34	0,37		0,769	17,39	19,2
июль	23,62	0,383	0,6	0,37	0,327		0,756	17,5	21,4
август	20,11	0,389	0,8	0,49	0,332		0,881	17,36	20,56
сентябрь	14,73	0,41	1,25	0,74	0,341		1,14	16,46	15,7
октябрь	13,05	0,16	1,4	1,17	0,139		1,368	17,49	14,5

Также в работе был произведен расчет затрат тепловой энергии на горячее водоснабжение здания.

Средний расход теплоты на горячее водоснабжение здания за расчётный период производится по формуле (3):

$Q_{ГВ\,i} = 1{,}2 \times N \times G \times d_i (t_{г.в.} - t_{х.в.}) C_p \times 10^{-9}$, [ГДж] (3)

где d_i – количество дней в месяце i.

В таблице 3 приведены данные расчёта среднего расхода теплоты на горячее водоснабжение здания за расчётный период $\overline{Q}_i^{сез}$

Расчет энергетических характеристик УСГВ

Общую среднесуточную производительность ПСК на единицу площади ПСК можно определить по следующей формуле (4):

$$G = \frac{Q \cdot 3600 \cdot t_{эф}}{C_p \cdot \Delta T} = \frac{813 \cdot 3600 \cdot 7}{4187 \cdot (55-14)} = 119{,}3 \ л/м^2 \quad (4)$$

Таблица 3. *Затраты средней месячной тепловой энергии для горячего водоснабжения системы УСГВ*

Месяц	d_i	$Q_{ГВ}$ Пр I, ГДж	Доля отопительной нагрузки,%	$\bar{Q}_{от}, ГДж$	$\bar{Q}^{м}_{н}, ГДж$
Май	31	3,49	0	0	3,49
Июнь	30	3,34	0	0	3,34
Июль	31	3,49	0	0	3,49
Август	31	3,49	0	0	3,49
Сентябрь	30	3,34	0	0	3,34
Октябрь	31	3,49	0	0	3,49

Среднемесячную почасовую плотность потока солнечного излучения, попадающего на верхнее стекло ПСК можно определить по формуле (5):

$qi = Is\ i \times Rs + Id\ i \times Rd$ (5)

Приведенная интенсивность падающей солнечной радиации с учётом оптических характеристик солнечного излучения для каждого часа определяется по формуле (6):

$q\Theta\ i = 0{,}96\ [Is\ i \times Rs \times \Theta s + Id\ i \times Rd \times \Theta d]$ (6)

где 0,96 – понижающий коэффициент, учитывающий запыление и затенённость ПСК; Θs – приведённая поглощательная способность по прямому солнечному излучению, равная 0,74 для используемого ПСК при количестве стёкол n = 1, Θd – приведённая поглощательная способность по диффузному солнечному излучению, равная 0,64 для используемого ПСК при количестве стёкол n = 1.

В таблице 4 приведены результаты расчета энергетических характеристик ПСК для октября (среднесуточные значения).

В дальнейших расчетах была определена среднемесячная дневная удельная производительность ПСК, которая для октября составляет: $\Sigma g_i = 207\ \frac{кг}{м^2}$, а количество теплоты производимое ПСК за сезон оставляет: $\Sigma\ q_{\Theta I} = 8{,}52$ ГДж за сезон, суточный КПД всей системы УСГВ оставляет 43%.

Общая эффективная площадь солнечных коллекторов (площадь гелиополя) составляет: $A = \frac{G}{\sum_{i=1}^{n} g_i} = \frac{640}{207} = 3{,}2 м^2$, с учётом запаса для ПСК площадь составляет около 4 м^2.

Суммарное количество теплоты, выработанное установкой УСГВ за сезон оставляет 8,36 ГДж за сезон (с мая по октябрь). При этом рассчитанная экономия топлива за счет использования солнечной энергии для всей системы площадью гелиополя 4 м^2 составляет около 300 т у.т. При проведенных расчетах сезонный КПД всей системы $\eta_{сез} = 45\,\%$..

Таблица 4. *Энергетические характеристик ПСК в течение суток (по октябрю)*

Часы	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	Суммарное значение за сутки
I_s,Вт/м^2	200	400	450	475	490	425	315	180	100	3035
I_s,Вт/м^2	40	75	80	80	85	75	65	55	37	592
R_s					1,4					
R_d					0,854					
$t_{ос}$,°C	14,08	16	16,6	17	17,1	17,2	17,1	16,9	16,4	16,5
$I_s \times R_s$	280	560	630	665	686	595	441	252	140	4249
$I_d \times R_d$	34,2	64,1	68,3	68,3	72,3	64,1	55,5	47	31,6	505,4
I_s,Вт/м^2	220	437	489	514	532	462	347	208	0	3209
I_s,кг/м^2	17,07	35,51	37,83	29,47	37,25	28,82	17,04	4,15	0	

Заключение

Предложенная система горячего водоснабжения на основе солнечных тепловых коллекторов позволяет значительно экономить органическое топливо, которое для частных жилых домов

и коммунальных потребителей расходуется в основном на отопление и горячее водоснабжение.

Солнечные установки в настоящее время применяются в качестве фотоэлектрических станций для выработки электроэнергии. Использование солнечных установок для производства тепловой энергии позволяет увеличить эффективность преобразования. Разработанный в ходе выполнения работы энергетический комплекс имеет высокий КПД и использует также прямое преобразование потока солнечной радиации.

Предложенная система особенно необходима для курортных регионов, которым является Крымский полуостров. Экологически чистая энергосистема способна значительно увеличить экологическую составляющую и сократить выбросы CO2. Использование таких систем на значительной территории позволяет уменьшить парниковый эффект.

Список литературы

1. Даффи Дж.А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир,1977г.
2. Экспериментальное исследование параметров эффективного плоского солнечного коллектора с фотоэлектрическим источником энергии / В.А. Якимов, В. В. Кувшинов // Сб. науч. трудов. – Севастополь, 2006. – Вип. 4(20). – С. 162- 168.
3. Харченко Н.В., Никифором В.А. Системы гелиотеплоснабжения и методика их расчета. – Киев: Общество „Знание” 1982г.
4. Справочник по климату СССР. Вып. 13. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. - Л., Метеорология, 1976.
5. Кувшинов В.В., Морозова Н.В. Повышение энергетических характеристик солнечных установок при комбинированной выработке тепловой и электрической энергии // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2017. № 2(194). С.46-51.*
6. Кувшинов В.В. Пат. № 150121 Российская Федерация; МПК H01L31/00. Фототермопреобразователь солнечной энергии / Башта А.И., Кувшинов В.В., Сафонов В.А. / Опубл. 27.01.2015, Бюл. № 3.

References

1. Duffy J.A., Beckman W.A. Thermal processes using solar energy. – M.: Mir, 1977.
2. Experimental study of the parameters of an efficient flat solar collector with a photovoltaic energy source / V. A. Yakimov, V. V. Kuvshinov // Collection. scientific works – Sevastopol, 2006. – VIP. 4(20). – pp. 162-168.
3. Kharchenko N.V., Nikifor V.A. Solar heating systems and methods of their calculation. – Kyiv: Society “Knowledge” 1982.
4. Handbook on the climate of the USSR. Vol. 13. Solar radiation, radiation balance and sunshine. - L., Meteorology, 1976.
5. Kuvshinov V.V., Morozova N.V. Increasing the energy characteristics of solar installations with combined generation of thermal and electrical energy // News of higher educational institutions. North Caucasus region. Series: Technical Sciences. 2017. No. 2(194). P.46-51.
6. Kuvshinov V.V. Pat. No. 150121 Russian Federation; IPC N01L31/00. Solar energy photothermal converter / Bashta A.I., Kuvshinov V.V., Safonov V.A. / Publ. 01/27/2015, Bulletin. No. 3.

УДК 620.92

Технологическое развитие возобновляемой энергетики и новые возможности в области исследования и разработок

А.С. Комшин[1], Б.А. Якимович[2], Р.А. Нашев[3], А.С. Жильцов[4], Н.В. Шахова[5]
[1]Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 4, Москва, 105005, Россия, komshin@bstra.ru[1],
[2]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, yakimovich52@gmail.com[2], bo_zemlya_zdoroviya@mail.ru[3], 29novel@gmail.com[4], nvshakhova@sevsu.ru[5]

Статья поступила 20.02.2024 г.; после доработки 21.02.2024 г.

Аннотация

Представлены доклады по итогам работы круглого стола научной-международной конференции «Возобновляемая энергия планеты 2023», проходившей на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана 03 ноября 2023 года в г. Москва. На конференции была обсуждена инновационная стратегия развития энергетики Российской Федерации.

Ключевые слова: инновационные технологии, технологическое развитие, альтернативная и возобновляемая энергетика, солнечная энергия, энергосбережение.

Technological development of renewable energy and new opportunities in research and development

A.S. Komshin[1], B.A. Yakimovich[2], R.A. Nashev[3], A.S. Zhiltsov[4], N.V. Shahova[5]
[1]Bauman Moscow State Technical University, 2nd Baumanskaya str., 5, building 4, Moscow, 105005, Russia, komshin@bstra.ru[1]
[2]Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, gern96-10@mail.ru, yakimovich52@gmail.com[2], bo_zemlya_zdoroviya@mail.ru[3], 29novel@gmail.com[4], nvshakhova@sevsu.ru[5]

Received 20.02.2024 y.; received in final form 21.02.2024 y.

Abstract

Reports were presented on the results of the round table of the scientific-international conference "Renewable Energy of the Planet 2023", held at the Moscow State Technical University. N.E. Bauman on November 3, 2023 in Moscow. The innovative strategy for the development of energy in the Russian Federation was discussed at the conference.

Key words: innovative technologies, technological development, alternative and renewable energy, solar energy, energy saving.

Введение

В настоящее время в области развития возобновляемых источников энергии происходят существенные изменения. В нашей стране утверждена государственная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» (постановление правительства РФ №1473 от 09.09.2023), направленная на снижение энергоемкости ВВП на 35% в 2035 году и увеличение полезного отпуска тепла и электричества при их производстве, передаче и потреблении во всех отраслях экономики.

По данным Ассоциации развития возобновляемой энергетики на сегодняшний день:

- совокупная установленная мощность объектов ВИЭ-генерации в России;
- совокупная выработка электроэнергии объектами ВИЭ-генерации в России 12 706 106

МВт*ч с 01.01.2023 г.;

- объем сокращения выбросов CO_2 в России за счёт выработки объектами ВИЭ-генерации с 01.01.2023 г. составила 7 204 314 т.

За последнее десятилетие мировой рынок офшорной ветроэнергетики рос в среднем на 21% ежегодно, в результате чего общая установленная мощность установок достигла 64,3 ГВт, что соответствует почти 2% от общей установленной мощности объектов ВИЭ-генерации в мире и 7% от всей мощности ветрогенерации.

По итогам 2022 года во всем мире было введено 8,8 ГВт офшорных ВЭС. Основные объемы пришлись на Китай (5 ГВт) и Европу (2,5 ГВт).

Крупнейшим офшорным ветропарком в мире является Hornsea 2 в Великобритании. На площади в 462 км² (эквивалентно площади 64 тыс. футбольных полей) располагается 165 ВЭУ общей установленной мощностью 1,3 ГВт.

Самая мощная и крупная ВЭУ в мире мощностью 16 МВт установлена в прибрежной акватории провинции Фуцзянь в Китае. С невероятным 260-метровым диаметром ротора этот огромный колосс способен снабжать чистой энергией около 36 000 китайских домов.

В настоящее время во всем мире функционируют 30 заводов по сборке офшорных ВЭУ, еще 55 объектов находятся либо в стадии строительства, либо в стадии планирования. В Китае действует более 20 предприятий по сборке гондол и еще 47 находятся в стадии строительства. При производственной мощности гондол ВЭУ, равной 16 ГВт в год, на долю Китая приходится 58% мирового рынка, что на сегодняшний день делает эту страну крупнейшим в мире центром по производству морских ВЭУ. Европа является второй по величине в мире базой по производству гондол морских ветроустановок.

Направление, связанное с развитием технологий возобновляемой энергетики, проблемами подготовки кадров, опытом реализации таких проектов, поиском решений для новых видов генерации, актуально в нашей стране.

Цели и задачи конференции

На базе МГТУ им. Н.Э. Баумана 03 ноября 2023 года прошла конференция в формате круглого стола «ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГИЯ ПЛАНЕТЫ-2023».

Целью конференции являлся поиск решений и разработок в области возобновляемой и водородной энергетики, защиты окружающей среды, которые открывают новые горизонты в формировании низкоуглеродной энергетики.

В работе круглого стола по конференции приняли участие представители из разных городов России, включая Севастополь, Екатеринбург, Челябинск, Ульяновск, Санкт-Петербург, Казань. В первую очередь участниками конференции выступили представители университетов, на базе которых развиваются технологии в области ВИЭ и ведется подготовка кадров.

Результаты докладов по конференции

На конференции было представлено большое количество докладов по технологиям развития возобновляемой энергетики в Российской Федерации и новые возможности в области исследований и разработок по ветроэнергетики и технологиям производства ветроэлектрических установок (ВЭУ), проектирования новых ветроэлектрических станций (ВЭС), на территориях России, проектирования и строительстве солнечных электростанций.

Одним из ярких докладов был доклад Бориса Анатольевича Якимовича, заведующего кафедрой их Севастопольского государственного университета.

Якимович Б.А., сопредседатель оргкомитета, заведующий кафедрой «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети», д.т.н., профессор (Севастопольский государственный университет) выступил с докладом о создании распределённого научно-образовательного полигона ВИЭ.

В своем выступлении раскрыл актуальную на сегодняшний день проблему целевой подготовки высококвалифицированных кадров в области ВИЭ.

Якимовичем Б.А. была предложена комплексная система, обеспечивающая создание опережающей системы подготовки высококвалифицированных научных и инженерных кадров для сферы ВИЭ на основе частно-государственного партнерства. «Такой подход позволит объединить ресурсы государства и бизнеса, заинтересованного в кадрах, для формирования и реализации образовательных программ, ориентированных на актуальные и перспективные потребности отрасли. Решение проблемы дефицита кадров послужит драйвером дальнейшего развития и расширения использования ВИЭ в России», - говорит профессор Якимович Б. А.

Также были представлены другие доклады известных учёных из ВУЗов Российской Федерации, представленные ниже.

Кирпичникова И.М., заведующая кафедрой

«Электрические станции, сети и системы электроснабжения», д.т.н., профессор (Южно-Уральский государственный университет (НИУ)) выступила с докладом о развитии солнечной энергетики. В своем докладе представила глубокий анализ текущего положения и перспектив развития ВИЭ, опираясь на данные Международного энергетического агентства, Европейской ассоциации солнечной энергетики, а также обозначила проблемы и пути решения в области солнечной энергетики. Среди ключевых на сегодняшний день задач в области солнечной энергетики следует выделить: проблемы утилизации фотоэлектрических модулей, снижение генерации при загрязнении поверхности модулей, особенности эксплуатации, связанные с географическим положением, проблемы защиты модулей, прогнозирование и оценка степени деградации фотоэлектрических элементов. В заключении Ирина Михайловна отметила широкую заинтересованность со стороны промышленности и привела примеры реального внедрения в практику эксплуатации и на промышленных объектах разработок кафедры.

Елистратов В.В., директор научно-образовательного Центра «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе», д.т.н., профессор (СПбПУ им. Петра Великого) сделал доклад о развитии технологий преобразования возобновляемых видов энергии. Елистратов В.В. посвятил первую часть своего доклада проблеме изменения климата. При этом отметил, что в силу географического положения и климатических особенностей среднегодовая температура воздуха в России растет быстрее, чем целом в мире. Содержательная часть доклада была посвящена анализу рисков развития ВИЭ, в том числе по причине ввиду ограниченного доступа к инвестициям и технологиям. Тем не менее, Елистратов В.В. отметил, что участники национального рынка ВИЭ запустили работу по перестройке логистических цепочек, выстраиванию новой системы поставок компонентов и оборудования. По итогам проведения отдельными компаниями предварительной оценки аналогов компонентов российского производства отмечена эффективность их применения.

Велькин В.И., профессор кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», д.т.н., профессор (Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина) представил опыт реализации проектов возобновляемых источников энергии на базе УРФУ. Велькин В.И. в своем докладе рассказал опыт подготовки специалистов данной специальности в УрФУ, в основе которого лежит привлечение студентов всех курсов под руководством профессорско- преподавательского состава, аспирантов и научных сотрудников УрФУ к разработке и освоению новых энергетических технологий в области солнечной, ветровой, малой гидравлической и биологической энергетики, а также электрохимических, термоэмиссионных, термоэлектрических технологий прямого преобразования термической и химической энергии в электрическую форм. Разработки студентов, аспирантов и преподавателей кафедры внедрены на многих предприятиях страны. Выполнено более 50 научно-исследовательских проектов. По результатам исследований было подготовлено 79 диссертационных работ на соискание степеней кандидатов (12) и магистров (67) наук. Получено более 120 патентов РФ на изобретения, полезные модели и программы для ЭВМ.

Телех В.Д., директор учебно-научного центра «Фотонная энергетика», МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н., доцент. В своем докладе Телех В.Д. рассказал про возможности исследовательской базы УНЦ «Фотонная энергетика» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Направления исследований связаны с получением новых данных о физико-химических свойствах активных сред и конструкционных материалов в неизученном диапазоне спектрально-энергетических и динамических параметров многофакторного воздействия. Эти данные необходимы для разработок новых фотонных энергетических и технологических установок и систем высокой плотности мощности: плазменно-фотонных конверторов ЭМ излучения, фотонных технологий модификации вещества и синтеза новых материалов, источников высокояркостного излучения видимого, УФ и ВУФ диапазонов спектра и др.

Степанов Д.С., заведующий базовой кафедрой «Технологии ветроэнергетики» (Ульяновский государственный технический университет) рассказал об опыте развития направлений ВИЭ в УлГТУ.

Степанов Д.С. в докладе отметил опыт реализации проектов, а также более подробно рассказа про создание гибридных энергокомплексов на базе ВИЭ: стабильное энергоснабжение от 5 до 20 кВт за счет возобновляемых источников энергии: ветровых и солнечных электростанций. Также отметил разработку ветроэнергетической установки мощностью от 2 до 5 кВт, разработку системы управления для оптимизации выдаваемой мощности от ветроэнергетической установки и опыт успешной реализация проектов на

объектах РЖД в Ульяновске и Самаре.

Комшин А.С. (Александр Сергеевич.), декан факультета «Машиностроительные технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н., доцент, в докладе рассказал про опыт организации конкурса «Возобновляемая энергия планеты» и взаимодействие между университетами на базе стратегического проекта «Университет для университетов» программы «Приоритет 2030».

В заключении Телех В.Д. пригласил всех участников к объединению усилий в поиске новых фундаментальных решений и совместному сотрудничеству.

Итоги конференции

По итогам конференции «Возобновляемая энергия планеты 2023» состоялся круглый стол для всех участников, на котором была выработана резолюция к дальнейшим действиям.

Круглый стол стал экспертной площадкой для обсуждения широкого круга вопросов в области развития энергетики возобновляемых источников в России и в мире, включая подготовку кадров, научно-технические разработки, опыт промышленных партнеров, перспективы развития отрасли, механизмы стимулирования и др.

Круглый стол проводился в рамках программы «Приоритет-2030» стратегического проекта «Университет для университетов» МГТУ им. Н.Э. Баумана при поддержке Ассоциации развития возобновляемой энергетики и Ассоциация технических университетов.

Целью круглого стола являлись поиски решений и разработок в различных областях возобновляемой и водородной энергетики, защиты окружающей среды, формировании низкоуглеродной энергетики.

Список литературы

1. Гордин М.В. Консорциум «университет для университетов» в системе формирования единого научно-технологического и образовательного пространства содружества независимых государств / Гордин М.В., Александров А.А., Комшин А.С., Балтян В.К., Федоров В.Г. // В сборнике: Международное сотрудничество вузов государств - участников Содружества Независимых Государств. Роль технических университетов в формировании единого научно-технологического и образовательного пространства СНГ, Сборник научных статей, Москва, 2021. - С. 273-284.
2. Беркутова Т.А. Повышение эффективности рыночной деятельности предприятий на основе управления изменениями / Беркутова Т.А., Мищенкова О.В., Якимович Б.А. // Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право. - 2023. - Т. 33. - № 1. - С. 9-20.
3. Гордин М.В. Межвузовская студенческая инженерно-технологическая корпорация // Гордин М.В., Онищенко Д.О., Комшин А.С. / Энергия: экономика, техника, экология, 2023. - № 10 (466). - С. 25-34.
4. Вологдин С.В. Разработка и обоснование стратегий внедрения энергоэффективных мероприятий на промышленных предприятиях / Вологдин С.В., Якимович Б.А. // В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2021. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Севастополь, 2021. - С. 131-136.
5. Крансуцкая А.А. Обеспечение аддитивных технологий в интересах развития промышленности / Крансуцкая А.А., Лесниченко М.Р., Фунтиков В.А., Комшин А.С. // Приборы. - 2022. - № 10 (268). - С. 39-44.

References

1. Gordin M.V., Aleksandrov A.A., Komshin A.S., Baltyan V.K., Fedorov V. G. Consortium “university for universities” in the system of forming a single scientific, technological and educational space of the Commonwealth of Independent States. *In the collection: International cooperation of universities of the member states of the Commonwealth of Independent States. The role of technical universities in the formation of a unified scientific, technological and educational space in the CIS. collection of scientific articles*, Moscow, 2021, pp. 273-284.
2. Berkutova T.A., Mishchenkova O.V., Yakimovich B.A. Increasing the efficiency of market activities of enterprises based on change management. *Bulletin of Udmurt University. Series Economics and Law*, 2023, Vol. 33, No. 1, pp. 9-20.
3. Gordin M.V., Onishchenko D.O., Komshin A.S. Interuniversity student engineering and technology corporation. *Energy: economics, technology, ecology*, 2023, No. 10 (466), pp. 25-34.
4. Vologdin S.V., Yakimovich B.A. Development and justification of strategies for introducing energy-efficient measures at industrial enterprises. *In the collection: Environmental, industrial and energy safety* - 2021. Collection of articles based on materials from the international scientific and practical conference, Sevastopol, 2021, pp. 131-136.
5. Krasutskaya A.A., Lesnichenko M.R., Funtikov V.A., Komshin A.S. Providing additive technologies in the interests of industrial development. *Devices*, 2022, No. 10 (268), pp. 39-44.

УДК 620.92

Стратегия развития солнечной энергетики в Крымском регионе

А.Г. Косий[1], Р.А. Нашев[2], И.С. Ивантеев[3], Б.Е. Борисов[4], Н.В. Шахова[5]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, [1]kosiandr@bk.ru,[2] bo_zemlya_zdoroviya@mail.ru, *[3]ivantyeyev@gmail.com, [4]baribori sov@gmail.com, nvshakhova@sevsu.ru[5]*

Статья поступила 21.02.2024 г.; после доработки 22.02.2024 г.

Аннотация

Приводятся результаты статистических и экологических исследований и меры по обеспечению энергосбережения и внедрению энергосберегающих установок в Крыму и в г.Севастополе. Одним из способов широкомасштабного внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий, является создание таких структур, как кластер «Эко-Энерго».

Ключевые слова: солнечная энергетика, кластеры, солнечные установки, гелиотехника, возобновляемые источники энергии.

Strategy for the development of solar energy in the Crimean region

A.G. Kosii[1], R.A. Nashev[2], I.S. Ivanteev[3], B.E. Borisov[4], N.V. Shahova[5]
Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, [1]kosiandr@bk.ru,[2] bo_zemlya_zdoroviya@mail.ru, *[3]ivantyeyev@gmail.com, [4]baribori sov@gmail.com, nvshakhova@sevsu.ru[5]*

Received 21.02.2024 y.; received in final form 22.02.2024 y.

Abstract

The results of statistical and environmental studies and measures to ensure energy conservation and the introduction of energy-saving installations in Crimea and Sevastopol are presented. One of the ways of large-scale introduction of renewable energy sources and energy-saving technologies is the creation of such structures as the Eco-Energo cluster.

Key words: solar energy, clusters, solar installations, solar technology, renewable energy sources.

Введение

В странах, начинающих развивать свою энергетику, солнечные установки для получения тепловой и электрической энергии могут стать основными энергогенерирующими мощностями, при этом может быть пропущена стадия использования ископаемого топлива. При преобладающем использовании для нагрева воды электричества солнечный нагрев может снизить уровень пиковых нагрузок, это преимущество можно использовать для уменьшения цены на солнечные нагреватели, к этому можно прибавить уменьшение вредных выбросов и положительное влияние на чистоту воздуха [1]. Факторы, способные положительно влиять на рынок солнечной энергетики, – это политика правительства в области энергосбережения, активность промышленности, высокие технологии в производстве солнечных установок, наличие монтажных организаций [2].

Известно, что солнечная радиация, падающая на поверхность Земли, является нестабильным энергетическим источником, как в течение года, так и в течение суток, и во многом зависит от климатических условий данной местности. По оценкам учёных до 75 процентов поступающей солнечной инсоляции приходится на тёплое время года (с апреля по сентябрь) и только 25 процентов - на зимний период, когда потребность в тепловой энергии является наибольшей [3]. Поэтому необходимо применение специальных технических устройств по аккумулированию энергии на период отсутствия солнечной

радиации [4]. Анализируя данные поступающей солнечной радиации на поверхность абсорбера и возможности её преобразования в тепловую энергию в течение календарного года на территории крымского региона, можно предложить следующие основные технические решения по созданию солнечных установок и систем солнечного теплоснабжения с учётом достижения наиболее высокого энергетического результата [5]. Первое – использование конструкций строящихся в Крыму жилых и общественных зданий для использования солнечной энергии. Второе – широкое применение сезонных солнечных установок с суточным аккумулированием для получения горячей воды на нужды горячего водоснабжения объектов различного назначения в летний период. Третье – строительство комбинированных солнечных установок для электрообеспечения и теплоснабжения зданий [6].

По характеристикам потоков падающей солнечной радиации на поглощающую поверхность энергетических солнечных установок, расположенных на широте г. Севастополь [7] можно определить, что при горизонтальном (на плоской кровле) или вертикальном (на стенах) расположении эффективность гелиоколлекторов снижается примерно на 20-25 %, однако, при этом существенно упрощается монтаж, и уменьшаются ветровые нагрузки. По экспериментальным и расчетным данным применение гелиосистем может обеспечить снижение расхода традиционных энергоносителей (газ, дизельное топливо, мазут, уголь) от 100 % при летнем режиме работы объекта (пансионаты, детские лагеря) до 50-70 % при круглогодичной работе [8]. Срок окупаемости гелиосистем при существующих ценах на гелиоколлектора может составить от трех до семи лет, в зависимости от сложности систем и вида замещаемого традиционного топлива [9].

Цели и задачи

В начале двухтысячных годов в г. Севастополе по инициативе севастопольской торгово-промышленной палаты, общественной организации «Аура», при поддержке Севастопольской госадминистрации был создан кластер «Эко-Энерго». В кластер входили «физические лица», которые хотят сделать что-то полезное для города в части энергосбережения и внедрения, прежде всего солнечной энергии. На сегодняшний день можно определить следующие первоочередные проблемы, которые приведенны ниже.

Первое: Крым должен быть экологически чистым местом Земли, куда люди приезжают оставить свои трудовые доходы и сбережения за возможность подышать чистым воздухом, попить экологически чистой воды и фруктов, искупаться в чистом море и дойти к нему не через мусорные свалки. И мы должны это сделать, иначе потеряем Крым – как курорт.

Второе, имея научную и производственную базу в городе-герое Севастополе и в Крыму, имея опыт внедрения солнечных, ветровых, геотермальных, волновых, биогазовых, теплонасосных, гидродинамических и прочих нетрадиционных источников и возобновляемых энергоустановок мы можем обойтись своими силами в развитии энергосбережения в Крыму. Но на сегодня в РФ не разработано механизмов, которые давали бы возможность финансировать схемы, направленные на использование энергоэффективных технологий [10].

Постановка проблемы

По данным статистики в Севастополе за год сжигается около 250 млн. м³ газа, без учета черноморского флота. По неопровержимым научным данным, при сжигании 1 т угля с зольностью 30-40% в воздух вылетает не менее 200 кг чёрной сажи и не менее 1500 кг парникового газа CO_2 вместе с ядовитым газом CO, а для нагрева 1 м³ воды от 20°C до 60°C необходимо сжечь в котле с КПД 50% около 20 кг угля или 10 м³ газа, или накрутить 50 кВт*ч электроэнергии. Это же количество горячей воды летом (с мая по октябрь) в Крыму можно получить с помощью гелиоколлекторов площадью 8-10 м². Без газа, пыли и электричества! За счет солнечной энергии! И в Севастополе это уже есть, около 4 тыс. м² гелиоколлекторов греют воду на различных объектах.

На рис. 1 показана система солнечного горячего водоснабжения (УСГВ) на солнечных коллекторах на территории пансионата «Морской берег» в городе Алушта. Эта система действовала с начала 2000 годов, значительно экономя органическое топливо. Площадь гелиополя этой системы составляла 180 кв.м, а дневная производительность- 20-30 куб. м горячей воды.

Сегодня Крым может быть лидером по производству и внедрению гелиосистем. Многие предприятия России й производят хорошие гелиосистемы, но их нужно в Севастополе, по меньшей мере, 40 тыс.м², а в Крыму от Керчи до Армянска, чтобы хоть чуть-чуть приблизиться к необходимому потреблению, должно быть не

менее 400 тыс.кв.м. И только тогда мы сможем практически прекратить сжигать газ летом, а это – около 25% годового потребления.



Рис. 1. Гелиосистема пансионата „Морской берег” (г. Алушта).

На рис. 2 показан монтаж системы солнечных нагревателей воды в столовой турбазы в районе посёлка Новый свет.



Рис. 2. Монтаж гелиосистемы в поселке Новый Свет.

Нужно осваивать новую высокоинтеллектуальную индустрию – индустрию широкомасштабного производства, монтажа, обслуживания солнечных и других энергоэффективных систем горячего водоснабжения, в перспективе отопления и электрообеспечения.

Решение проблемы

Как возможно это сделать, конечно же, с помощью экономической модели, которая ни коим образом не противоречит другим мировым моделям. Основой нашей модели являются три пункта – олицетворяющие три конкретных образа: Первый – банкир. Второй – промышленник (предприниматели малого, среднего и большого бизнеса). И, наконец, третий – изобретатель.

Как известно из теории политэкономии, дело – это работа (на юридическом языке действие или бездействие), которая приносит доход, а лучше прибыль. Анализ ситуации с энергосбережением показывает, что мы должны обеспечить прибыль всем работающим на этой ниве. Чтобы получить прибыль, вложенные в энергосбережение, т.е. в дело, средства сначала должны вернуться. Здесь нам может помочь изобретатель.

В результате вышеизложенных мер мы предлагаем свой выход из сложившейся проблемы – создание финансово-промышленной группы (*кластера*) для обеспечения реальных действий, направленных на развития энергосбережения в городе Севастополе.

Кластер состоит из трёх секторов:

1-й сектор разработки и правового сопровождения инноваций;

2-й сектор реализации (внедрения) инноваций;

3-й сектор финансового обеспечения реализации инноваций и получения прибыли для всех участников.

Секторы имеют общие элементы, обеспечивающие устойчивое функционирование всех звеньев и выполнение главной задачи. Как известно из науки кибернетики, любая система устойчиво функционирует, а тем более развивается, если есть так называемые прямые и обратные связи.

На рис. 3 представлена Структурная схема Финансово-промышленной группы корпорации, акционерного общества или другой группы.

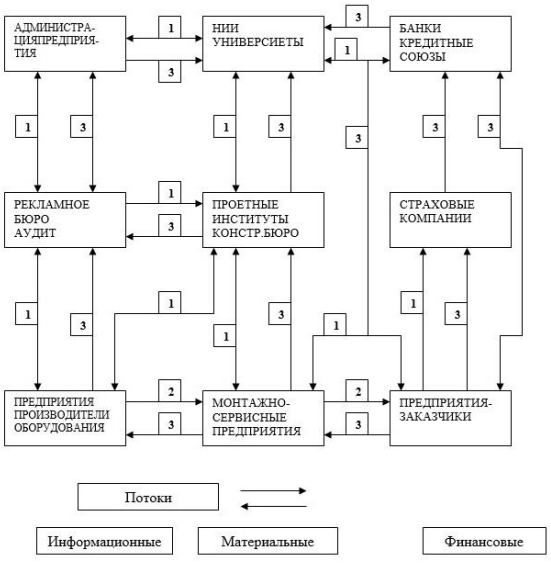


Рис. 3. Структурная схема Финансово-промышленной группы (корпорации, акционерного общества)

На основании проекта кластерный банк даст предприятию-заказчику кредит ровнёхонько на срок окупаемости. Кредит может быть и льготным, как положено по закону, возможно и со страховкой от нашей же страховой компании, а может и без льгот, это для нашей модели не так уж и важно. Процесс всё равно будет идти без использования оборотных средств предприятия-заказчика. В результате предприятие-заказчик заключает солидный договор с солидным кластерным монтажно-сервисным предприятием на монтаж и, самое главное, на гарантийное обслуживание всего запроектированного и смонтированного ровно на срок окупаемости. Создаются новые рабочие места, крыши котелен, жилых домов, больниц, пансионатов, детских домов покрываются нашими отечественными гелиоколлекторами, солнечными батареями, в подвалах домов почти беззвучно урчат тепловые насосы, забирая тепло у Земли и вод Чёрного моря и отдавая его их потребителю с повышенной температурой.

Технические решения задачи

Проблема горячего водоснабжения, особенно в летний период, является одной из энергозатратных задач ЖКХ городов, объектов санаторно-курортного комплекса, больниц, детских учреждений и т. п. В Крыму, в том числе Севастополе, эта задача усугубляется отсутствием, необходимых для цивилизованного уровня обеспечения жителей этой услугой собственных энергоносителей.

Накопленный к настоящему времени опыт использования нетрадиционных энергоносителей показывает, что для обеспечения населения и предприятий горячей водой с температурой вплоть до 100 ºС могут использоваться солнечные котельные на основе гелиоколлекторов различных конструкций (рис.1).

Главными элементами гелиоколлекторов является: абсорбер – поглотитель солнечной энергии, теплоизолированный корпус, прозрачное покрытие корпуса. Солнечное излучение, попадая на черную поверхность абсорбера, преобразуется в тепловую энергию, которая передается воде, протекающей по каналам абсорбера. С ростом температуры воды на выходе КПД гелиоколлекторов падает. Поэтому обычно температуру на выходе поддерживают на уровне 55-60 градусов Цельсия, что соответствует санитарным нормам. При этом КПД составляет 50-60%. Более высокие значения реализуются при использовании для чернения поверхности абсорберов так называемых селективных покрытий, обладающих высоким коэффициентом поглощения солнечного излучения в оптическом диапазоне длин электромагнитных волн солнечного спектра и низким коэффициентом излучения в инфракрасном диапазоне, соответствующем температуре абсорбера.

Интегральной характеристикой гелиоколлекторов является объем воды, нагреваемой за летний день в июне-августе от 20 до 55-60 градусов Цельсия. В среднем этот показатель составляет 100-150 литров с 1 кв.метра гелиоколлектора и, естественно, зависит не только от совершенства гелиоколлектора, но и от погодных условий (времени солнечного сияния, ветра, температуры воздуха), а также ориентации поверхности абсорбера относительно солнечных лучей. Для нашей широты при использовании гелиоколлекторов в летний период оптимальной ориентацией гелиоколлекторов является наклон их под углом 30-40 градусов к горизонту с установкой на юг или + 15 градусов от этого направления.

Как упоминалось ранее горизонтальном (на плоской кровле) или вертикальном (на стенах) расположении эффективность гелиоколлекторов снижается примерно на 20-25 %, однако, при этом существенно упрощается монтаж, и уменьшаются ветровые нагрузки. Гидравлические схемы гелиосистем могут быть различны: одноконтурная проточная, одноконтурная с естественной или принудительной циркуляцией, двухконтурная с незамерзающей жидкостью в первом гелиоколлекторном контуре. По третьей схеме система может работать и зимой, при этом в зимний период угол установки гелиоколлекторов относительно горизонтальной плоскости необходимо увеличить до 50-60 градусов. По экспериментальным и расчетным данным применение гелиосистем может обеспечить снижение расхода традиционных энергоносителей (газ, дизельное топливо, мазут, уголь) от 100 % при летнем режиме работы объекта (пансионаты, детские лагеря) до 50-70 % при круглогодичной работе. Срок окупаемости гелиосистем при существующих ценах на геликоллекторы (примерно 500-900 гр. за 1 кв. метр), стоимости комплектующих, проектных и монтажных работ может составить от трех до шести лет, в зависимости от сложности систем и вида замещаемого традиционного энергоносителя. Перспективы развития индустрии солнечных систем горячего водоснабжения можно оценить на примере Ав-

стрии, близкой к югу России по климату. На каждого жителя в Австрии приходится около 0,2 кв. метра гелиосистем. Всего по этой стране 2 млн. кв. метров гелиосистем.

Исходя из этого критерия, в Севастополе может быть, смонтировано около 70 тысяч кв. метров гелиосистем. В Крыму около 600 тыс. кв. метров.

Поскольку другой альтернативы решения проблемы горячего водоснабжения на основе возобновляемой энергетики в условиях Крыма и юга России, нет, то для широкомасштабного внедрения солнечных систем горячего водоснабжения предложенный кластер разрабатывает идеологию развития этой индустрии.

На основе комплексного подхода к проблеме путем создания финансово-промышленной корпорации, обеспечивающей финансирование всех затрат за счет получаемой экономии средств, в течение срока окупаемости, равного гарантийному сроку эксплуатации. При этом разработчики должны обеспечить общий срок эксплуатации не менее двух гарантийных.

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы:

- Солнечные установки по прямому преобразованию потока излучения в тепловую энергию обладают значительным коэффициентом преобразования по сравнению с солнечными электрогенерирующими системами, потом для нужд теплоснабжения их применение оправданно, как с точки зрения энергетики, так и экономически.
- Системы солнечного теплоснабжения используются у частных потребителей Крыма в большинстве случаев для нагрева горячей воды, при этом плоские солнечные коллектора позволяют получать температуру 50-60 ^{o}C, обладая значительной эффективностью работы, Системы УСГВ и их применение обосновано и позволяет при определенных режимах иметь высокие энергетические показатели, особенно для нужд и экономии органических топлив на территории Республики Крым и города Севастополя.
- При использовании специальных высокоточных технологий для обработки приёмных поверхностей абсорберов гелиоустановок можно значительно поднять их коэффициент преобразования, эффективность использования и увеличить срок эксплуатации, а также привлечь к производству гелиосистем Крымских и Российских производителей.
- Гелиоустановки можно использовать не только в Крыму, но и в многих районах Российской Федерации, поэтому для обеспечения автономных потребителей горячей водой с их помощью возможно значительно сэкономить органическое топливо, сократить вредные выбросы и улучшить в целом экологическую обстановку в регионах.

Список литературы

1. Боков В. А. Энергетика окружающей среды / Боков В. А., Черванев И.Г. – Симферополь: ТНУ, 2005. – 187 с.
2. Бобра Т.В. Модель расчета энергоэффективности использования гелиосистем на крышах зданий городов /Т. В. Бобра, В. О. Ященков //Солнечная энергетика для устойчивого развития Крыма. – Симферополь, 2009. – С. 234 - 245.
3. Устойчивое развитие – стратегия развития Крыма в 21 веке / [Боков В. А., Ена В. Г., Ефимов С. А., и др.]. – Симферополь, 2000. – 80 с.
4. .Кибовский С. А. Энергосбережение в Крыму: приложение к научно-практическому дискуссионно-аналитическому сборнику «Вопросы развития Крыма» / Кибовский С. А., Ефимов С. А., Петрук С. К., Сафонов В.А. – Симферополь: Таврия-Плюс, 2001. – 220 с.
5. Лосев К.С. Климат вчера, сегодня и завтра / Лосев К. С. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1985. – 176 с.
6. Алексеев В. В. Перспективы развития альтернативной энергетики и ее воздействие на окружающую среду / В.В. Алексеев, Н.А. Рустамов, К. В. Чекарев, Л. А. Ковешников. – Москва – Кацивели: МГУ, 1999. – 120 с.
7. Даффи Дж.А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир,1977г.
8. Экспериментальное исследование параметров эффективного плоского солнечного коллектора с фотоэлектрическим источником энергии / В. А. Якимов, В. В. Кувшинов // Сб. науч. трудов. – Севастополь, 2006. – Вып. 4(20). – С. 162- 168.
9. Харченко Н.В., Никифором В.А. Системы гелиотеплоснабжения и методика их расчета. – Киев: Общество „Знание” 1982 г.
10. Солнечная энергетика для устойчивого развития Крыма / [Н. В. Багров, А. И. Боков, Э. А. Бекиров, В. В. Кувшинов и др.]. – Симферополь: Крымский научный центр, 2009. – 293 с.

References

1. Bokov V. A. Environmental energy / Bokov V. A., Chervanev I. G. - Simferopol: TNU, 2005. - 187 p.

2. Bobra T.V. Model for calculating the energy efficiency of using solar systems on the roofs of city buildings / T.V. Bobra, V.O. Yashchenkov // Solar energy for the sustainable development of Crimea. – Simferopol, 2009. – P. 234 - 245.
3. Sustainable development - strategy for the development of Crimea in the 21st century / [Bokov V. A., Ena V. G., Efimov S. A., etc.]. – Simferopol, 2000. – 80 p.
4. . Kibovsky S. A. Energy saving in Crimea: application to the scientific and practical discussion and analytical collection "Issues of the development of Crimea" / Kibovsky S. A., Efimov S. A., Petruk S. K., Safonov V. A. - Simferopol: Tavria-Plus, 2001. – 220 p.
5. Losev K. S. Climate yesterday, today and tomorrow / Losev K. S. - Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. - 176 p.
6. Alekseev V.V. Prospects for the development of alternative energy and its impact on the environment / V.V. Alekseev, N.A. Rustamov, K.V. Chekarev, L.A. Koveshnikov. – Moscow – Katsiveli: Moscow State University, 1999. – 120 p.
7. Duffy J.A., Beckman W.A. Thermal processes using solar energy. – M.: Mir, 1977.
8. V. A. Yakimov, V. V. Kuvshinov Experimental study of the parameters of an efficient flat solar collector with a photovoltaic energy source. *Collection. scientific works*, Sevastopol, 2006, Issue. 4(20), pp. 162-168.
9. Kharchenko N.V., Nikifor V.A. Solar heating systems and methods of their calculation. – Kyiv: Society "Knowledge" 1982.
10. Solar energy for sustainable development of Crimea / [N. V. Bagrov, A. I. Bokov, E. A. Bekirov, V. V. Kuvshinov, etc.]. – Simferopol: Crimean Scientific Center, 2009. – 293 p.

УДК 620.92

Системные взаимосвязи между производителями и потребителями электроэнергии

Е.Г. Малюк[1]

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, [1]evmalyuk@mail.ru

Статья поступила 15.02.2024 г.; после доработки 19.02.2024 г.

Аннотация

Статья посвящена системным взаимосвязям между производителями и потребителями электроэнергии, приведены концептуальные соображения, которые помогают структурировать постановку и процесс прогнозирования и конкретизации целостной методологией количественных исследований.

Ключевые слова: стратегическое взаимодействие, потенциальная конкуренция, рынок передачи электроэнергии.

Systemic relationships between producers and consumers of electricity

E.G. Maluk[1]

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia.
[1]evmalyuk@mail.ru

Received 15.02.2024 y.; received in final form 19.02.2024 y.

Abstract

The article is devoted to the systemic relationships between producers and consumers of electricity, provides conceptual considerations that help structure the formulation and process of forecasting and concretization by a holistic methodology of quantitative research.

Keywords: strategic interaction, potential competition, electricity transmission market

Введение

Производство и потребление электроэнергии связаны между собой, и их взаимодействие является изолированной частью внутренних систем. Между производителем и потребителем продукции возникают сложные взаимоотношения. Производитель, например, может создать дефицит продукции и поставить потребителя в зависимость ("бери что предлагают"), в свою очередь потребитель может пойти к другому производителю, если первый установит высокие цены и снизит качество продукции [1].

В условиях рыночной экономики, неустойчивости общей конъюнктуры рынка стратегия управления призвана способствовать стабилизации производственно-хозяйственной деятельности.

Взаимодействие структур при производстве, передаче и потреблении электроэнергии

Системные взаимосвязи между производителями и потребителями электроэнергии находятся на разных уровнях.

На первом уровне их контролируют генерирующие компании, уделяя внимание производству электроэнергии. Они могут использовать различные источники энергии, включая традиционные (уголь, нефть, газ) и возобновляемые источники (ветер, солнце, гидроэнергетика). Ге-

нерирующие компании обеспечивают стабильное и эффективное производство электроэнергии, чтобы стимулировать спрос со стороны потребителей.

На втором уровне находятся транспортные сети, которые передают электроэнергию от производителей к потребителям. К ним относятся сети высоковольтные (МЭС) и районные линии передачи, подстанции и другие системы. Главная цель комплексных систем – эффективно и безопасно доставить потребителям электроэнергию на дальнее расстояние.

На третьем уровне контролируют потребление электроэнергии. Они могут состоять из домашних хозяйств, коммерческих предприятий и промышленных компаний. Потребители используют электроэнергию для своих нужд, таких как освещение, отопление, производство и т.д. Важное замечание: спрос потребителей может существенно меняться в зависимости от времени суток и сезона, что требует гибкости системы и регулирования производства [1].

Технологическая и рыночная цепочки производства и потребления электроэнергии (оптовый и розничный рынки) с учетом их взаимодействия представлены на рис.1, рис. 2, рис.3.



Рис. 1 Технологическая цепочка



Рис. 2 Рыночная цепочка (Оптовый рынок)



Рис. 3 Рыночная цепочка (Розничный рынок)

На оптовом рынке продавцами электрической энергии являются генерирующие компании (электростанции). В роли покупателей выступают: потребители, закупающие электроэнергию для собственных нужд; сбытовые и сетевые компании, получающие энергию для дальнейшей перепродажи потребителям; экспортные агенты, приобретающие электричество для реализации в зарубежные энергосистемы.

На розничном рынке сбытовые компании, как правило, являются и продавцами электроэнергии потребителям и посредниками в процессе перспективного планирования объемов потребления электроэнергии потребителями [2].

Количественное измерение

Мерой качества взаимодействия в период времени служит:

$$\lambda_{jnt} = \frac{\|f_0(t) - f_i(t)\|}{\|f(t) - f_i(t)\|}$$

где $\|f_0\|$ определяется, как средняя по вероятностям всех реализаций среднеквадратичная норма функции:

$$\|f(t)\| = \langle \left[\int_{t_1}^{t_2} f^2(t)dt \right]^2 \rangle$$

Тогда ценность параметров определяется как:

$$Q_{jnt} = lg\lambda_{jnt}$$

Характер взаимодействия зависит и от этапа жизненного цикла.

Заключение

Системные взаимосвязи между производителями и потребителями подразумевают, что передается не только электрическая энергия как товар, но в процессе взаимодействия поставщиков

и потребителей, осуществляется системное управление и контроль эффективности и качества производства и передачи электроэнергии на всех этапах ее производства и потребления. Одной из задач является поддержание баланса между спросом и предложением электроэнергии, чтобы избежать перегрузок и снижения ее качества. Для этого использовались технологии управления нагрузками, резервы производства и системы автоматического и автоматизированного контроля [4].

Взаимодействие между производителями и потребителями электроэнергии важно для обеспечения стабильного, надежного и качественного электроснабжения. Производители должны прогнозировать потребность в электроэнергии в соответствии с перспективами развития селитебных территорий и обеспечить ее достаточное количество для обеспечения потребителей, а потребитель должен оплатить потребляемую электроэнергию и использовать ее эффективно, и в соответствии с договором на поставку электроэнергии осуществлять организационные и технические мероприятия по обеспечению качества электроэнергии в питающей сети, поскольку особенность электроэнергии как товара заключается в том, что ее качество определяется не только технологиями производства и передачи, но и технологическими процессами при потреблении.

Таким образом, при всей важности технологических факторов - важнейшим в этом процессе может оказаться социальный аспект — рост благосостояния населения [3].

Список литературы

1. Макаров Макаров А.А. Энергетика: взаимосвязи и закономерности // Энергия: экономика, техника, экология. 1986. № 5.
2. Макаров А.А. Мировая энергетика и Евразийское энергетическое пространство [Текст] / А. А. Макаров; Ин-т энерг. исслед. РАН. - Москва : Энергоатомиздат, 1998. - 277 с. : ил.; 25 см.; ISBN 5-283-02557-8.
3. Васильев М.Ю. Модели стратегического взаимодействия сетевых и генерирующих компаний на рынке передачи электроэнергии. /А.Ю. Филатов. 2011
4. Юшкова, Е. А. Потоки энергии и эксергии / Е. А. Юшкова, В. А. Лебедев. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 12 (146). — С.

References

1. Makarov Makarov A.A. Energy: interrelations and patterns // Energy: economics, technology, ecology. 1986. № 5.
2. Makarov A.A. World energy and the Eurasian Energy Space [Text] / A. A. Makarov; Institute of Energy Research of the Russian Academy of Sciences. - Moscow : Energoatomizdat, 1998. - 277 p. : ill.; 25 cm.; ISBN 5-283-02557-8.
3. Vasiliev M.Y. Models of strategic interaction of network and generating companies in the electricity transmission market. / A.Y. Filatov. 2011
4. Yushkova, E. A. Flows of energy and exergy / E. A. Yushkova, V. A. Lebedev. — Text : direct // Young scientist. — 2017. — № 12 (146). — S.

УДК 620.92

Исследование характеристик ветроэлектрической установки для генерации электрической энергии на территории Крымского региона

А.Н. Фролова [1], В.П. Коломийченко [2]
[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Университетская, 33,г. Севастополь, 299053, Россия, ANFrolova@sevsu.ru
[2] Черноморское высшее военно-морское ордена Красной Звезды училище им. П.С. Нахимова
ул. Павла Дыбенко, 1а, г. Севастополь, 299028, Россия

Статья поступила 20.02.2024 г.; после доработки 25.02.2024 г.

Аннотация
В работе был рассмотрен вариант снабжения потребителей электроэнергией с использованием ветротурбин малой мощности, при расположении их на территории Крыма. Ветровые энергетические установки, экологически чистые и доступные, вполне могут заменить или дополнить традиционные способы получения энергии.

Ключевые слова: ветроэлектрическая установка, фотоэлектрическая ветроэлектрическая станция, энергосистема, автономный потребитель, возобновляемая энергетика.

Study of the operation of a wind power plant for power supply to autonomous consumers in the Crimean region

A.N. Frolova [1], V.P. Kolomiychenko [2]
[1]Sevastopol State University, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia, ANFrolova@sevsu.ru
[2] Black Sea Higher Naval Order of the Red Star School named after P.S. Nakhimov
Pavel Dybenko str., 1a, Sevastopol, 299028, Russia

Received 20.02.2024y.; received in final form 25.02.2024y.

Abstract
The work considered the option of supplying consumers with electricity using low-power wind turbines, when located in the Crimea. Wind power plants, environmentally friendly and affordable, may well replace or complement traditional methods of generating energy.

Keywords: wind power plant, photovoltaic wind power station, power system, autonomous consumer, renewable energy.

Введение

В настоящее время во всем мире наблюдается повышенный интерес к использованию в различных отраслях экономики нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ). Ведется бурная дискуссия о выборе путей развития энергетики. Это связано, прежде всего, с растущей необходимостью охраны окружающей среды. Движущей силой этого процесса являются происходящие изменения в энергетической политике стран со структурной перестройкой топливно-энергетического комплекса, связанной с экологической ситуацией, складывающейся в настоящее время как переходом на энергосберегающие и ресурсосберегающие технологии в энергетике, так и в промышленности, и в жилищно-гражданском комплексе. Ежегодно в

мире увеличивается число международных симпозиумов, конференций и встреч ученых и специалистов, рассматривающих состояние и перспективы развития этого направления энергетики.

Крымский полуостров является энергетики обособленной системой, для поддержания которой необходимо постоянно поддерживать связь с материком. Для использования в качестве электрогенерирующих установок экологически чистой энергии для различных районов Крыма целесообразно, из всех видов ВИЭ выбрать установки для преобразования энергии ветрового потока электричество. Такое использования ветра осуществляется ветротурбинами, которые на территории полуострова применяются с 1993 года и работают параллельно с общей энергосистемой.

Постановка задачи

В представленной работе использовался энергокомплекс на основе возобновляемых источников энергии для обеспечения индивидуального потребителя электроэнергией, качестве энергоустановок была применена ветроэлектрическая установка (ВЭУ-10), мощностью 10 кВт. Для генерации электроэнергии ветротурбина была установлена на Тарханкутском полуострове Крыма. Задачами работы являлись разработка энергокомплекса, который включает в себя ветроэлектрическую установку, мощностью 10 кВт, систему автоматики и вспомогательное оборудование, а также разработка функциональной и принципиальной схемы системы автоматического регулирования (САУ). Для заданного района (мыс Тарханкут) использовались справочные данные среднемесячной и годовой скоростей ветра, а также вероятность скорости ветра по градациям [2].

Состав и конструкция ВЭУ-10

Ветроустановка ВЭУ-10 предназначена для преобразования кинетической энергии природного ветрового потока в электрическую энергию промышленной частоты 50 Гц и напряжением 380 В [2]. Ветроустановка ВЭУ-10 кВт состоит из трёх лопастей, расположенных под углом 120° по окружности. Регулирование аэродинамических характеристик ветроколеса осуществляется путём поворота лопастей вокруг их продольных осей. Нулевой угол установки лопасти соответствует такому её положению, когда хорда концевого сечения параллельна плоскости вращения ветроколеса. Лопасти выполнены из сложного полиэфира и углеродного волокна. Эти материалы обеспечивают высокую прочность лопасти и им присущи отличные антикоррозионные свойства. Лопасти закреплены на валу–ступице с возможностью синхронного поворота вокруг оси. Лопасть состоит из верхней и нижней оболочки, лонжерона с фланцем и лонжерона малого. Профиль лопасти выполнен по схеме NASA-44 и имеет угол крутки 8^{0}. Верхняя и нижняя оболочки лопасти аналогичны по конструкции и включают в себя панели, полученные выкладкой стеклоткани в матрице с последующим вакуумным прессованием. По передней и задней кромкам в оболочках отформованы утолщения, образующие стыковочные поверхности, по которым производится сборка лопасти. На внутренних поверхностях оболочек отформован силовой набор с сотовым заполнителем. Оболочки выполнены разнотолщинными, что обусловлено условиями их нагружения при работе ВЭУ. Первая оболочка испытывает напряжения сжатия, а вторая - напряжения растяжения. Поэтому первая оболочка по всей длине на 1 мм толще второй. Требуемая чистота рабочих поверхностей оболочек обеспечивается их формованием в матрице и последующей зачисткой. Защита рабочих поверхностей оболочек от воздействия солнечных лучей, осадков, влаги, пыли и т. д. обеспечивается нанесением лакокрасочного покрытия светлых оттенков.

Система управления ветроколесом (ротором) ВЭУ представляет собой аэромеханическую систему, состоящую из рулей, закреплённых на кронштейнах за задней кромкой лопасти с возможностью поворота на торсионе, механизма синхронизации поворота и центробежного регулятора. Аварийная остановка ветроэлектрической установки производится дистанционно (с помощью электропровода) или вручную, путём перевода лопастей во флюгерное положение. Гондола ВЭУ предназначена для размещения узлов и агрегатов, преобразующих вращательное движение ветроколеса в электрическую энергию переменного тока. Она обеспечивает защиту от вредного воздействия окружающей среды и размещение узлов и устройств силовой передачи, механического и электротехнического оборудования, датчиков систем управления, и диагностики, а также вспомогательных узлов, устройств и элементов ветроэлектрической установки.

Поворотная платформа является несущим элементом конструкции гондолы ВЭУ, на которой размещены и закреплены основные узлы, устройства и составные части. Платформа представляет собой цельносварную конструкцию из стальных листов, уголков профиля и проката.

Для проведения сборочных и монтажных работ платформа укомплектована грузовыми захватами и имеет механически обработанные посадочные места для крепления узлов и агрегатов головки. В нижней части платформы расположен фланец - для крепления головки к подвижной части переходника (с устройством ориентации головки на ветер).

Тормоз ветроколеса предназначен для полной остановки ветроколеса после выключения ВЭУ и срабатывает по команде от системы управления, а также от пульта регламентных проверок системы управления, диагностики и измерений. Тормоз установлен на валу и соединён шлицевой тормозной накладкой. Тормоз выполнен на основе тормозного фрикциона. На тормозе корпуса закреплён кронштейн для установки электромеханического привода, шток которого соединён с рычагом, обеспечивающим расклинивание дисков фрикциона.

Трансмиссия включает в себя ступицу, главный вал, промежуточный вал и мультипликатор. Две упругие муфты обеспечивают демпфирование в линии “ротор – мультипликатор’’, что смягчает динамические нагрузки на лопасти и трансмиссию. Мультипликатор представляет собой планетарный механизм с передаточным отношением i = 12. Мультипликатор совмещён в одном корпусе с генератором.

Генератор асинхронный 4АМХ132М2УЗ трёхфазный, самовозбуждающийся, номинальная мощность – 10 кВт, максимальная мощность – 13 кВт, частота тока – 50 Гц, номинальное напряжение – 380 В, частота вращения – 750 об/мин.

Все описанные элементы образуют машинное отделение ветроэлектрической установки, которая свободно поворачивается в опорном подшипнике, размещённом в колонне опорно – поворотного устройства.

Башня ВЭУ-10 предназначена для размещения на ней ветродвигателя и, в зависимости от компоновочной схемы, элементов конструкции механизма ориентации ветроколеса на ветер; системы регулирования скорости вращения ветроколеса; мультипликатора; генератора и элементов контроля и управления работой ВЭУ. Башня воспринимает механические, тепловые, влажностные и вибрационные нагрузки при работе ветроагрегата.

При работе ветроустановки конструкция башни обеспечивает защиту от попадания во внутрь осадков и пыли. Жёсткость башни выбирается из условия, чтобы частота собственных колебаний системы ветроколесо - башня была далека от всех гармоник частоты ветроколеса при всех режимах его работы, а также от гармоник, соответствующих ветровому резонансу башни, возникающему при числах Струхаля $S_h \cong 0{,}2$. Прочностные и вибрационные характеристики башни определяются конструкцией, материалом изготовления, конструкцией и качеством изготовления фундамента, глубиной его заложения, типом грунтов, которые не должны позволять фундаменту иметь заметную осадку, особенно-неравномерную, которая вызывает перекос башни. Центр тяжести всей массы ВЭУ и фундамента должен находиться на одной вертикали.

Результаты исследований

Для расчетов выработки электроэнергии ВЭУ, в работе необходимо было определить рабочие характеристики ВЭУ [3]. К таким характеристикам относятся мощностная и моментная характеристики. Для построения мощностной характеристики определяется зависимость мощности ВЭУ от скорости ветра (формула 1).

$$P_{ВЭУ} = 0{,}5 \cdot \rho \cdot S_o \cdot C_p \cdot \eta \cdot V^3, \ (кВт) \qquad (1)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м^3; S_o – площадь отметаемой поверхности, м^2; C_p – коэффициент использования энергии ветра; η - действительный КПД ВЭУ, V – скорость ветрового потока, м/с.

При скорости ветра выше расчётной, мощность ВЭУ остаётся постоянной и равной мощности при расчётной скорости ветра. Для построения моментной характеристики определяется зависимость крутящего момента от скорости ветра.

Величина крутящего момента определяется по формуле:

$$M = P \cdot 10^3 / \omega \cdot \eta, \ (Н \cdot м) \qquad (2)$$

где P – мощность ВЭУ при данной скорости ветра, кВт; ω – угловая скорость при данной скорости ветра, рад/с.

На рисунке 1 приведен график зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра.

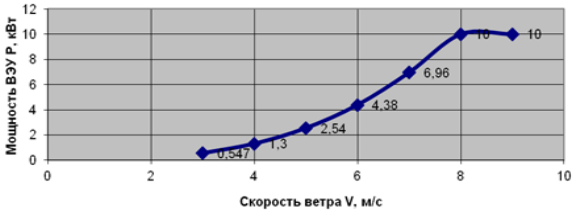


Рис. 1. Зависимость мощности ВЭУ от скоростей ветрового потока

На рисунке 2 приведен графики крутящего момента от скорости ветра.



Рис. 2. Зависимость крутящего момента ротора ВЭУ от скоростей ветрового потока

К техническим показателям эффективности использования ВЭУ относятся:

– объёмная выработка электроэнергии по месяцам года и в целом за год;
– коэффициент технической готовности, численное значение которого для ВЭУ находится в пределах $К_{тг}$ = 0,96÷0,98;
– коэффициент, учитывающий простой ВЭУ при наличии ветра и налипания на лопасти мокрого снега, численное значение которого для метеоусловий Украины составляет $К_м$ = 0,96÷0,98;
– мощность, развиваемая ветроэлектрической установкой, при скорости ветра i – той градации, кВт;
– повторяемость значения скорости ветра i – той градации, %.

Количество энергии, выработанное ветроэлектрической установкой за период времени Т, определяется по формуле (3):

$$E=T\cdot K_г\cdot K_м\cdot \Sigma P_i\cdot П_i, \quad (3)$$

где T – число часов работы ветроэлектрической установки, час (с учётом безветренных дней); P_i - мощность ВЭУ, при скоростях ветра$_i$, i – градации, $П_i$ – сумма повторяемость скоростей ветра (%).

Количество энергии, выработанное ВЭУ за год, определяется как сумма количеств энергии, выработанная по месяцам, то есть: $Е_{год}=\Sigma Е_i$, где $Е_i$ – энергия, выработанная ВЭУ.

Объём годовой выработки электроэнергии составляет

$$E_{год} = E_1+E_2+E_3+E_4+E_5+E_6+E_7+E_8+E_9+E_{10}+E_{11}+E_{12}$$
$$=2,14+2,26+2,08+1,45+1,28+1,33+1,325+1,38+1,52+1,59+1,42+1,85 = 19,625\ МВт*час/год.$$

Итого, за год ВЭУ - 10 вырабатывает 19,625 МВт·час электроэнергии. На рисунке 3 показана зависимость годовой энерговыработки ветротурбины по месяцам

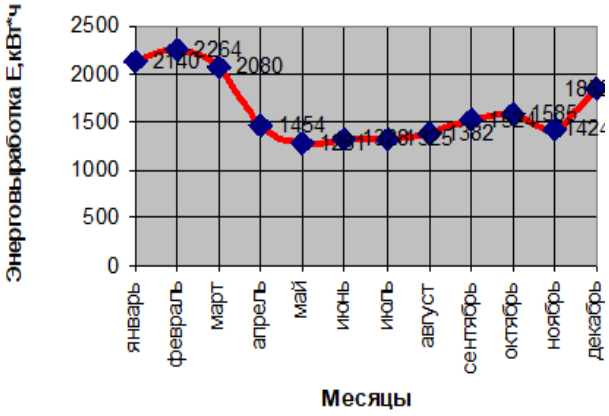


Рис. 3. Зависимость энерговыработки по месяцам

Число часов работы ветроустановки в год:

$Т_{год}=\Sigma Т$=575,86+551,04+574,37+513,36+526,75+535,68+563,95+567,67+569,52+563,1+ +527,04+554,28 = 6622,6 час/год.

Определим коэффициент использования номинальной мощности ВЭУ.

Коэффициент использования номинальной мощности ВЭУ $К_и$ представляет собой величину, показывающую, сколько ВЭУ работает на номинальной мощности за год [4].

Данный коэффициент можем определить, как отношение времени работы ВЭУ на номинальной мощности к общему времени работы за год, с учётом данных метеорологических таблиц (с учётом безветренных дней).

С учётом коэффициента технической готовности $К_г$ и метеорологического коэффициента $К_м$, которые равны $К_г$=0,97, $К_м$=0,97, в общем виде формула имеет вид: $К_и = К_г\cdot К_м\cdot Т_{нм}/Т$. В этой формуле $Т_{нм}$ - время работы на номинальной мощности, которое определяется как произведение повторяемостей скоростей ветра свыше номинальной, и общего время работы, т. е.: $Т_{нм} = \Sigma П_н\cdot Т$, таким образом, коэффициент использования номинальной мощности ВЭУ-10 составляет 20 %.

Годовой коэффициент использования номинальной мощности ВЭУ представляет важную величину фактически определяющую годовой КПД ВЭУ. Как видно в данной работе он составляет всего около 20%, что определяется недостаточно эффективную работу ВЭУ. Это получается из-за непостоянства ветрового потока в данной местности и недостаточной высотой расположения оси ротора ВЭУ.

Заключение

Использование дополнительной генерации на основе возобновляемых источников энергии для обеспечения индивидуального потребителя электроэнергией является важной задачей для крымского региона, т. к. позволяет улучшить экологическую составляющую и уменьшить зависимость от поставок топлив с материковой части России.

Разработанный энергокомплекс, включает в себя ветроэлектрическую установку, мощностью 10 кВт и систему автоматического регулирования на базе микропроцессорного управления, позволяющую увеличить выработку электрической энергии и обеспечить качественное энергоснабжение индивидуального потребителя.

Использование ветроэлектрической системы автономной генерации позволяют обеспечить дополнительной электроэнергией потребителя в моменты отключений и недостаточной работы общей сети.

Рассчитанные характеристики ветроустановки обеспечивают качественны параметры нагрузки для работы электроприборов и систем жизнеобеспечения.

Список литературы

1. Абдали Л. М., Аль-Руфаи Ф. М., Исса Х.А., Мохаммед Х.Д., Якимович Б.А., Моделирование и контроль энергии ветра, X Всероссийская научно-практическая конференция "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", - Томск: ТПУ, 22–24 апреля 2020 г., с. 14-19.
2. Моделирование и управление системой ветроэнергетики, связанной с сетью с использованием синхронного генератора с постоянными магнитами (СГПМ) / Л. М. Абдали, Ф. М. Аль-Руфаи, Х. А. Исса, Б. А. Якимович // Актуальные проблемы электроэнергетики: Сборник научно-технических статей конференции, Нижний Новгород, 17 декабря 2021 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2021. – С. 299-308.
3. Кувшинов В.В., Морозова Н.В., Софийский Н.В. Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии: Учебное пособие. 2018. – 277 с.
4. Интеллектуальная система управления, используемая при работе ветроэлектрических установок /Л. М. Абдали, Ф. М. Аль-Руфаи, Б. А. Якимович,В. В. Кувшинов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 1. С.102–112.

References

1. Abdali L.M., Al-Rufai F.M., IssaKh.A., Mohammed Kh.D., Yakimovich B.A., [Modeling and control of wind energy], X Vserossiyskayanauchno-praktich-eskayakonferentsiya "Nauchnayainitsiativainostrannykhstudentov i aspirantovrossiyskikhvuzov", - Tomsk: TPU, April 22-24, 2020, p. 14-19.
2. Modeling and control of a wind power system connected to the grid using a synchronous generator with permanent magnets (PMS) / L. M. Abdali, F. M. Al-Rufai, H. A. Issa, B. A. Yakimovich // Actual problems of the electric power industry: Collection of scientific and technical articles of the conference, Nizhny Novgorod, December 17, 2021. - Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseeva, 2021 .-- S. 299-308.
3. Kuvshinov V.V., Morozova N.V., Sofiysky N.V. Energy installations based on renewable energy sources: Textbook. 2018. – 277 p.
4. Abdali L.M., Al-Rufaee F.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Smart Control System for the Wind Energy Networks // Vestnik IzGTU imeni M.T. Kalasnikova. - 2021. - Vol. 24. - N. 1 - P. 102-112.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

УДК 658.26, 697.13

Методика расчета мощности основного и резервного источников энергии на основе уравнения теплового баланса здания

С.В. Вологдин[1], Б.А. Якимович[2]
[1]*ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск, 426069, Россия, e-mail: vologdin_sv@mail.ru*
[2]*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,* г. Севастополь, 299053, Россия, *e-mail: bayakimovich@mail.sevsu.ru*

Статья поступила 26.01.2024 г. г.; после доработки 30.01.2024 г.

Аннотация

В данной статье описывается методика расчет тепловых потерь зданий и помещений. Для детальности полученных данных, при расчете теплопотерь в зданиях учитываются теплопотери через ограждающие конструкции и затраты теплоты на нагревание наружного воздуха, поступающего в помещение через открываемые двери и другие проемы и неплотности в ограждениях. В работе произведен анализ теплопотерь одноэтажного здания, мощности основного и резервного источников энергии для индивидуального отопления с учетом эксплуатационных характеристик здания.

Ключевые слова: методика, теплопотери, теплообмен, нагревание, воздухопроницаемость.

Power calculation method of the primary and backup energy sources based on the building's heat balance equation

S.V. Vologdin[1], B.A. Yakimovich[2]
[1]*Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov Izhevsk, 426069, Russia, e-mail: vologdin_sv@mail.ru*
[2]*Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, e-mail: bayakimovich@mail.sevsu.ru*

Received 26.01.2024 y.; received in final form 30.01.2024 y.

Abstract

This article describes the method of calculating heat losses of buildings and premises. For the accuracy of the data obtained, when calculating heat loss in buildings, heat loss through enclosing structures and heat costs for heating outdoor air entering the room through opening doors and other openings and leaks in fences are taken into account. The paper analyzes the heat loss of a single-storey building, the capacity of the main and reserve energy sources for individual heating, taking into account the operational characteristics of the building.

Keywords: metodology, heat loss, heat transfer, heating, breathability.

Введение

1. Методика расчета мощности основного и резервного источника энергии.

В установившемся режиме теплообмена теплоприход от источников теплоты равняется тепловым потерям. Теплоприход, главным образом, определяется как сумма теплоотдачи от отопительных приборов Q_{np} и трубопроводов стояков, расположенных в помещении Q_{mp} (см.

рис. 1). Тепловые потери помещения теплопроводностью (Q^m) и инфильтрацией (Q^u) определяются суммой тепловых потерь через стеновые $Q_{ст}$, оконные ограждения $Q_{ок}$, тепловые потери через двери $Q_{дв}$, пол $Q_{пол}$, потолок $Q_{пот}$.

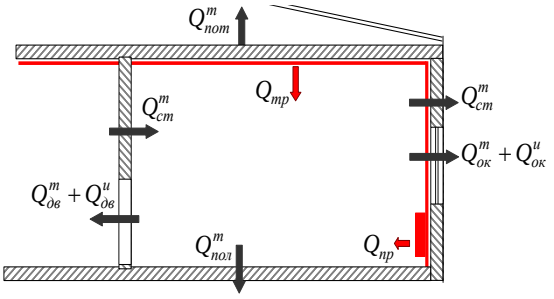


Рис. 1 Схема теплового баланса здания [1]

Таким образом, тепловой баланс здания определяется формулой:

$$Q = Q^m_{ст} + Q^u_{ст} + Q^m_{пол} + Q^m_{пот} + Q^u_{пот} + Q^m_{дв} + Q^u_{дв} + Q^m_{ок} + Q^u_{ок} = Q_{пр} + Q_{тр} \quad (1)$$

Требуемая номинальная мощность основного (возобновляемого) источника тепловой энергии (без учета расхода тепловой энергии на горячее водоснабжение) определяется в соответствии с максимальными тепловыми потерями здания через ограждающие конструкции при расчётной температуры окружающей среды в отопительном периоде $t_{н\ расч}$ (температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, например, для г. Севастополя – -7°С) в соответствии с [2].

Требуемая номинальная мощность резервного источника энергии определяется для обеспечения расчетной температуры помещений здания в периоды с аномально холодной температуры (температура воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98, например, для г. Севастополя – -14 °С) [2], а также в периоды отсутствия продолжительного времени необходимого количества поступающей солнечной энергии (пасмурные дни, ночное время). Номинальная мощность резервного источника должна составлять не менее 30 % от требуемой номинальной мощности основного источника тепловой энергии.

2. Методика расчета тепловых потерь зданий и помещений.

При расчете тепловых потерь зданий и помещений (1) приняты следующие допущения:

– температура воздуха в каждый момент времени одинакова во всем объеме помещения;
– влияние солнечной радиации не учитывается;
– режим теплообмена зданий стационарен.

В качестве составляющих тепловых потерь выделим следующие:

– теплопотери через стеновые ограждения;
– теплопотери через светопрозрачные ограждения (окна, фонари);
– теплопотери через двери (ворота);
– теплопотери через пол;
– теплопотери через потолок.

При расчете теплопотерь в зданиях учитывают теплопотери через ограждающие конструкции и затраты теплоты на нагревание наружного воздуха, поступающего в помещение через открываемые двери и другие проемы и неплотности в ограждениях.

Тепловые потери теплопроводностью через ограждения помещений определяются по формуле:

$$Q^m = \frac{F_i}{R_i}(t_в - t_н)(1+\beta)n(1+\beta_д), \quad (2)$$

где F_i – площадь ограждений; R_i – сопротивление теплопередаче ограждения; $t_в$ – температура помещения; $t_н$ – температура наружного воздуха; n – коэффициент, зависящий от положения поверхности ограждения (пол, стена, потолок) по отношению к наружному воздуху; β – добавочные потери теплоты; $\beta_д$ – добавочные потери тепла, учитывающие фактическое состояние ограждающей конструкции.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, кроме заполнения световых проемов и полов на грунте записывается в виде:

$$R_i = R_в + R_к + R_н, \quad (3)$$

где $R_в = 1/\alpha_в$, здесь $\alpha_в$ - суммарный (кондуктивный, конвективный и лучистый) коэффициент теплообмена на внутренней поверхности ограждающих конструкций; $R_к$ – сопротивление теплопередаче слоев ограждения:

$$R_k = \sum_j \delta_j / \lambda_j, \quad (4)$$

где δ_j, λ_j – толщина и коэффициент теплопроводности соответствующего j-го слоя.

Сопротивление теплопередаче на наружной поверхности стенового ограждения ($R_н$)

определяется по формуле

$$R_н = 1/\alpha_н, \quad (5)$$

где $\alpha_н$ – суммарный коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции.

Сопротивление теплопередачи заполнений световых проемов принимались в соответствии с [3]. Сопротивление теплопередачи для неутепленных полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли определяются по зонам шириной 2 м, параллельным наружным стенам в соответствии с [3].

Тепловые потери на нагревание наружного воздуха, поступающего путем инфильтрации в помещение Q^u, Вт определяются по формуле [3]:

$$Q^u = 0{,}28\sum G_i c\left(t_в - t_н\right)k\left(1+\beta_д\right), \quad (6)$$

где k - поправочный коэффициент: $k = 0{,}8$ при раздельных и $k = 1{,}0$ при спаренных переплетах и при одинарных окнах и балконных дверях; c – удельная массовая плотность воздуха; $\beta_д$ – добавочные потери тепла, учитывающие фактическое состояние ограждающей конструкции; G_i – количество воздуха, поступающего путем инфильтрации, кг/ч [3]:

$$G_i = \sum \frac{0{,}216 * F_1}{R^u}\left(\Delta p_i\right)^{2/3} + \sum F_2 G_н \left(\frac{\Delta p_i}{\Delta p_1}\right)^{2/3}, \quad (7)$$

где F_1 – площадь световых проемов (окон, фонарей), м; F_2 – площадь ограждающих конструкций (стен, крыши), м; $R^и$ – сопротивление инфильтрации оконного или балконного ограждения; $G_н$ - нормативная воздухопроницаемость; Δp_i - разность между давлениями на наружной и внутренней поверхности ограждающей конструкции давления воздуха на расчетной высоте [3]:

$$\Delta p_i = \left(H - h\right)\left(\gamma_н - \gamma_p\right) + 0{,}05\rho_н v_н^2\left(c_н - c_з\right)k_1 - p_{int}, \quad (8)$$

где H, h – высота над поверхностью земли соответственно верхней точки здания и верха ограждаемой конструкции; $\rho_н$ - плотность наружного воздуха; $v_н$ - скорость ветра; k_1 - коэффициент, учитывающий изменение скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания; $c_н$, $c_з$ - аэродинамические коэффициенты соответственно для наветренной и заветренной поверхностей зданий; $\gamma_н, \gamma_в$ – удельный вес наружного и внутреннего воздуха соответственно: $\gamma_н = \frac{3463}{\left(273 + t_н\right)}$; $\gamma_в = \frac{3463}{\left(273 + t_в\right)}$.

Расход тепловых потерь за отопительный период $Q_{от}$, кВт·ч определяется в зависимости от продолжительности отопительного периода по формуле:

$$Q_{от} = Q \cdot 24 \cdot z, \quad (9)$$

где Q - среднечасовые тепловые потери, Вт; z – продолжительность отопительного периода, сут.

3. Пример расчета.

Рассмотрим пример расчета тепловых потерь здания, мощности основного и резервного источников энергии для индивидуального отопления одноэтажного здания размерами: длина 3 м, ширина 4 м и высотой 3 м. В качестве основного источника для обогрева здания в отопительном периоде энергии рассмотрим солнечную миниэлектростанцию, в качестве резервного – электрический котел. В таблицах 1 приведены расчетные климатические параметры для расчета тепловых потерь здания для г. Севастополя, в табл. 2 - эксплуатационные характеристики здания.

В таблицах 3-6 приведены исходные данные, в т.ч. характеристики ограждающих конструкций и результаты расчетов тепловых потерь через стеновые и оконные конструкции, потолок и пол здания при средней температуре наружного воздуха за отопительный период.

В таблице 7 приведены сводные результаты расчета тепловых потерь через ограждающие конструкции. Суммарные среднечасовые тепловые потери при средней температуре наружного воздуха за отопительный период составили 1,45 кВт, потребность в тепловой энергии для обогрева здания за отопительный период составил 4593,60 кВт·ч. На рис. 2 представлены диаграмма структуры тепловых потерь здания. Основные потери тепловой энергии осуществляются через стены - 42,0% и оконные конструкции - 38,3%.

Таблица 1 *Расчетные условия*

Наименование расчетных параметров	Условные обозначения	Единица измерения	Значение
Расчетная температура внутреннего воздуха	$t_в$	°С	20
Расчетная температура наружного воздуха*	$t_{н\,расч}$	°С	-7
Продолжительность отопительного периода*	z	сут/год	132
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период*	$t_н$	°С	4,9
Теплоемкость воздуха	c	кДж/кг ·°С	1
Плотность наружного воздуха	$\rho_н$	кг/м^3	1,29
Скорость ветра*	$v_н$	м/с	4,5
Коэффициент, учитывающий изменение скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания	k_1	-	0,85
Коэффициент учета встречного теплового потока	k	-	1
Аэродинамические коэффициенты - наветренной стороны - подветренной стороны	 $c_н$ $c_з$	 - -	 0,8 -0,6

* В соответствии с СП 131.13330.2020 "Строительная климатология" для г. Севастополя

Таблица 2 *Эксплуатационные характеристики здания*

Характеристика здания	Значение
Функциональное назначение	Административно-бытовое
Тип системы отопления	Водяное отопление
Основной источник тепловой энергии	Возобновляемый (солнечные батареи)
Резервный источник тепловой энергии	Электрический котел

Таблица 3 *Тепловые потери через стены*

Исходные данные	Условные обозначения	Единицы измерения	Значение
Площадь	F	м^2	34,5
Материал	Газобетон, штукатурка		
Толщина (газобетон)	δ_i	м	0,1
Теплопроводность (газобетон)	λ_i	Вт/ м·°С	0,12
Толщина (штукатурка)	δ_i	м	0,015
Теплопроводность (штукатурка)	λ_i	Вт/ м·°С	0,93
Сопротивление теплопередачи	R	м^2·°С/ Вт	1,01
Коэффициент теплоотдачи внутренних поверхностей	$\alpha_в$	Вт/ м^2·°С	8,7
Коэффициент теплоотдачи внешних поверхностей	$\alpha_н$	Вт/ м^2·°С	23,0
Высота здания	H	м	3
Высота ограждающей конструкции	h	м	3
Нормативная воздухопроницаемость	$G_н$	кг(м^2·ч)	0,5
Добавочные потери тепла	β		0,05
Коэффициент, принимаемый в зависимости от положения конструкции	n		1
Добавочные потери тепла, учитывающие фактическое состояние ограждающей конструкции	$\beta_д$		0
Тепловые потери			
Тепловые потери теплопроводностью, в т.ч.	$Q_{ст}^{т}$	кВт	0,54
Тепловые потери инфильтрацией	$Q_{ст}^{и}$	кВт	0,07
Тепловые потери, итого	$Q_{ст}$	**кВт**	**0,61**

Таблица 4 *Тепловые потери через потолок*

Исходные данные	Условные обозначения	Единицы измерения	Значение
Площадь	F	м^2	12
Материал	деревянные доски, минеральная вата		
Толщина (деревянные доски)	δ_1	м	0,05
Теплопроводность (деревянные доски)	λ_1	Вт/ м·°С	0,35
Толщина (минеральная вата)	δ_2	м	0,20
Теплопроводность (минеральная вата)	λ_2	Вт/ м·°С	0,06
Высота здания	H	м	3
Высота ограждающей конструкции	h	м	3
Нормативная воздухопроницаемость	$G_н$	кг(м^2·ч)	0,5
Коэффициент теплоотдачи внутренних поверхностей	$\alpha_в$	Вт/ м^2·°С	8,7
Коэффициент теплоотдачи внешних поверхностей	$\alpha_н$	Вт/ м^2·°С	12,0
Сопротивление теплопередачи	R	м^2·°С/ Вт	3,67
Добавочные потери тепла	β		0
Коэффициент, принимаемый в зависимости от положения конструкции	n		1
Добавочные потери тепла, учитывающие фактическое состояние ограждающей конструкции	$\beta_д$		0
Тепловые потери			
Тепловые потери теплопроводностью, в т.ч.	$Q_{пот}^{т}$	кВт	0,05
Тепловые потери инфильтрацией, в т.ч.	$Q_{пот}^{и}$	кВт	0,02
Тепловые потери, итого	$Q_{пот}$	**кВт**	**0,07**

Таблица 5 *Тепловые потери через оконные конструкции*

Исходные данные	Условные обозначения	Единицы измерения	Значение
Площадь	F	м^2	7,5
Материал	Одинарный стеклопакет ПВХ 32 мм		
Сопротивление теплопередачи	R	м^2·°С/ Вт	0,38
Высота ограждающей конструкции	h	м	2
Высота здания	H	м	3
Нормативная воздухопроницаемость	$G_н$	кг(м^2·ч)	5
Добавочные потери тепла	β		0
Коэффициент, принимаемый в зависимости от положения конструкции	n		1
Добавочные потери тепла, учитывающие фактическое состояние ограждающей конструкции	$\beta_д$		0
Тепловые потери			
Тепловые потери теплопроводностью, в т.ч.	$Q_{ок}^{т}$	кВт	0,32
Тепловые потери инфильтрацией, в т.ч.	$Q_{ок}^{и}$	кВт	0,24
Тепловые потери, итого	$Q_{ок}$	**кВт**	**0,56**

Таблица 6 *Тепловые потери через пол (для неутепленных полов на грунте)*

Исходные данные	Условные обозначения	Единицы измерения	Значение
Материал		Бетон	
Площадь	F	м^2	12
Ширина		м	3
Длина		м	4
Площадь пола по зонам		м^2	-
F I зона (с учетом углов)	F	-	28
F II - IV зоны		-	0
Сопротивление теплопередачи пола по зонам	R	м^2·°С/ Вт	
R I зона		-	2,1
R II зона		-	4,3
R III зона		-	8,6
R IV зона		-	14,2
Добавочные потери тепла	β		0,05
Коэффициент, принимаемый в зависимости от положения конструкции	n		1
Добавочные потери тепла, учитывающие фактическое состояние ограждающей конструкции	$\beta_д$		0
Тепловые потери			
Тепловые потери по зонам	Q	кВт	
Q I зона	-	-	0,21
Q II - IV зоны	-	-	0,00
Тепловые потери, итого	$Q_{пол}$	**кВт**	**0,21**

Таблица 7 *Тепловой баланс здания*

Ограждающая конструкция	Тепловые потери (средние часовые) Q, кВт	Тепловые потери за отопительный период $Q_{от}$, к Вт·ч	Структура тепловых потерь, %
Стены	0,61	1929,83	42,0
Окна	0,56	1763,15	38,3
Пол	0,21	669,72	14,6
Потолок	0,07	236,59	5,1
Итого	**1,45**	**4599,28**	**100,0**

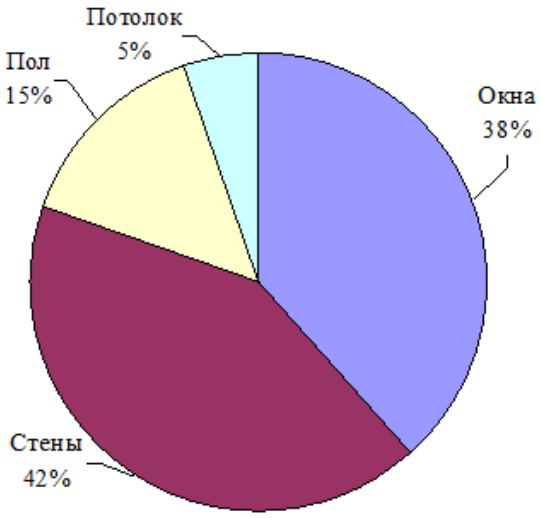


Рис. 1 Структура тепловых потерь здания

В таблице 8 приведены необходимая фактическая тепловая мощность источников энергии для обеспечения расчетной температуры внутреннего воздуха 20°С при различной температуре наружного воздуха в диапазоне от -14°С до 10°С.

Таблица 8 *Фактическая тепловая мощность системы отопления при различной температуре наружного воздуха*

Температура наружного воздуха $t_н$, °С	-14	-10	-7	-5	0	5	10
Тепловая мощность (тепловые потери) Q, кВт	3,20	2,84	2,56	2,38	1,91	1,44	0,97

Из приведенной таблицы следует, что номинальная мощность основного возобновляемого источника энергии при расчетной температуре наружного воздуха -7°С составила 2,56 кВт (без учета собственных потерь тепла солнечными батареями), резервная номинальная мощность электрического котла должна быть не менее 2,56·0,3=0,77 кВт. Таким образом, суммарная мощность источников тепловой энергии составила 3,33 кВт, что достаточно для обеспечения расчетной температуры помещений здания в наиболее холодные сутки с температурой наружного воздуха -14°С (3,22 кВт).

Список литературы

1. Вологдин, С. В. Методы и алгоритмы повышения энергоэффективности систем энергообеспечения / С. В. Вологдин, Б. А. Якимович; Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова. – Ижевск: Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, 2021. – 292 с.
2. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. – М., 2023. – 160 с.
3. СНиП 2.04.05.-91* Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.:ГУП ЦПП, 1997. – 72 с.

References

1. Vologda, S. V. Methods and algorithms for improving energy efficiency of energy supply systems / S. V. Vologda, B. A. Yakimovich; Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov. Izhevsk: Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, 2021. – 292 p.
2. SP 131.13330.2020 Construction climatology. Updated version of SNiP 23-01-99. – M., 2023. – 160 p.
3. SNiP 2.04.05.-91* Heating, ventilation and air conditioning. – Moscow:GUP CPP, 1997. – 72 p.

УДК 621.643:539.38/43

Оценка надежности стенок напорного трубопровода питательной воды ВПЭН блок №1

Корнеева Н.К.[1]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, korneeva_nk@mail.ru,

Статья поступила 06.02.2024 г.; после доработки 08.02.2024 г.

Аннотация

В работе приведены некоторые сведения по процессу эксплуатации элементов трубопровода. Изложены основные требования к трубопроводам. Изложены данные по контролю и измерению деформации металла. Описаны требования к трубопроводам расчета по выбору основных размеров. Следует отметить, что в работе проведен расчет минимально допустимой толщины металла напорного трубопровода питательной воды ВПЭН турбинного отделения блока №1. Приведены данные о комплексном изучении ситуации на всей напорной сети, которая может влиять на безаварийную работу ее отдельных участков.

Ключевые слова: напорный трубопровод, минимальная толщина стенок, питательная вода, напорная сеть, прочностной расчет.

Assessment of the reliability of the walls of the feed water pressure pipeline VPEN block №1

Korneeva N.K.[1]
Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia. korneeva_nk@mail.ru,

Received 06.02.2024 y.; received in final form 08.02.2024 y.

Abstract

The work provides some information on the process of operating pipeline elements. The basic requirements for pipelines are outlined. Data on monitoring and measuring metal deformation are presented. The requirements for calculation pipelines for the selection of basic dimensions are described. It should be noted that the work carried out a calculation of the minimum permissible metal thickness of the feedwater pressure pipeline VPEN of the turbine compartment of unit No. 1. Data are provided on a comprehensive study of the situation on the entire pressure network, which can affect the trouble-free operation of its individual sections.

Keywords: pressure pipeline, minimum wall thickness, feed water, pressure network, strength calculation.

Введение

Трубопроводные сооружения имеют ряд особенностей, которые требуют особого подхода. На протяжении всего времени эксплуатации элементы трубопроводов подвергаются постоянным нагрузкам, которые зависят от давления окружающей среды, веса металла труб и арматуры, температуры окружающей среды, а также от нагрузок теплового расширения. Помимо этого, в материалах деталей трубопроводов могут возникать периодические колебания напряжений.

Устойчивость трубопроводов к перечисленным нагрузкам называется прочностью трубопровода. Составные части трубопровода имеют непосредственное отношение к его прочности. Из-за того, что трубопроводные системы работают при низких и высоких температурах, для

определения прочности стали, из которой сделаны детали трубопроводов, необходимо учитывать свойства стали при соответствующих температурах.

Одним из основных требований к трубопроводам является надежность в эксплуатации. В случае выхода из строя какого -либо участка трубопроводной системы, это может привести к аварии.

Чтобы обеспечить бесперебойную и надежную работу трубопровода, необходимы следующие условия:

1) Трубопровод должен быть правильно спроектирован. В нем должны быть учтены все факторы, которые влияют на работу трубопроводов. Для этого подбираются необходимые материалы каждого элемента. Также рассчитывается компенсация или самокомпенсация трубопроводов;
2) Все детали трубопровода должны быть изготовлены качественно из материалов, указанных в проекте, и должны быть соблюдены технические условия изготовления;
3) В соответствии с проектом монтажные работы должны выполняться в соответствии с установленными технологиями и техническими условиями монтажа.
4) Постоянный и систематический контроль за работой трубопроводов со стороны операторов должен осуществляться без нарушений режима работы и без превышения проектных параметров, указанных в инструкции по эксплуатации этих трубопроводов.

Расчет минимальной толщины стенки трубопровода заданного диаметра и выбор фактической толщины стенки являются основополагающими при проектировании любого трубопровода. Другими словами, этот расчет является наиболее важной задачей, выполняемой на начальных стадиях любого детального проектирования.

Постановка задачи

Основной задачей работы является оценка минимально допустимой толщины металла напорного трубопровода питательной воды ВПЭН турбинного отделения блока №1.

Описание исследования

Рабочие параметры трубопровода:

- рабочая среда - питательная вода;
- рабочее давление $P = 120\ кгс/см^2$;
- тепература $T = 170°C$.
- наружный диаметр $D = 76\ мм$;
- толщина стенки трубы $t = 7\ мм$.

Все элементы трубопровода с температурой наружной стенки более 45°С, доступные для обслуживающего персонала, должны быть теплоизолированы, температура наружной теплоизоляции не должна превышать 45°С. Съемная изоляция должна быть установленав зонах, подлежащих контролю и измерению в процессе эксплуатации и деформации металла.

Основным конструкционным материалом в арматуре ядерной энергетической установки являются стали. Трубопроводы первого контура изготовляют из коррозионно - стойких сталей аустенитного класса или же перлитного класса с защитным покрытием внутренней поверхности сталью типа 08Х18Н10Т.

Термические напряжения, в арматуре, повышают напряжения, действующие от давления среды, но простое суммирование механических и термических напряжений не являются корректными, поэтому необходимо рассматривать их раздельно.

Термическая усталость может возникать в результате циклически повторяющихся температурных воздействий на металлы в виде теплых сдвигов при «нагреве - охлаждении». Кратковременное воздействие термических напряжений не опасно для обычных пластичных сталей, но при многократном повторении могут возникнуть повреждения.

Длительная пластичность является точной, а именно: характеристикой работоспособности материалов, так как материалы с высоким пределом длительной прочности, но с низкой длительной пластичностью могут разрушаться при значительно меньшем числе циклов термических напряжений.

Значения предела текучести и предела прочности стали 08Х18Н10Т при рабочих параметрах:

$$R_m^T = 433\ МПа; \qquad R_p^T = 192.4\ МПа.$$

При оценке прочности трубопроводов должны полностью удовлетворяться как требования расчета по выбору основных размеров, так и поверочного расчета.

При выполнении сложного расчета по выбору основных размеров учитывают действующее на трубопроводы давление (внутреннее и наружное), а для болтов и шпилек - усилие затяга.

Определение максимально допустимых эксплуатационных напряжений в соответствии с

ПНАЭ Г-7-002-86.

Номинальное допускаемое напряжение для элементов оборудования и трубопроводов, нагруженных внутренним давлением, принимают минимальным из следующих значений:

$[\sigma] = \min\{R_m^T/n_m;\ R^T_{p0,2}/n_{0,2};\ R^T_{mt}/n_{mt}\}$.

$$A_1 = \frac{R_m^T}{2,6} \qquad A_2 = \frac{R_p^T}{1,5} \qquad \sigma_э = \min(A)$$

Максимально допустимые эксплуатационные напряжения для 08Х18Н10Т.

$$\sigma_э = 128,3 МПа$$

Определение эксплуатационных напряжений.

Напряжения в радиальном направлении при зафиксированном утонении 3,3 мм (сварной стык):

$$\sigma_r = \frac{P \cdot D}{2 \cdot t} = 138,18 МПа$$

Напряжения в осевом направлении при зафиксированном утонении 3,3 мм (сварной стык):

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t} = 69,09 МПа$$

При проектном расчете радиальные и осевые напряжения определяются для двух случаев: номинальная толщина стенки и утонение 3.3 мм.

Для дальнейших расчетов выбираются максимальные значения.

$$\sigma_{ном} = \sqrt{(\sigma_r)^2 + (\sigma_t)^2 - \sigma_r \cdot \sigma_t}$$

Номинальные эксплуатационные напряжения.

$$\sigma_{ном} = 124,94 МПа$$

Коэффициент запаса прочности.

$$K = \frac{\sigma_э}{\sigma_{ном}}$$

$$K = 1.027$$

Прочность конструкции при любых утонениях обеспечивается (коэффициент запаса прочности >1)

Коэффициент снижения прочности (для данной конструкции $\varphi = 1$[1])

$$\varphi = 1$$

Поправка, учитывающая коррозионное влияние рабочей среды [1].

$$C = 0,1 мм$$

Расчетная толщина стенки.

$$S_R = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_э + P}$$

$$S_R = 3,395 мм$$

Минимально допустимая толщина стенки.

$$S = S_R + C$$

$$S_R = 3,495 мм$$

Определение минимально допустимого утонения под стыковую сварку.

$$S_j = S_R - S_R \cdot 0,1$$

$$S_j = 3,056 мм$$

Определение длины расчетного участка при $A_1 = 5 \cdot (S - C)$ и $A_2 = 0,5D$

$$L_j = 16,975 мм$$

Минимально допустимая толщина стенки.

Любые изменения конструкции, необходимые при изготовлении, монтаже, ремонте или эксплуатации оборудования, должны быть согласованы с организацией, разработавшей оборудование. Оборудование должно быть передано потребителю вместе с паспортом установленной формы и инструкцией по монтажу и эксплуатации. Паспорт на арматуру составляется предприятием – изготовителем.

Заключение

При зафиксированном утонении в 3,3 мм (сварной стык №138) и коэффициенте запаса прочности К=1,027 допускается дальнейшая эксплуатация напорного трубопровода питательной воды ВПЭН турбинного отделения блока №1.

Для определения скорости утонения рекомендуется провести контроль толщины маталла трубопровода при выводе блока в следующий ППР.

Выводы

1.Допустимая толщина стенки трубопровода для данных параметров эксплуатации равна S=3,495мм, коэффициент запаса прочности по напряжениям составил K=1,027.

2.Допускается утонение под стыковую сварку до S_j=3,056 мм, при этом длина расточенного участка не должна превышать значение L_j=16,975 мм.

Список литературы

1. Н.М. Беляев «Сопротивление материалов»
2. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических устано-

вок. ПНАЭ Г-7-002-86.(Разделы 1-5, Приложения 1-3, Приложения 3-12).
3. С.Т. Мирошниченко, В.О. Пантель, В.Ф.Тишков «Трубопроводы и арматуры» с.12-14
4. А.В. Рудаченко, А.Л.Саруев «Исследования напряженно-деформированного состояния трубопроводов». с.-67
5. Союзводоканалпроект Госстроя СССР. Пособие по определению толщины стенки стальных труб, выбору марок, групп и категорий стали для наружных сетей водоснабжения и канализации. (к СНиП 2.04.02-84 и СНиП 2.04.03-85) 1989г. с.-16.
6. Гуревич Д.Ф., Ширяев, В.В., Пайкин И.Х. 1982 г. Арматуры АЭС.
7. Основные правила обеспечения эксплуатации атомных станций.– 3-е изд. М: РУСЛИТ, 2003. С. 343.
8. Тепловые и атомные электрические станции: Справ. /Под общ. ред.
9. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. М.: Энергоиздат, 1982. С. 624.
10. Маргулова Т. Х. Атомные электрические станции: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1994. С. 364.

References

1. N.M. Belyaev “Strength of materials”
2. Standards for calculating the strength of equipment and pipelines of nuclear power plants. PNAE G-7-002-86. (Sections 1-5, Appendices 1-3, Appendices 3-12).
3. S.T. Miroshnichenko, V.O. Pantel, V.F. Tishkov “Pipelines and fittings” p.12-14
4. A.V. Rudachenko, A.L. Saruev “Research on the stress-strain state of pipelines.” p.-67
5. Soyuzvodokanalproekt of the USSR State Construction Committee. A guide to determining the wall thickness of steel pipes, selecting grades, groups and categories of steel for external water supply and sewerage networks. (to SNiP 2.04.02-84 and SNiP 2.04.03-85) 1989 p.-16.
6. Gurevich D.F., Shiryaev, V.V., Paikin I.Kh. 1982 NPP valves.
7. Basic rules for ensuring the operation of nuclear power plants. – 3rd ed. M: RUSLIT, 2003. P. 343.
8. Thermal and nuclear power plants: Reference. /Under general ed.
9. V.A. Grigoriev and V.M. Zorina. M.: Energoizdat, 1982. P. 624.
10. Margulova T. Kh. Nuclear power plants: Textbook. for universities. – 4th ed., revised. and additional M.: Higher. school, 1994. P. 364

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ, ВЕЩЕСТВ И ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 535.417

Определение показателя преломления стеклянной пластины интерференционным методом

В.В. Довгаленко

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская 33, г. Севастополь, 299053, Россия, fizik71@yandex.ru

Статья поступила 05.02.2024 г. после доработки 07.02.2024 г.

Аннотация

В статье представлено описание и методика проведения лабораторной работы «Определение показателя преломления стеклянной пластины интерференционным методом», разработанной с использованием установки ФПВ 05-3-2 для студентов направления подготовки 14.05.02 «Проектирование и эксплуатация атомных станций» и «Система контроля и управления атомных станций», 14.03.01 - «Ядерная энергетика и теплофизика», 16.03.03 - «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения», 05.03.06 - «Экология и природопользование», 20.03.02 – «Природообустройство и водопользование» с целью повышения качества усвоения теоретического материала и его экспериментального подтверждения по теме «Волновая оптика».

Ключевые слова: физика, лабораторная работ, свет, интерференция, показатель преломления, длина волны, лазер.
Для цитирования

Determination of the refractive index of a glass plate by the interference method

V.V. Dovgalenko

Sevastopol state University, 33 Universitetskaya street, Sevastopol, 299053, Russia, fizik71@yandex.ru

Received 05.02.2024 y.; received in final form 07.02.2024 y.

Annotation

The article presents a description and methodology of the laboratory work "Determination of the refractive index of a glass plate by the interference method", developed using the FPV 05-3-2 installation for students of the training direction 14.05.02 "Design and operation of nuclear power plants" and "Control and management system of nuclear power plants", 14.03.01 - "Nuclear power and thermophysics", 16.03.03 - "Refrigeration, cryogenic equipment and life support systems", 03/05/06 - "Ecology and nature management", 03/20/02 – "Environmental management and water use" in order to improve the quality of assimilation of theoretical material and its experimental confirmation on the topic "Wave optics".

Keywords: physics, laboratory work, light, interference, refractive index, wavelength, laser.

Введение

Оптика - это раздел физики, изучающий свойства и законы распространения света. Свет представляет собой электромагнитное излучение, которое может проявлять как волновые, так и корпускулярные свойства.

В данной работе мы будем рассматривать свет как волну, подверженную явлениям интерференции и преломления.

Преломление - это изменение направления распространения световой волны при переходе из одной среды в другую. При этом скорость и длина волны света также меняются. Абсолютный показатель преломления среды показывает во сколько раз скорость света в вакууме больше

скорости света в данной среде. Показатель преломления характеризует оптические свойства среды и зависит от длины волны света. Существует множество различных методов для экспериментального определения показателя преломления, но можно выделить три основных:

1. Рефрактометрический, основанный на измерении угла преломления света веществом.
2. Интерференционный, основанный на измерении фазовой задержки световой волны.
3. Лазерной спектроскопии.

Свет - одно из самых удивительных и загадочных явлений природы, которое привлекало внимание человека с древних времен. Свет не только позволяет нам видеть окружающий мир, но и несет в себе много информации о его свойствах и законах. Какова природа света, как он распространяется, отражается и преломляется, почему он имеет разные цвета - на эти и многие другие вопросы пытались ответить ученые разных эпох и народов.

К концу XVII века появились две теории света - корпускулярная теория, предложенная Исааком Ньютоном, и волновая теория, выдвинутая Робертом Гуком и Кристианом Гюйгенсом. По теории Ньютона скорость распространения света в среде должна быть всегда больше скорости его распространения в вакууме, что, согласно постулатам Эйнштейна, невозможно.

По современным представлениям свет, с точки зрения электромагнитной природы света, представляет собой поперечные электромагнитные волны, распространяющиеся в вакууме со скоростью $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Волновая природа света лучше всего проявляет себя наиболее отчетливо в явлениях интерференции, дифракции и поляризации.

Одним из первых, кто выдвинул гипотезу о волновой природе света, был Пифагор, который считал, что свет - это поток маленьких частиц, которые возникают при колебаниях светящихся тел. Эта идея была развита в корпускулярной теории света. Однако, эта теория не могла объяснить некоторые явления, связанные с распространением света, такие, как дифракция и интерференция.

Дифракция света - это отклонение света от прямолинейного направления при прохождении через узкие отверстия или вблизи препятствий. Это явление было открыто итальянским ученым Гримальди в середине XVII века. Он заметил, что если на пути узкого пучка световых лучей поставить предмет, то на экране, поставленном сзади, не получается резкой тени. Края тени размыты, кроме того, вдоль тени появляются цветные полосы. Открытое явление он назвал дифракцией, но объяснить правильно не сумел. Гримальди приписал наблюдаемые им явления волновым колебаниям, аналогичным всем хорошо знакомой ряби на воде или звуковым колебаниям, причем впервые предположил, что различным цветам соответствуют различные длины волн, подобно музыкальным звукам.

Интерференцией световых волн называется явление, возникающее при сложении когерентных волн. В результате интерференции происходит ослабление или усиление интенсивности света, в зависимости от соотношения фаз складываемых волн, т. е. происходит перераспределение энергии волн в пространстве, согласно закону сохранения энергии. Условием интерференции волн одной и той же длины является их когерентность, т. е. согласованное протекание во времени и пространстве нескольких колебательных или волновых процессов. Источники, излучающие волны одинаковой частоты с постоянной разностью фаз и совпадающими плоскостями колебаний векторов $\overline{E}$ напряженности электрического поля, называются когерентными.

Это явление обычно характеризуется чередующимися в пространстве максимумами и минимумами интенсивности света. Конкретный вид такого распределения интенсивности света в пространстве или на экране, куда падает свет, называется интерференционной картиной. Для наблюдения интерференции необходимо использовать монохроматические (не ограниченные в пространстве волны одной строго определенной частоты и постоянной амплитуды) источники света, такие как лазеры, что в нашей работе мы и будем применять.

Для наблюдения интерференции света необходимо получить когерентные лучи, для чего применяются различные методы. До появления лазеров во всех приборах для наблюдения интерференции света когерентные лучи получали разделением и последующим сведением световых лучей, исходящих от одного и того же источника. Первым это осуществил английский ученый Томас Юнг.

В 1801 году Юнг провел демонстрационный эксперимент по наблюдению интерференции света, получив интерференцию от двух щелевых источников света. Этот опыт Юнга стал классическим и доказал волновую природу света, что в свою очередь вызвало ожесточенные нападки на него со стороны сторонников корпускулярной

теории света.

Для объяснения явлений дифракции и интерференции света Юнг использовал принцип Гюйгенса, который был сформулирован голландским ученым Гюйгенсом в XVII веке.

Согласно этому принципу, каждая точка, в которую приходит световая волна, становится источником вторичных сферических волн, которые распространяются во все стороны с той же скоростью и частотой, что и первичная волна. При этом форма фронта первичной волны определяется положением точек, в которых вторичные волны находятся в одной фазе.

Принцип Гюйгенса позволяет решать различные задачи геометрической и волновой оптики, такие как отражение, преломление, дифракция и интерференция света.

Таким образом, изучение света и его явлений имеет долгую и увлекательную историю, в которой принимали участие многие выдающиеся ученые.

Свет, интерференция света - это не только красивые и интересные феномены, но и мощный инструмент для познания окружающего мира и его законов.

Целью данной работы является определение показателя преломления стеклянной пластины с помощью интерференционной картины полос равного наклона, образующихся при прохождении лазерного света через пластину. Для этого мы будем использовать оптическое оборудование ФПВ-05-3-2

Постановка задачи

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Разработать лабораторную работу «Определение показателя преломления стеклянной пластины интерференционным методом», выполняемую, на установке ФПВ 05-3-2.
2. Провести данную лабораторную работу среди студентов технических специальностей очной формы обучения направления 14.05.02 «Проектирование и эксплуатация атомных станций» и «Система контроля и управления атомных станций», 14.03.01 - «Ядерная энергетика и теплофизика», 16.03.03 - «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения», 05.03.06 - «Экология и природопользование», 20.03.02 – «Природообустройство и водопользование».

Основная часть

Лабораторные работы по физике делятся на такие виды как:

- Практические лабораторные работы - это лабораторные работы, которые проводятся в реальных условиях с использованием физических приборов, оборудования и материалов. Практические лабораторные работы дают возможность учащимся непосредственно наблюдать физические явления, проводить необходимые измерения, что позволяет проверять и подтверждать теоретические знания.
- Демонстрационные лабораторные работы - это лабораторные работы, которые проводятся преподавателем или инженером перед аудиторией с целью демонстрации и иллюстрации определенных физических явлений, законов или принципов. Демонстрационные лабораторные работы помогают студентам воспринимать и понимать сложные и абстрактные физические концепции.
- Исследовательские лабораторные работы - это лабораторные работы, которые предполагают самостоятельное или групповое исследование учащимися какой-либо физической проблемы или вопроса, требующего экспериментальной проверки или решения. Исследовательские лабораторные работы способствуют развитию творческого и критического мышления, реализации научного метода и инновационных идей у учащихся.
- Виртуальные лабораторные работы - это такой вид лабораторных работ, который предполагает использование компьютерных технологий для моделирования физических явлений и экспериментов.
- Теоретические лабораторные работы - это лабораторные работы, которые не требуют практического выполнения, а заключаются в решении теоретических задач, связанных с физическими явлениями, законами и формулами. При выполнении теоретических лабораторных работ закрепляются теоретические знания учащихся, развиваются их аналитические и вычислительные навыки, умение применить теорию для решения задач.
- Компьютерные лабораторные работы - это лабораторные работы, которые используют специальные программы для моделирования, анализа и визуализации физических процессов и явлений. Компьютерные лабораторные работы позволяют учащимся изу-

чать физику с помощью современных информационных технологий, повышать интерес и мотивацию к обучению.

- Интегрированные лабораторные работы - это лабораторные работы, которые сочетают в себе элементы разных видов лабораторных работ, таких как практические, теоретические, виртуальные, компьютерные и др. Интегрированные лабораторные работы способствуют формированию комплексного и системного подхода к изучению физики, развитию универсальных учебных действий и ключевых компетенций у учащихся.

Лабораторную работу в нашем случае можно отнести к практической. В рамках данной работы мы используем установку ФПВ 05-3-2.

Лабораторная работа по физике в ВУЗе, как правило, включает в себя несколько обязательных этапов: ответ на вопросы допуска; подготовка установки к измерениям; измерение необходимых для расчетов физических величин; обработка результатов; оформление отчета по лабораторной работе; ответ на контрольные вопросы.

Студенты могут ознакомиться с методикой выполнения лабораторной работы в методическом руководстве, сделанном специально для этой работы.

В начале лабораторной работы студентам предлагается ознакомиться с установкой (рис.1). После этого они приступают к экспериментальной части.

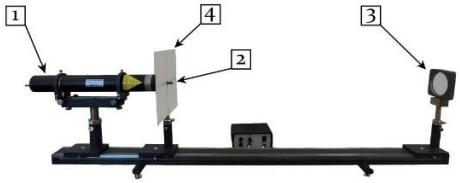


Рис. 1 Установка «ФПВ 05-3-2»: 1 – лазер (источник монохроматического излучения); 2 - микрообъектив; 3 – плоскопараллельная пластина; 4 - приборная доска.

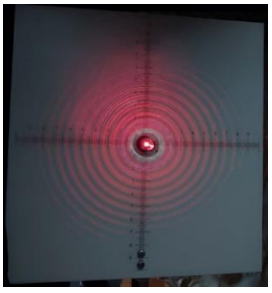


Рис. 2. Примерная картина колец на экране.

На (рис. 3) представлены использованные физические параметры, чтобы обеспечить наглядность, необходимую для понимания последовательности вывода конечной формулы. В рамках данной лабораторной работы студентам необходимо вычислить по выведенным в методическом руководстве формулам показатель преломления материала плоскопараллельной пластины:

$$n = \frac{d(D_2{}^2 - D_1{}^2)}{16L^2 \cdot \lambda \cdot \Delta m} \quad (1)$$

и порядок интерференции m:

$$m = \frac{2dn}{\lambda},$$

где n – показатель преломления, d – толщина пластины, D – диаметр темного кольца, L - расстояние от экрана с микрообъективом до плоскопараллельной пластины, λ – длина волны (красного цвета), равная 632,82 нм, m – порядок интерференции.

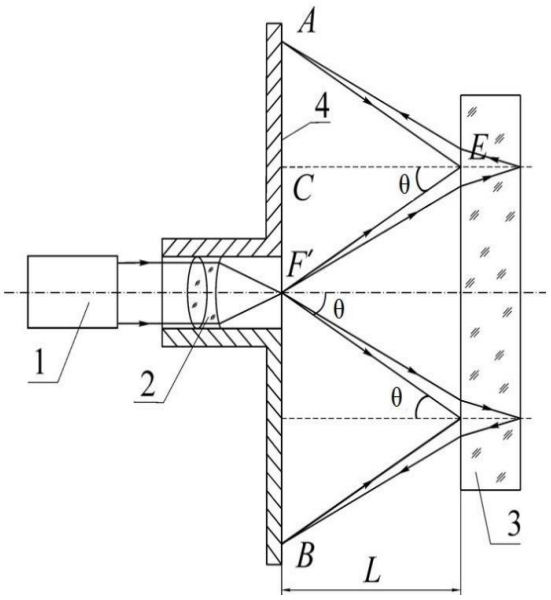


Рис. 3. Оптическая схема опыта.

После ознакомления со структурой лабораторной работы, студенты могут приступать к её выполнению, включив питание лазера. Затем, с помощью полученных данных и занесенных значений в таблицы, предложенные в описании к лабораторной работе, студенты вычисляют показатель преломления стеклянной пластины и оценивают правильность своих расчетов, сравнивая полученный результат с паспортными данными. На рис. 4 представлена одна из таблиц, заполненная студентом. Из результатов эксперимента видно, что получился достоверный результат абсолютного показателя преломления стекла (n = 1,408).

Условие эксперимента (таблица 1)			
Длина волны	λ	м	6,33E-07
Толщина стекла	d	м	0,01612
Расстояние от экрана до стекла	L	м	0,55
Погрешности заданных величин	$\Delta(\lambda)$	м	1E-10
	$\Delta(d)$	м	0,01
	$\Delta(L)$	м	0,01

Результаты эксперимента (таблица 2)

№ / П.П.	D_2	D_1^2	D_2^2	$D_2^2 - D_1^2$	Δm	n	$<n>$
1	0,024	0,00032	0,00058	0,00025	1	1,326	1,408
2	0,030		0,00090	0,00058	2	1,516	
3	0,034		0,00116	0,00083	3	1,460	
4	0,038		0,00141	0,00109	4	1,434	
5	0,040		0,00160	0,00128	5	1,343	
6	0,044		0,00194	0,00161	6	1,414	
7	0,046		0,00215	0,00183	7	1,375	
8	0,049		0,00244	0,00212	8	1,392	

Рис. 4. Таблицы с занесенными результатами.

С целью дифференциации учебного процесса, студентам, претендующим на оценку «отлично», предлагается определить показатель преломления n другим способом.

Из формулы (1) имеем:

$$D_2^2 - D_1^2 = \frac{16L^2\lambda}{d} n\Delta m.$$

Произведем линеаризацию формулы, обозначив коэффициент пропорциональности:

$$K = \frac{16L^2\lambda}{d} n.$$

Подставляя, получим:

$$D_2^2 - D_1^2 = K\Delta m.$$

После этого необходимо построить график зависимости: $D_2^2 - D_1^2 = f(\Delta m)$. Затем, путем аппроксимации графика прямой, студентам необходимо определить коэффициент наклона, то есть коэффициент пропорциональности К. После чего найти абсолютный показатель преломления:

$$n = \frac{d}{16L^2\lambda} \cdot \frac{1}{K}.$$

На рис. 5 представлены графи и итоговая таблица работы одного из студентов. Исходя из результатов можно сделать вывод, что работа выполнена с высокой точностью, так как относительная погрешность составила 1,5%.

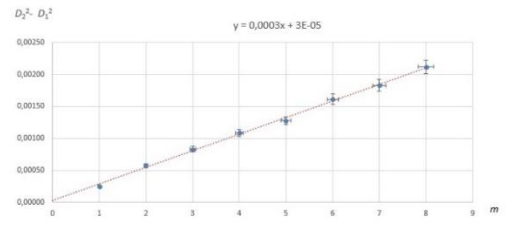


таблица 3		
Величина	n	K
Значения	1,368	0,00026
Абсолютная погрешность	2%	0,001%
Относительная погрешность	1,5%	3,8%

$n = (1,368 \pm 0,04)$

Рис. 5. График и таблица с занесенными результатами.

Заключение

Интерференционный метод позволяет определить показатель преломления стеклянной пластины с достаточно высокой степенью точности, при условии соблюдения когерентности источника света, а также подбора оптимальных значений толщины пластины и расстояния до экрана. Этот метод имеет преимущества перед прямым измерением показателя преломления, так как позволяет измерять величины, которые трудно определить с помощью рефрактометра или других приборов.

Список литературы

1. Эрдолатов С. Повышение качества образования с использованием информационных технологий студентов с техническим направлением и результаты эксперимента / Эрдолатов С. // ALATOO ACADEMIC STUDIES – Бишкек, 2016. – № 3, с. 275-281
2. Алехнович В.И. Лабораторный практикум по физической оптике: учебное пособие / Алехнович В.И., Качурин Ю.Ю., Пиотровская И.Н. [и др.]. — Москва: МГТУ им. Баумана, 2016. — 173 с.
3. Борн М., Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф; пер. с англ. М.: Наука, 1973. 720 с.
4. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – Изд. 9–е, перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 560 с.
5. Саврухин А.П., Природа света / Саврухин А.П.// Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2014. Т. 18. № 4. С. 206-222.
6. Довгаленко В.В. Определение расстояния между двумя щелями интерференционным методом. / Довгаленко В.В. // Энергетические установки и технологии: науч. Журнал. – Севастополь: ФГАОУ ВО СевГУ, 2023. – Т. 9. - № 4, С. 47-50.

References

1. Erdolatov S., Improving the quality of education using information technologies for students with a technical direction and the results of an experiment // Erdolatov S. // ALATOO ACADEMIC STUDIES – Bishkek, 2016. – No. 3, P. 275-281
2. Alekhnovich V.I. Laboratory workshop on physical optics: textbook / Alekhnovich V.I., Kachurin Yu.Yu., I.N. Piotrovskaya [et al.]. — Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2016 - 173 p.
3. Born M., Fundamentals of optics / M. Born, E. Wolf; translated from English M.: Nauka, 1973. 720 p.
4. Trofimova T.I. Course of physics: textbook. manual for universities. – Ed. 9th, reprint. and additional –

M.: Publishing center "Academy", 2004. – 560 p.
5. Savrukhin A.P., Nature of light / Savrukhin A.P.// Bulletin of the Moscow State University of Forests - Lesnoy vestnik. 2014. Vol. 18. No. 4. P. 206-222.
6. Dovgalenko V.V. Determination of the distance between two slits by the interference method. / Dovgalenko V.V. // Power plants and technologies: scientific. Journal. – Sevastopol: FGAOU IN SevSU, 2023. – Vol. 9. - No. 4, P. 47-50.

УДК 533.9.07

Электродуговой синтез керамических материалов с одновременной скоростной визуализацией

М.С. Цирон[1], Д.В. Торганов[1], А.А. Лавренчук[1], М.Ю. Сперанский[1], А.Я. Пак[2], Ф.А. Губарев[1]

[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Курчатова, 7, г. Севастополь, 299053, Россия, RWtciron@mail.ru, Torganov_d@mail.ru, AALavrenchuk@sevsu.ru, MYSperanskiy@sevsu.ru, FAGubarev@sevsu.ru.

[2]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, пр. Ленина, 30, г. Томск, 634050, Россия, AYapak@tpu.ru

Статья поступила 06.02.2024 г.; после доработки 07.02.2024 г.

Аннотация

В данной работе приводятся результаты исследования возможности применения энергетической установки с электродуговым реактором на переменном токе для синтеза керамических материалов на основе вольфрама и титана. Результаты показывают, что время воздействия электродуговым разрядом существенно влияет на выход продукта. В работе впервые использовалась система скоростной визуализации с усилением яркости.

Ключевые слова: синтез материалов, дуговой разряд, карбид, сульфит, лазерный монитор, скоростная визуализация.

Electric arc synthesis of ceramic materials with simultaneous high-speed visualization

M.S. Tsiron[1], D.V. Torganov[1], A.A. Lavrenchuk[1], M.Y. Speransky[1], A.Ya. Pak[2], F.A. Gubarev[1]

[1]Sevastopol State University, Sevastopol, Russia, RWtciron@mail.ru, Torganov_d@mail.ru, AALavrenchuk@sevsu.ru, MYSperanskiy@sevsu.ru, FAGubarev@sevsu.ru.

[2]National Research Tomsk Polytechnic University, Lenin Ave., 30, Tomsk, 634050, Russia, AYapak@tpu.ru

Received 06.02.2024 y.; received in final form 07.02.2024. y.

Abstract

This paper shows the possibilities of application of power installation with electric arc reactor on alternating current for synthesis of ceramic materials with tungsten and titanium. The results show that the time of exposure to electric arc discharge significantly affects the product output. In the work, a high-speed imaging system with brightness amplification was used for the first time.

Keywords: materials synthesis, arc discharge, carbide, sulfite, laser monitor, high-speed imaging.

Введение

Сверхтвердые тугоплавкие материалы являются сырьевой основой обрабатывающей промышленности и технологий с высокими плотностями энергии. Они активно используются в различных отраслях, таких как атомная энергетика, металлургия, машиностроение, др. В частности, для изготовления и улучшения металлорежущих инструментов и оснастки горного оборудования, позволяя значительно улучшить износостойкость и чистоту обработки [1, 2].

Техническая бескислородная керамика, в частности, на основе карбидов и боридов металлов обладает высокой температурой плавления,

достигающей 3000 ˚С и выше. Подобные соединения используют как материалы тиглей для плавки тугоплавких металлов, или как элементы теплонагруженных конструкций.

Важным известным материалом является карбид кремния (SiC), который практически не взаимодействует с большинством кислот. Высокая термическая, химическая и радиационная стойкость делают SiC востребованным во многих областях науки и техники, в том числе, в авиации и космонавтике [3, 4]. Также карбид кремния считается перспективным материалом для изготовления элементов электроники [5].

Для применения в атомной энергетике интересным материалом является карбид бора, позволяющий получить высокий уровень защиты от нейтронного и гамма-излучения при значительно меньших массогабаритных показателях по сравнению с графитом [6].

Существует ряд способов приготовления карбидов и боридов металлов и неметаллов. Одним из распространённых является метод горячего прессования, при котором порошок бора или углерода прессуют с порошком, а после медленно нагревают в вакууме или аргоне до необходимых температур взаимодействия в соответствии с диаграммой состояний (~1500 °С и выше). Большинство остальных способов основаны на процессе восстановления, и все они имеют, как правило, одни и те же недостатки: необходимость использования высоких температур, вакуума или инертной газовой среды, а также имеет место образование значительного количества примесей в ходе процесса, которые необходимо удалять.

В недавней работе по синтезу карбидов металлов и неметаллов [7] предложено использовать электродуговую установку постоянного тока для синтеза карбидов кремния, титана, циркония, ниобия, молибдена, гафния, тантала, вольфрама, а также твердого раствора однофазного высокоэнтропийного карбида $TiZrNbHfTaC_5$. А в работе по получению ультрадисперсных кристаллических материалов [8] удалось обеспечить переработку смеси $Mo:C:C_3H_6N_6$ с образованием карбида молибдена в углерод-азотной матрице (MoCN-n) воздействием атмосферного дугового разряда. Таким образом была показана перспективность синтеза керамических материалов на основе дугового разряда, инициированного и существующего в открытой воздушной среде без применения специального вакуумного и газового оборудования, что значительно упрощает как электродуговую методику синтеза карбидов металлов и неметаллов, так и устройства для ее реализации.

В настоящее время нашим коллективом ведутся работы по получению боридов тугоплавких металлов и карбида кремния с использованием электродуговой установки переменного тока. Возможность такого синтеза показана в работе [9]. Мы полагаем, что применение переменного тока в электродуговом синтезе материалов позволит еще более упросить методику синтеза и оборудование для ее реализации, обеспечит повышение эффективности процесса за счет снижения объема эрозии электродов. Кроме того, применение переменного тока может способствовать уменьшению массы, габаритов и стоимости источника питания, и как следствие, и установки в целом.

Существенным затруднением в ходе исследования дуговых процессов является проблема наблюдения и оценки температуры ввиду высокоинтенсивного излучения плазмы дугового разряда, генерации индуктивных и кондуктивных помех в широком диапазоне частот. Кроме того, согласно разрабатываемой методике, синтез протекает в объеме полости графитового тигля, что также затрудняет наблюдение. В то же время визуальная информация о процессе синтеза необходима для понимания происходящих процессов и кинетики образования продуктов. Лазерный монитор на основе активной среды на парах бромида меди, сопряженный со скоростной камерой, дает возможность визуализации быстропротекающих высокотемпературных процессов в режиме реального времени в условиях интенсивной фоновой засветки [10, 11]. Мы полагаем, что применение лазерного монитора в составе экспериментальной установки электродугового синтеза позволит визуализировать процесс синтеза, понять основные фазы этого процесса и разработать модель процесса для его численного исследования и прогнозирования.

Техника эксперимента

В данной работе применялась энергетическая установка на базе электродугового реактора переменного тока совмещенного типа. Схема данной энергетической установки показана на рис. 1. Реактор состоит из регулируемого силового источника питания переменного тока (1), выполненного на базе промышленного двухфазного сварочного трансформатора (ток до 450 А, напряжение питания 380 В, выходное напряже-

ние 63 В), графитовых электродов – один, верхний, виде сплошного цилиндрического стержня (2) и второй, нижний, в виде полого цилиндра с дном – тигля (3) и крышкой (4) такого же диаметра, системы вертикального перемещения верхнего электрода (5) с ручным управлением (6) и автоматизированным управлением электроприводом (7).

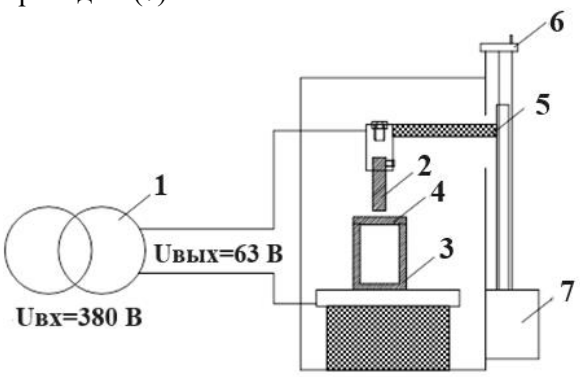


Рис. 1. Схема электродугового реактора.

Перед проведением эксперимента исходный материал взвешивается и засыпается в полость тигля. Тигель устанавливается на контактную площадку. Эксперимент начинается с подачи электропитания на силовой трансформатор. Далее осуществляется перемещение вертикального электрода до момента инициирования и зажигания ствола дуги и поддержания горения дугового разряда. Ток разряда контролируется токовыми клещами. По истечении заданного времени (25-30 с, получено эмпирически) отключается питание силового трансформатора, и дуговой разряд прекращается. Продукт синтеза собирается с внутренней поверхности тигля и помещается в контейнер для хранения и транспортировки. Регулирование параметров процесса синтеза в электродуговом реакторе происходит за счет изменения силы тока и времени воздействия дугового разряда на образец. При исходных параметрах: времени синтеза 30 с и токе дугового разряда переменного тока 150 А достигается температура на внешней крышке тигля 1545 °С (измерено высокотемпературным пирометром).

Для наблюдения процессов внутри тигля предлагается использовать лазерный монитор на основе усилителя яркости на парах бромида меди, аналогичный использованному в работе [10]. Более детально лазерные системы визуализации с использованием импульсных систем на парах бромида меди рассмотрены в [11]. Схема эксперимента показана на рис. 2. Для визуализации процессов внутри тигля в стенке просверлено отверстие диаметром 6 мм, достаточное для прохождения пучка лазерного излучения и освещения объекта наблюдения. На рис. 3 показаны тестовый объект (спичка), с которым производилась настройка схемы, и реальный объект (смесь нанопорошков).



Рис. 2. Схема экспериментальной установки.

Запись изображений осуществляется двумя скоростными камерами Evercam F 1000-16-C [12] отечественного производства. Начало записи контролируется оператором и осуществляется в момент зажигания дуги. Камера 1 записывает изображение лазерного монитора, то есть изображение поверхности объекта. Камера 2 записывает изображение тигля в собственном свечении через нейтральный светофильтр. Работа камер синхронизована между собой, таким образом, кадры записи камер могут быть сопоставлены друг с другом во времени.



Рис. 3. Тигель (электрод) с образцом внутри.

На рис. 4 приведены кадры визуализации горения тестового объекта (спички), помещенного внутрь тигля, при наблюдении с использованием схемы на рис. 2.

Результаты визуализации показывают возможность применения схемы с усилителем яркости для оптического зондирования состояния материала внутри тигля во время горения. Пламя прозрачно для лазерного излучения. Изображение формируется зондирующим излучением, отраженным от поверхности и усиленным лазерным усилителем яркости. При этом в кадр попа-

дает только излучение, отраженное от поверхности образца в телесном угле, определяемом апертурой линзы и геометрией газоразрядной трубки усилителя яркости.

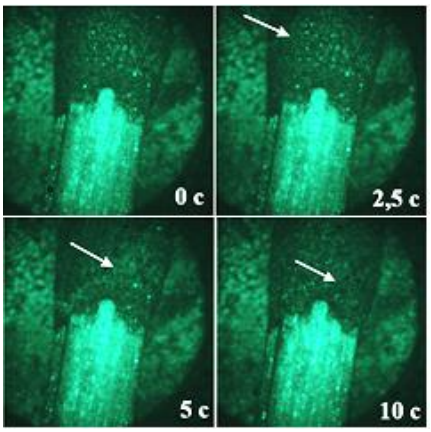


Рис. 4. Изображения тестового объекта в различные моменты времени. Стрелкой показано распространение фронта горения пламени.

Результаты синтеза

Для исследования возможности применения безвакуумной электродуговой установки на переменном токе для синтеза керамических материалов, воздействию подвергались две смеси: нанопорошок вольфрама с серой (смесь 1), смесь нанопорошков титана и вольфрама с серой и углеродом (смесь 2). Нанопорошки вольфрама и титана с примесью серы приготовлены в ЦКП «Перспективные материалы и технологии» Севастопольского государственного университета [13]. Частицы порошка представляли собой неправильные чешуйки толщиной 40-60 нм в длину, шириной до 200 нм, включая незначительное количество частиц микронного размера. В качестве источника углерода использовался продукт пиролиза резиновых покрышек с чистотой не хуже 99,6 % и средним размером частиц не более 100 нм.

На рис. 5 показана типичная рентгеновская дифрактограмма продукта, полученного из смеси 1. Рентгенофазовый анализ был выполнен с помощью рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD 7000s с использованием CuKα-излучения (λ = 1,54060 Å). Количественный анализ, позволяющий определить содержание кристаллических фаз в продукте, параметры элементарной ячейки и размер областей когерентного рассеяния, выполнен в программном пакете Powder Cell2.4. По результатам рентгеновской дифрактометрии (рис. 5) определено, что в составе синтезированного порошка содержатся следующие кристаллические фазы: исходный кубический вольфрам (W - 11,2%) и гексагональный дисульфид вольфрама (WS_2 - 82,6%), также присутствует малая доля оксида вольфрама (WO_3 – 4,6%, WO_2 – 1,6%).

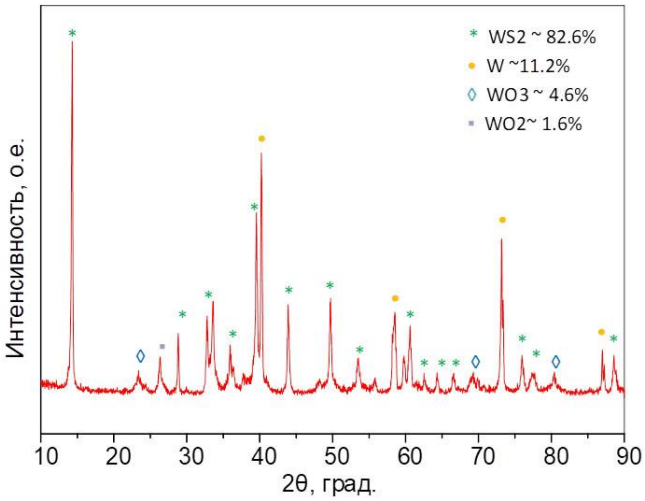


Рис. 5. Рентгеновская дифрактограмма порошка на основе дисульфида вольфрама, полученного в дуговом разряде переменного тока (150 А, длительность 30 с).

Важно отметить, что электродуговой синтез с атмосферным реактором хорошо показал себя и при синтезе тугоплавких материалов. На рентгеновской дифрактограмме, представленной на рис. 6, видно, что при воздействии на образец из смеси 2 в течение 30 переменным током 150 А продукты синтеза не подвергаются окислению, т.е. кислород из атмосферного воздухе в момент синтеза не попадает в зону реакции.

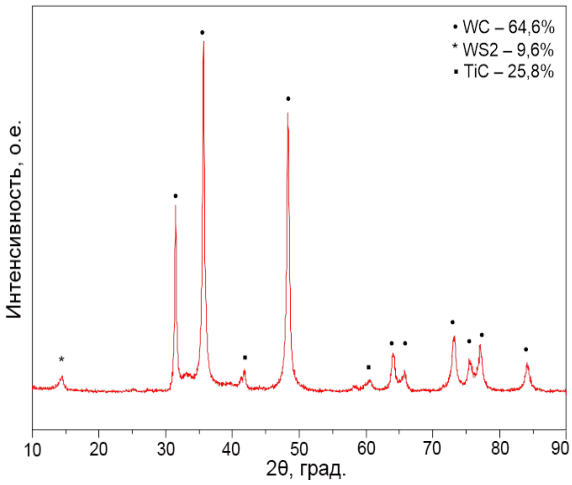


Рис. 6. Рентгеновская дифрактограмма продуктов синтеза карбидов титана и вольфрама (смесь 2) при переменном токе (величиной 150 А, длительность 30 с).

По данным рентгеновской дифрактометрии видно, что формируются карбиды титана и вольфрама, а также дисульфид вольфрама. Не образуются оксиды вольфрама и титана (по меньшей мере в количествах, выше предела чувствительности метода рентгеновской дифрактометрии).

Результаты визуализации

Для исследования возможности визуализации плазменных процессов с использованием лазерного монитора использовалась смесь нанопорошков титана и вольфрама с серой (смесь 2). Воздействие плазмы дугового разряда осуществлялось в течение 25 с при токе 150 А. Результаты визуализации приведены на рис. 7 и 8.

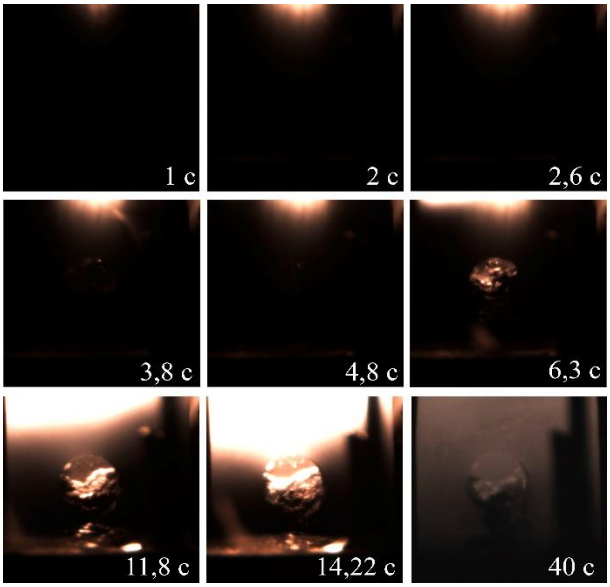


Рис. 7. Последовательность кадров прямой видеосъемки (камера 2 на рис. 2)

Полученные изображения с двух камер дополняют друг друга. Начальная стадия процесса хорошо видна в лазерный монитор (рис. 8) пока тигель и продукты не разогрелись до высокой температуры. Примерно на 6-й секунде весь исходный материал переходит в жидкое состояние. Через отверстие в тигле возможно наблюдать происходящие процессы напрямую. (рис. 7). При дальнейшем разогреве тигля яркое свечение создает засветку камеры при прямом наблюдении. Процесс кристаллизации, в частности его продолжительность, достаточно хорошо виден на изображениях лазерного монитора.

Используемая техника визуализации дает возможность идентифицировать фазовое состояние веществ внутри тигля. В частности, на первых секундах наблюдается газовая фаза, переходящая в жидкую. Примерно на 10-й секунде начинается формирование твердой фазы.

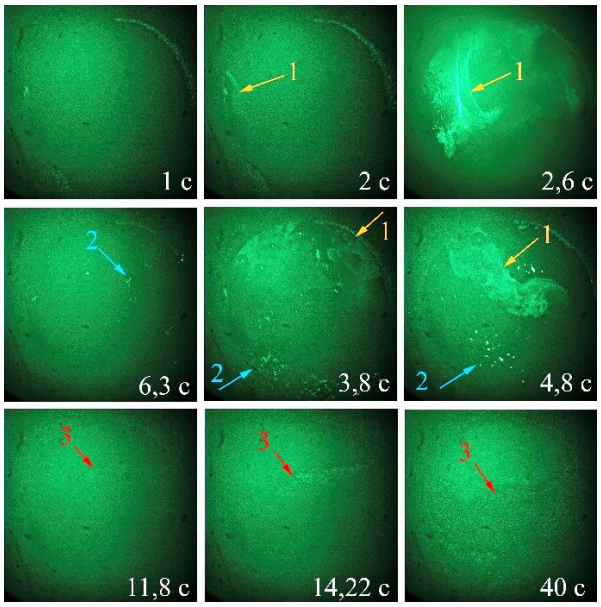


Рис. 8. Изображения лазерного монитора (камера 1 на рис. 2). Стрелками показаны: 1 – газовая фаза, 2 – жидкая фаза, 3 – твердая фаза.

Заключение

Первые эксперименты с предложенной экспериментальной установкой показали, что данный лабораторный стенд пригоден для осуществления безвакуумного электродугового синтеза на переменном токе промышленной частоты для получения дисульфида вольфрама, карбидов титана и вольфрама. При этом существенным параметром является время воздействия, которое при одинаковом токе разряда определяет фазовый состав продуктов. Впервые в рамках безвакуумного электродугового метода были получены обозначенные выше порошки воздействием дугового разряда переменного тока.

Результаты применения системы скоростной визуализации с усилением яркости показали, что лазерный монитор на основе активной среды на парах бромида меди может использоваться для исследования процессов внутри графитовых тиглей при электродуговом синтезе керамических материалов. Яркое свечение дуги не является препятствием для наблюдения. Метод оптического зондирования с использованием лазерного монитора позволяет наблюдать временной характер процесса синтеза. Такая комбинация лабораторного безвакуумного электродугового

метода синтеза тугоплавких материалов и системы визуализации быстропротекающих процессов применяется впервые и будет использоваться далее.

Список литературы

1. Бугов В.Г., Тереньтьев Д.С., Чуканов И.С., Дробяз А.А. Синтез наноразмерного порошка карбида вольфрама // Технология: обработка металлов. – 2010. – №1 (46). – С. 3-5.
2. Каледа В.Н., Звижинский А.И. Упрочнение рабочих органов землеройных и дорожно-строительных машин электрошлаковой наплавкой борида вольфрама // Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 10 томах. Т. 2. Тамбов: Изд-во ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 73–76.
3. Григорьев О.Н. Керамика и керметы на основе бескислородных тугоплавких соединений // Порошковая металлургия. – 2012. – №11/12. – С. 100-116.
4. Monteverde F., Savino R., Fumo M.D.S. Dynamic oxidation of ultra-high temperature ZrB2–SiC under high enthalpy supersonic flows // Corrosion Science. – 2011. – Vol. 53. – P. 922-929.
5. Полищук А.Г. Полупроводниковые приборы на основе карбида кремня – настоящее и будущее силовой электроники. // Компоненты и технологии. – 2004. – №8. – С. 40-45.
6. Бойко В.И., Демянюк Д.Г., Долматов О.Ю., Исаченко Д.С., Шаманин И.В. использование материалов. Полученных в режиме технологического горения, в технике радиационной защиты: экспериментальное исследование защитных свойств // Технические науки – 2005. – Т. 308. № 5. – С. 77-81.
7. 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.
8. Васильева Ю.З. Получение ультрадисперсных кристаллических материалов системы Mo-C-N в плазме атмосферного дугового разряда постоянного тока. Дисс. к.т.н. – Томск: Томский политехнический университет, 2022. – 140 с.
9. 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.
10. Gubarev F.A., Mostovshchikov A.V., Li L. High-speed optical imaging technique for combusting metal nanopowders // Optics and Laser Technology. – 2023. – Vol. 159. – Art. No 108981.
11. Губарев Ф.А. Многофункциональная система визуализации на основе лазера и усилителя яркости на парах бромида меди // Доклады ТУСУР. – 2023. – Т. 26, № 2. – С. 21-27.
12. Evercam. High-speed technologies, Россия. https://evercam.ru/
13. ЦКП «Перспективные технологии и материалы» Севастопольский государственный университет. https://www.sevsu.ru/nauka/rckp/ptm/

References

1. Bugov V.G., Terentyev D.S., Chukanov I.S., Drobyaz A.A. Synthesis of nanoscale powder of tungsten carbide // Technology: metal processing, 2010, №1 (46), pp. 3-5.
2. Kaleda V.N., Zvizhinsky A.I. Strengthening of working bodies of earth-moving and road-building machines by electroslag cladding of tungsten boride // Actual issues in scientific work and educational activity. Collection of scientific papers on the materials of the International Scientific and Practical Conference: in 10 volumes. T. 2. Tambov: Izdvo OOO Consulting Company Yukom, 2015, pp. 73–76.
3. Grigoriev O.N. Ceramics and cermets based on oxygen-free refractory compounds // Powder Metallurgy, 2012, №11/12, pp. 100-116.
4. Monteverde F., Savino R., Fumo M.D.S. Dynamic oxidation of ultra-high temperature ZrB2–SiC under high enthalpy supersonic flows // Corrosion Science, 2011, Vol. 53, pp. 922-929.
5. Polischuk A.G. Semiconductor devices based on silicon carbide - present and future of power electronics. // Components and Technologies, 2004, №8, pp. 40-45.
6. Boyko V.I., Demianyuk D.G., Dolmatov O.Yu., Isachenko D.S., Shamanin I.V. Use of materials. Obtained in the mode of technological combustion, in radiation protection equipment: experimental study of protective properties // Technical Sciences, 2005, Vol. 308, № 5, pp. 77-81.
7. Pak A.Ya. Regularities and characteristics of processes of obtaining ceramic materials on the basis of carbides under the influence of atmospheric electric arc plasma. Dissertation of Doctor of Technical Sciences - Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2022. 340 p.
8. Vasilieva Yu.Z. Preparation of ultradisperse crystalline materials of Mo-C-N system in plasma of atmospheric arc discharge of direct current. Dissertation, Candidate of Technical Sciences - Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2022. 140 p.
9. Gubin V.E., Lavrenchuk A.A., Speransky M.Y., Pak A.Ya. Investigation of electrical parameters of the prototype of the technological installation of electric arc fusion of alternating current in an open air environment, Energy Installations and Technologies, Energy Installations and Technologies. 2022, Vol. 8,

№ 4, pp. 27-31.
10. Gubarev F.A., Mostovshchikov A.V., Li L. High-speed optical imaging technique for combusting metal nanopowders // Optics and Laser Technology. 2023, Vol. 159, Art. No 108981.
11. Gubarev, F.A. Multifunctional visualization system based on a laser and a brightness amplifier on copper bromide vapor // TUSUR Reports, 2023, Vol. 26, № 2, pp. 21-27.
12. Evercam. High-speed technologies. Available at: https://evercam.com/
13. Center for Collective Use "Advanced Technologies and Materials", Sevastopol State University. https://www.sevsu.ru/nauka/rckp/ptm/

ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 621.039.56

Метод контроля мощности каналов в реакторе типа РБМК на основе показаний внезонных детекторов

С.А. Качур

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, kachur_62@mail.ru

Статья поступила 22.01.2024 г.; после доработки 24.01.2024 г.

Аннотация

Предложен метод определения истинного паросодержания на выходе каналов для многоканальных реакторов, который включает схему расположения источников и детекторов γ-излучения по периметру камеры смешения и алгоритм обработки результатов измерений.

Ключевые слова: энергораспределение, паросодержание, метод, гамма-излучение, реактор большой мощности канальный.

A method for monitoring the power of channels in an high-power channel reactor based on the readings of extraterrestrial detectors

S.A. Kachur

Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, kachur_62@mail.ru

Received 22.01.2024 y.; received in final form 24.01.2024 y.

Abstract

A method for determining the true vapor content at the outlet of channels for multichannel reactors is proposed, which includes a scheme for the location of sources and detectors of γ- radiation along the perimeter of the mixing chamber and an algorithm for processing measurement results..

Keywords: energy distribution, vapor content, method, gamma radiation, high-power channel reactor.

Введение

Интенсивное развитие ядерной энергетики и стремление к увеличению единичной мощности ставят задачу безопасной, надежной и экономичной эксплуатации ядерных реакторов. Обеспечение управления, контроля и защиты основные составляющие решения данной задачи [1-4].

Канальные реакторы большой мощностью, охлаждаемые кипящей водой (РБМК) являются типовыми для многих АЭС. Их особенностью является то, что они обладают малым саморегулированием, т.е. малая внешняя активность может привести к большим отклонениям мощности. В некоторых случаях данные реакторы обладают положительным паровым эффектом.

В реакторе типа РБМК из-за больших размеров активной зоны возможна пространственная неустойчивость нейтронно-физического поля, в результате влияния которой при постоянной средней мощности активной зоны в одних частях ее мощность может быть меньше, а в других значительно больше.

Это обстоятельство может вызвать в некото-

рой части каналов активной зоны кризисную ситуацию при достаточно низкой средней мощности по активной зоне.

Сильное влияние объемного паросодержания на реактивность выдвигает жесткие требования к статической и динамической мощности для подержания давления. Кроме того, колебания давления могут вызвать нестабильность работы гидравлического тракта главного циркуляционного насоса (ГЦН) из-за вскипания прокачиваемой воды.

Необходимо отметить, что при постоянно среднем паросодержании истинное паросодержание на выходе из активной зоны может изменяться в широких пределах. Это означает, что при фиксированном положении регулирующих стержней изменение мощности может быть осуществлено за счет недогрева теплоносителя.

Таким образом, для эффективного управления мощностью является актуальным своевременное определение энергораспределения, которое характеризуется паросодержанием на выходе каналов активной зоны, т.е. в камере смешения реактора.

В настоящее время для определения среднего паросодержания и, следовательно, средней мощности реактора используются внезонные детекторы, например, ионизационные камеры. Для распределения мощности по активной зоне применяются внутризонные детекторы, например, детекторы γ-излучения. Основным недостатком, препятствующим широкому внедрению детекторов γ-излучения для контроля энергораспределения, является запаздывание γ-излучения продуктов деления относительно момента деления.

Для решения проблемы определения энергораспределения предлагается метод контроля паросодержания на выходе каналов активной зоны с использованием источников и детекторов γ-излучения по периметру камеры смешения.

Метод определения паросодержания на выходах каналов активной зоны

Рассмотрим принцип описания мощности ядерного реактора при кипении в активной зоне. Исходя из сосредоточенной модели реактора, уравнение теплового баланса будет выглядеть следующим образом [5]

$$Q_p = G_I(\bar{i}_{âûõ} - \bar{i}_{âõ}), \quad (1)$$

где G_I - расход теплоносителя через ядерный реактор; $\bar{i}_{âûõ}$, $\bar{i}_{âõ}$ - энтальпии теплоносителя на выходе и входе.

При поверхностном кипении в ТВС уравнение теплового баланса примет вид

$$Q_{Ê_i} = g_i(i' + rx - \bar{i}_{âõ}), \quad (2)$$

$$x = \frac{\bar{i} - i'}{r}, \quad (3)$$

где x - относительная энтальпия теплоносителя при поверхностном кипении в отдельно взятом канале (массовое паросодержание); $\bar{i}$ - средняя энтальпия потока теплоносителя; i' - энтальпия потока теплоносителя при температуре насыщения при данном давлении; r -удельная теплота парообразования.

При кипении теплоносителя в активной зоне реактора условимся, что

$$G_I = \sum_{i=1}^{n} g_i = \sum_{i=1}^{n} (g_{Ïi} + g_{Bi}), \quad (4)$$

$$Q_p = \sum_{i=1}^{n} Q_{Ki}, \quad (5)$$

где G_I - массовый расход теплоносителя через реактор; Q_p - суммарная тепловая мощность активной зоны; Q_{Ki} - тепловая мощность в i-м канале; $g_{Пi}$, g_{Bi} - массовые расходы пара и воды через i-й канал.

На основании соотношений (4)-(5) для тепловой мощности i-о канала

$$Q_{Ki} = g_i(i' - \bar{i}_{âõ}) + rxg_i \equiv Q_{Ki}^{ÝÊ} + Q_{Ki}^{ÈÑÏ}, \quad (6)$$

где $Q_{Ki}^{ЭК}$, $Q_{Ki}^{ИСП}$ — тепловая мощность, выделяемая в i-м канале на экономайзерном и испарительном участках соответственно.

Таким образом, из (6) следует, что

$$Q_{Ki}^{ÈÑÏ} = rxg_i. \quad (7)$$

Будем полагать, что x=x_{CM}, т.е. массовое паросодержания соответствует паросодержанию x_{CM} в камере смешения. Следовательно, для управления мощностью необходимо контролировать массовое паросодержание, определяемое в камере смешения реактора.

Обычно для исследования течения пароводяного потока применяется метод, основанный на свойствах γ-лучей. Они обладают большой энергией и способностью проникать через вещества значительной толщины. Интенсивность

проникающего излучения уменьшается при прохождении лучей через жидкость.

Для определения истинного паросодержания на выходе каналов расположим по периметру камеры смешения реактора l детекторов γ-излучения и соответственно l источников γ-излучения. Количество рассматриваемых каналов в этом случае равно $l \times l$. Предположим, что направления γ-лучей образуют в пространстве решетку с узлами на пересечении этих направлений, совпадающими с каналами активной зоны.

Предположим, что число используемых в методе датчиков k и соответственно k источников света объединено в кольцевую структуру, расположенную по периметру верхней шахты реактора, т.е. каждому датчику или источнику света соответствует определенный сектор этой кольцевой структуры.

Тогда определение значений истинного паросодержания в узлах этой решетки, т.е. на выходах каналов, можно произвести, решая систему линейных алгебраических уравнений вида

$$\begin{cases} b_{11}\varphi_1 + b_{12}\varphi_2 + \cdots + b_{1m}\varphi_m = z_1 \\ b_{21}\varphi_1 + b_{22}\varphi_2 + \cdots + b_{2m}\varphi_m = z_2 \\ \vdots \\ b_{l1}\varphi_{l1} + b_{l2}\varphi_{l2} + \cdots + b_{lm}\varphi_m = z_l \end{cases}, \qquad (8)$$

где m ($l \times l$)— общее число каналов; b_{ji} — коэффициент, принимающий значение из множества {0;1}; φ_i —величина паросодержания в i-й точке; z_j — измерение, отражаемое j-м детектором ($j = \overline{1,l}$) по выбранному направлению.

Пример схемы расположения детекторов и источников γ-излучения для девяти каналов представлен на рис. 1.

Количество используемых детекторов определяется требованием по точности измерения. Кроме того, подключения детекторов может быть поэтапным по мере требования к повышению точности локализации каналов с ростом уровня мощности в отдельных частях активной зоны.

Заключение

Математически обоснована возможность управления мощностью многоканального реактора посредством контроля за истинным паросодержанием на выходе каналов в камере смешения реактора.

Предложен метод определения истинного паросодержаения и, следовательно, энергораспределения в активной зоне канального реактора.

Предложенные разработки направлены на усовершенствования систем контроля и управления реакторов типа РБМК.

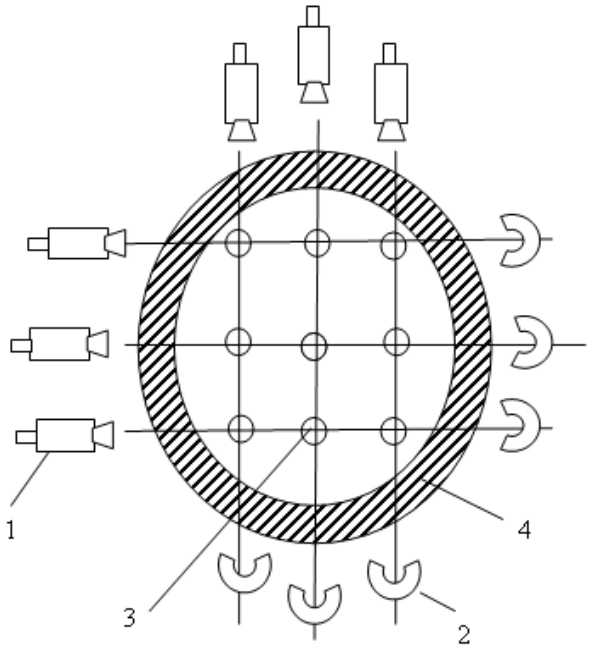


Рис. 1. Схема измерения паросодержания в камере смешения для реактора с 9 каналами: 1 – источник γ-излучения; 2 – детектор γ-излучения; 3 – каналы активной зоны: 4 – корпус модели реактора.

Список литературы

1. Еременко В.А. Пути обеспечения безопасного управления атомными энергетическими установками – К.: Техника, 1988. –256с.
2. Емельянов И.Я. Научно-технические основы управления ядерными реакторами/ И.Я. Емельянов, А.И. Ефанов, Л.В. Константинов; Под общ. ред. акад. Н.А. Доллежаля – М.: Энергоиздат, 1981. – 360с.
3. Емельянов И.Я. Управление и безопасность ядерных энергетических реакторов / И.Я. Емельянов, П.А. Гаврилов, Б.Н. Селиверстов – М.: Атомиздат, 1975. – 280с.
4. Крамер Э.У. Ядерные реакторы с кипящей водой. – М.: Из-во иностр. лит-ры, 1960. – 509с
5. Кириллов П.Л. Справочник по тепло гидравлическим расчетам. (ЯР, теплообменники, ПГ)/П.Л. Кириллов, Ю.С. Юрьев, В.П. Бобков — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 360с.
6. Попов И. А, Качур С.А. Идентификация процесса поверхностного кипения теплоносителя в активной зоне АЭУ с ВВЭР // Севастополь: Сб.науч.тр. СНУЯЭиП. – 2009. – Вып.4(32). –

С.68 -76.

References

1. Eremenko V.A. *Puti obespecheniya bezopasnogo upravleniya atomnymi energeticheskimi ustanovkami* [Ways of providing of safe management by the atomic power plants]. Kiev, Techika, 1988. 256p.
2. Emel'yanov I.Ya., Efanov A.I., Konstantinov L.V. *Naucho-tehnicheskie osnovy upravleniya yadernymi reaktorami* [Scientific and technical government bases by nuclear reactors]. Moskow, Energoizdat, 1981. 360p.
3. Emel'yanov I.Ya., Gavrilov P.A., Seliverstov B.N. *Upravlenie i bezopasnost' yadernyh energeticheskih reaktorov* [Control and safety of nuclear power reactors]. Moskow, Atomizdat, 1975. 280p.
4. Kramer E. Y. *Yadernie reactori s kipyashey vodoy* [Nuclear reactors with boiling water]. Moscow, Izvo inostr. lit-ri, 1960, 509 p.
5. Kirilov P.L., Yur'ev Yu.L., Bobkov V.P. *Spravochik po teplogidravlicheskim raschyotam* [Reference book upon heat-hydraulic accounts]. Moskow, Energoizdat, 1990, 360p.
6. Popov I.A., Kachur S.A. Identification of process of the superficial boiling of coolant in the active zone APP with PWR. *Sevastopol: Sb.nauch.tr. SNUYaEiP*, 2009, No 4(32), pp. 68-76.

УДК 621.039.56

Метод диагностики формы энергораспределения для реакторов типа РБМК

С.А. Качур
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, kachur_62@mail.ru

Статья поступила 22.02.2024 г.; после доработки 24.01.2024 г.

Аннотация

Предложен метод качественного определения формы поля энерговыделения в активной зоне кипящего реактора на основе показаний детекторов γ-излучения, расположенных совместно с γ-излучателями по периметру камеры смешения. Разработан алгоритм экспресс диагностики, позволяющий определить момент, когда процесс в активной зоне становятся неуправляемым.

Ключевые слова: поля энергораспределение, паросодержание, гамма-излучение, реактор большой мощности канальный, функция Бесселя.

A method for diagnosing the form of energy distribution for high-power channel reactors

S.A. Kachur
Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, kachur_62@mail.ru

Received 22.01.2024 y.; received in final form 24.01.2024 y.

Abstract

A method is proposed for the qualitative determination of the shape of the energy release field in the core of a boiling reactor based on the readings of γ-radiation detectors located together with γ-emitters along the perimeter of the mixing chamber. An express diagnostic algorithm has been developed to determine the moment when the process in the core becomes uncontrollable.

Keywords: field shape, energy distribution, vapor content, gamma radiation, high-power channel reactor, Bessel function.

Введение

Опыт эксплуатации ЯЭУ показывает, что проблема безопасности – проблема потенциально возможных, маловероятных аварий по причине отказа технических систем и ошибок персонала. При анализе аварийных ситуаций основное внимание уделяется неуправляемому увеличению мощности активной зоны, уменьшению расхода теплоносителя и повышению давления в реакторе [1-5].

В больших реакторах в результате переходных процессов наряду с изменениями полной мощности могут возникать деформации распределения мощности по объему активной зоны. Известно, что распределение тепловыделения по высоте активной зоны следует закону синуса, а в радиальном направлении изменяется по функции Бесселя [6].

Существующие методы идентификации деформаций энергораспределения по объему активной зоны при возрастании реактивности обладают недостаточной оперативностью, например, для случая пусковой авария в реакторе, отравленном ксеноном. В значительной мере это связано с большими временными затратами на

определение динамических характеристик пространственного распределения мощности, которые являются следствием сложности математического описания протекающих в реакторе процессов.

Например, оперативность метода гармоник достаточна для идентификации деформаций энергораспределения по объему активной зоны при медленных процессах (ксеноновом отравлении реактора), но не приемлема в случае быстрых процессов (переходных процессов). Поэтому для прогнозирования аварийной ситуации, связанной с ростом реактивности, необходимо разработать оперативный метод качественного определения формы поля тепловыделения.

Метод экспресс-диагностики формы энергораспределения в активной зоне реактора

Развитие радиально-азимутальных колебаний в цилиндрическом реакторе иллюстрируется рис. 1, где показано наложение высоких гармоник на форму основного распределения потока нейтронов в реакторе.

Области возрастания потока нейтронов обозначены знаком «+», области уменьшения знаком «-». В правой части рис. 1 дано схематическое изображение развития деформаций распределения потока нейтронов. Возникающие колебания распределения мощности непрерывны. Чтобы погасить, например, гармонику f_{01} необходимо перемещать регулирующие стержни в противоположных направлениях в обеих половинах реактора.

Необходимо упростить процесс идентификации состояния реактора с точки зрения характеристики гармоник, определяющих форму энергораспределения в текущий момент времени и прогноз развития ситуации.

Будем рассматривать три представленных на рис. 1.формы энергораспределения в соответствии с появлением первой, второй и третьей гармоник.

Для идентификации формы поля тепловыделения по периметру камеры смешения над активной зоной реактора установлено 4 источника γ-излучения, каждый из которых определяет три направления γ-лучей, и 12 детекторов γ-излучения, фиксирующих излучения по соответствующим направлениям. Схема размещения источников и детекторов γ-излучения приведена на рис.2. Одновременно по двенадцати направлениям производится измерение истинного паросодержания $\varphi(k, l)$ ($k = \overline{1,4}$; $l = \overline{-1,1}$; l – индекс направления k-о источника излучения).

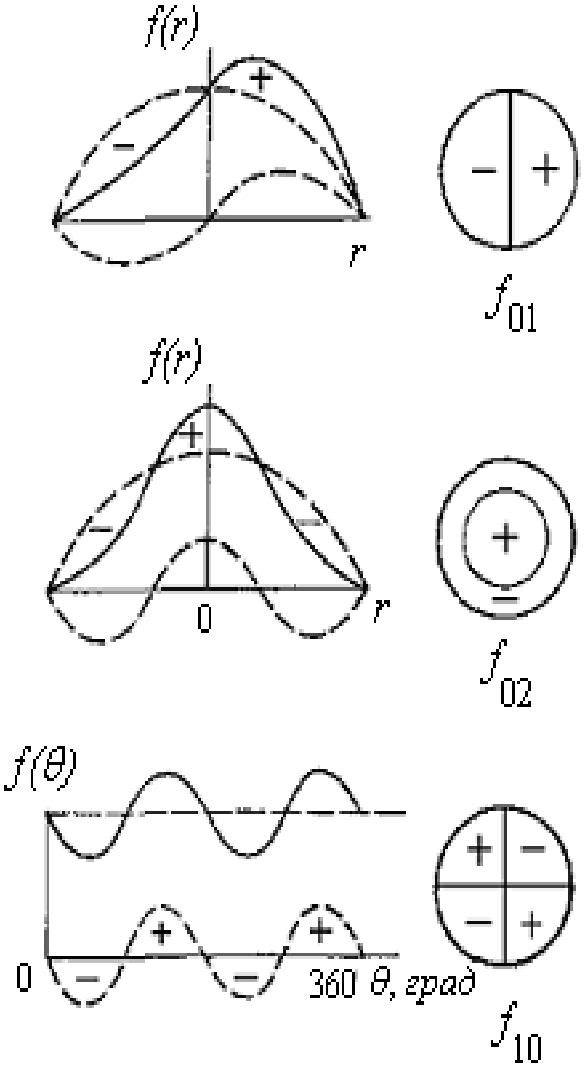


Рис. 1. Форма пространственных ксеноновых колебаний в цилиндрическом реакторе

Для алгоритма идентификации формы необходимо задать ее эталонные параметры, то есть описать косинусоидальную форму энергораспределения для трех направлений излучения одного источника, а именно, $P_{ЭТ}^{(-1)}$, $P_{ЭТ}^{(0)}$, $P_{ЭТ}^{(+1)}$.

Таблица 1. *Соотношение параметров поля энерговыделения и эталона*

Направление излучения l	Соотношение измеренных величин Dk(l) по l-му направлению и эталонных РЭТ(l) для трех классов форм		
	1	2	3
-1	<		>
0	=	>	<
+1	>		<

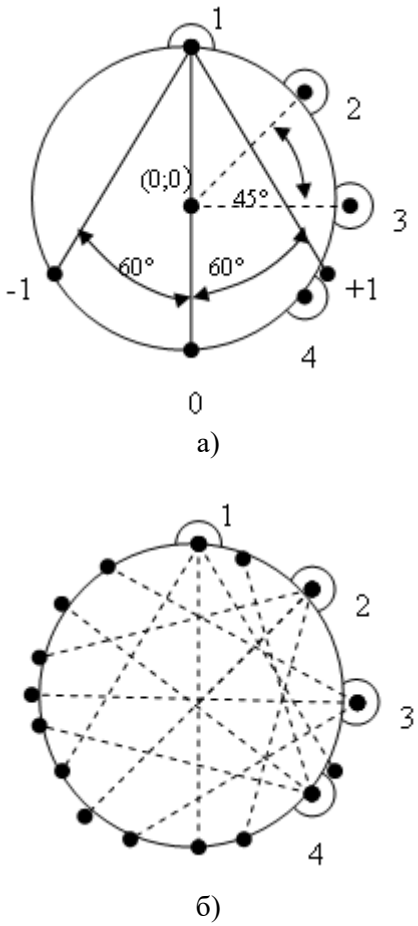


Рис. 2. Схема размещения детекторов γ-излучения по периметру камеры смешения для одного источника (а) и для четырех источников (б): • – детектор, ◉ – источник излучения.

Алгоритм экспресс-диагностики формы поля энергораспределения в активной зоне реактора.

1. Если в некотором заданном допустимом интервале мощности ΔP истинно соотношение

$$(D_1^{(0)}=P_{ЭТ}^{(0)})\wedge((D_1^{(-1)}<P_{ЭТ}^{(-1)})\wedge(D_1^{(+1)}>P_{ЭТ}^{(+1)})\vee(D_2^{(-1)}<P_{ЭТ}^{(-1)})\wedge(D_2^{(+1)}>P_{ЭТ}^{(+1)})\vee(D_3^{(-1)}<P_{ЭТ}^{(-1)})\wedge(D_3^{(+1)}>P_{ЭТ}^{(+1)})\vee(D_4^{(-1)}<P_{ЭТ}^{(-1)})\wedge(D_4^{(+1)}>P_{ЭТ}^{(+1)})),$$

то имеет место первая форма энергораспределения, и номер излучателя $K=\max\limits_k\left\{D_k^{(2)}\right\}$ определяет положение формы в принятых системах координат, иначе нарушений формы нет. Переход к п.4.

2. Если в некотором заданном допустимом интервале мощности ΔP истинно соотношение $(D_1^{(0)}>P_{ЭТ}^{(0)})$, то имеет место вторая форма энергораспределения, иначе нарушений формы нет. Переход к п.4.

3. Если в некотором заданном допустимом интервале мощности ΔP истинно соотношение

$$(D_1^{(0)}<P_{ЭТ}^{(0)})\wedge((D_1^{(-1)}>P_{ЭТ}^{(-1)})\wedge(D_1^{(+1)}<P_{ЭТ}^{(+1)})\vee(D_2^{(-1)}>P_{ЭТ}^{(-1)})\wedge(D_2^{(+1)}<P_{ЭТ}^{(+1)})\vee(D_3^{(-1)}>P_{ЭТ}^{(-1)})\wedge(D_3^{(+1)}<P_{ЭТ}^{(+1)})\vee(D_4^{(-1)}>P_{ЭТ}^{(-1)})\wedge(D_4^{(+1)}<P_{ЭТ}^{(+1)})),$$

то имеет место третья форма энергораспределения, и номер излучателя $K=\max\limits_k\left\{(D_k^{(0)}<P_{УО}^{(0)})\wedge(D_k^{(-1)}>P_{УО}^{(-1)})\right\}$ определяет положение формы в принятых системах координат, иначе нарушений формы нет. Переход к п.4.

4. Конец.

Для более точного определения положения формы поля в выбранных системах координат необходимо ввести добавочные источники и приемники γ-излучения по каждому из секторов, которые позволят уточнять координаты минимумов и максимумов поля энергораспределения.

Появление третьей гармоники в форме энергораспределенления свидетельствует о том, что процесс, протекающий в активной зоне реактора, становится неуправляемым.

Заключение

Предложен метод, позволяющий повысить оперативность идентификации деформаций энергораспределения за счет измерения показателей процесса теплообмена в камере смешения реактора и использования классификации форм поля тепловыделения.

Предложенный подход к идентификации формы поля тепловыделения может быть использован для усовершенствования систем контроля и диагностики крупных кипящих, водо-водяных и транспортных реакторов.

Список литературы

1. Еременко В.А. Пути обеспечения безопасного управления атомными энергетическими установками – К.: Техника, 1988. –256с.
2. Емельянов И.Я. Научно-технические основы управления ядерными реакторами/ И.Я. Емельянов, А.И. Ефанов, Л.В. Константинов; Под общ. ред. акад. Н.А. Доллежаля – М.: Энергоиздат, 1981. – 360с.
3. Емельянов И.Я. Управление и безопасность ядерных энергетических реакторов / И.Я. Емельянов, П.А. Гаврилов, Б.Н. Селиверстов – М.:

Атомиздат, 1975. – 280с.
4. Кириллов П.Л. Справочник по тепло гидравлическим расчетам. (ЯР, теплообменники, ПГ)/П.Л. Кириллов, Ю.С. Юрьев, В.П. Бобков — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 360с.
5. Попов И. А, Качур С.А. Идентификация процесса поверхностного кипения теплоносителя в активной зоне АЭУ с ВВЭР // Севастополь: Сб.науч.тр. СНУЯЭиП. – 2009. – Вып.4(32). – С.68 -76.
6. Качур С.А. Исследование управляемости ядерного реактора на основе анализа функции Бесселя/ С.А. Качур // Сб.науч.тр.СНУЯЭиП – Вып.2(46). – Севастополь: СНУЯЭиП, 2013. – С.36-45.

References

1. Eremenko V.A. *Puti obespecheniya bezopasnogo upravleniya atomnymi energeticheskimi ustanovkami* [Ways of providing of safe management by the atomic power plants]. Kiev, Techika, 1988. 256p.
2. Emel'yanov I.Ya., Efanov A.I., Konstantinov L.V. *Naucho-tehnicheskie osnovy upravleniya yadernymi reaktorami* [Scientific and technical government bases by nuclear reactors]. Moskow, Energoizdat, 1981. 360p.
3. Emel'yanov I.Ya., Gavrilov P.A., Seliverstov B.N. *Upravlenie i bezopasnost' yadernyh energeticheskih reaktorov* [Control and safety of nuclear power reactors]. Moskow, Atomizdat, 1975. 280p.
4. Kirilov P.L., Yur'ev Yu.L., Bobkov V.P. *Spravochik po teplogidravlicheskim raschyotam* [Reference book upon heat-hydraulic accounts]. Moskow, Energoizdat, 1990, 360p.
5. Popov I.A., Kachur S.A. Identification of process of the superficial boiling of coolant in the active zone APP with PWR. *Sevastopol: Sb.nauch.tr. SNUYaEiP*, 2009, No 4(32), pp. 68-76.
6. Kachur S.A. *Research of dirigibility of nuclear reactor on the basis of analysis of the Bessel function. Sb. nauch. tr. SNUYaE i P*, Sevastopol, SNUYaE i P, 2013, No. 2(46), pp. 36-45.

УДК 621.039

Сокращение времени замены ядерного топлива в реакторах на быстрых нейтронах за счет оптимизации работы механизма перегрузки

О.Л. Ташлыков[1], А.Н. Сесекин[1], В.И. Токманцев[1]
[1]*Уральский федеральный университет, Екатеринбург, 62002, Россия, otashlykov@list.ru* ,

Статья поступила 08.02.2024 г.; после доработки 09.02.2024 г.

Аннотация

Продолжительность перегрузки ядерного топлива определяет время остановки энергоблока АЭС и эффективность выработки электроэнергии. Сократить продолжительность перегрузки ядерного топлива можно путем оптимизации работы механизма перегрузки. В реакторах на тепловых нейтронах с водным теплоносителем (подавляющее большинство реакторов в мире) механизм перегрузки наводится на тепловыделяющую сборку по двум координатам. В реакторах на быстрых нейтронах в качестве теплоносителя используется натрий, который бурно реагирует с водой и кислородом, содержащимся в воздухе. Поэтому при перегрузке ядерного топлива необходимо исключить контакт натрия с воздухом. Для этого используется система наведения механизма перегрузки при вращении двух или трех эксцентрично расположенных поворотных пробок с гидрозатворами. В статье представлены результаты построения математических моделей перемещения механизма перегрузки (захвата) топливных сборок. Предложены оптимальные по времени алгоритмы работы механизмов перегрузки с двумя и тремя вращающимися пробками.

Ключевые слова: перегрузка ядерного топлива, оптимизация, реактор ни быстрых нейтронах.

Reducing the time to replace nuclear fuel in reactors at fast neutrons due to optimization of the refueling machine

O.L. Tashlykov[1], A.N. Sesekin[1], V.I. Tokmantsev[1]
[1]*Ural Federal University, Yekaterinburg, 62002, Russia, otashlykov@list.ru*, italic, centered; series indicated a department, university,

Received 08.02.2024 y.; received in final form 09.02.2024 y.

Abstract

The duration of nuclear fuel refueling determines the shutdown time of a nuclear power plant unit and the efficiency of electricity generation. The duration of nuclear fuel refueling can be reduced by optimizing the operation of the refueling mechanism. In thermal neutron reactors with water coolant (the vast majority of reactors in the world), the overload mechanism is oriented to the fuel assembly along two coordinates. Fast reactors use sodium as a coolant, which reacts violently with water and oxygen in the air. Therefore, when reloading nuclear fuel, it is necessary to exclude contact of sodium with air. For this purpose, a system for guiding the overload mechanism is used during the rotation of two or three eccentrically located rotary plugs with hydraulic locks. The article presents the results of constructing mathematical models of the movement of the mechanism for reloading (capturing) fuel assemblies. Time-optimal algorithms for operation of overload mechanisms with two and three rotating plugs are proposed.

Keywords: nuclear fuel reloading, optimization, fast neutron reactor.

Введение

Существуют несколько путей повышения энергоэффективности АЭС. Один из них – повышение параметров пара (температуры и давления) перед турбиной. Большинство АЭС в мире

используют реакторы на тепловых нейтронах с водным теплоносителем. Их КПД составляет примерно 33%. Это означает, что примерно 2/3 тепловой энергии, выделяющейся в активной зоне реактора в результате цепной реакции деления ядер, выбрасывается в атмосферу [1]. В реакторах на быстрых нейтронах натриевый теплоноситель на выходе из активной зоны имеет температуру 550 ^{0}C, что позволяет вырабатывать в парогенераторе перегретый пар высоких параметров. Это обеспечивает КПД более 40% [2]. Еще одним путем увеличения коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) энергоблока является сокращения времени его остановки для проведения ремонта и перегрузки ядерного топлива.

Большинство операций по перегрузке тепловыделяющих сборок (ТВС) в соответствии с правилами ядерной безопасности строго регламентированы (например, скорости подъема-опускания ТВС, перемещения их в горизонтальной плоскости). Но имеется потенциал в сокращении времени наведения механизма на определенные координаты и перестановки ТВС путем маршрутной оптимизации. Исследования по разработке теории и алгоритмов маршрутной оптимизации применительно к прикладным задачам в атомной энергетике более 20 лет ведутся специалистами кафедр атомных станций и прикладной математики УрФУ, а также математиками Института механики и математики УрО РАН и показали свою эффективность [3], [4]. Одной их таких задач является оптимизация транспортно-технологических операций по перегрузке ядерного топлива [5], [6].

В реакторах типа ВВЭР перегрузка ТВС осуществляется с помощью перегрузочной машины под слоем воды в бассейне перегрузки, которая выполняет функции радиационной защиты и отвода остаточных тепловыделений [7]. Перегрузочная машина представляет собой мост, перемещающийся над реактором и бассейном выдержки, по которому перемещается тележка с механизмом перегрузки. Наведение захвата перегрузочной машины на ТВС, подлежащую перестановке, осуществляется по двум взаимно перпендикулярным координатам.

Особенности маршрутной оптимизации применительно к такой схеме наведения механизма перегрузки (захвата) реакторов типа ВВЭР, составляющих основу атомной энергетики России и мира, подробно рассмотрены в монографии [6]. Задача о перегрузке ядерного топлива реактора ВВЭР-1000 содержит большое число разнообразных, плохо формализуемых ограничений. Для решения этой задачи построен эффективный жадный алгоритм, который был реализован в виде стандартной программы для ЭВМ.

В силу конструктивной особенности реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем наведение захвата перегрузочного механизма на топливную сборку, подлежащую перегрузке, осуществляется за счет вращения двух или трех эксцентрично расположенных поворотных пробок с гидрозатвором, на меньшей из которых расположен захват [8].

Реакторы на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем являются инновационным направлением развития атомной энергетики [9]. Они нарабатывают новый делящийся материал (плутоний-239) из неделящегося изотопа уран-238 в большем количестве, чем расходуют исходного ядерного топлива (коэффициент воспроизводства больше единицы) и позволяют реализовать замкнутый ядерный топливный цикл [10]. В настоящее время успешно эксплуатируются реакторы БН-600 (1980) и БН-800 (2015), распоряжением Госкорпорации «Росатом» от 28 апреля 2022 года утверждена дорожная карта по сооружению БН-1200 [11]. Процесс создания энергоблока №5 БАЭС с БН-1200 находится сейчас на стадии проектирования. Площадка под новый блок определена, прошли общественные слушания по размещению. По дорожной карте планируется, что первый бетон в фундамент зальют в 2027 году.

На совещании Управляющего совета Проектного соглашения Международного Форума Поколение IV (МФП) по системной интеграции и оценке быстрого натриевого реактора в сентябре 2017 г. концепция БН-1200 была принята и одобрена как отвечающая требованиям, предъявляемым к реакторам на быстрых нейтронах Поколения IV [12].

В представленной работе рассмотрены пути решения задачи маршрутной оптимизации для перемещения механизмов перегрузки реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем.

Особенности перегрузки ядерного топлива

Особенностью работы ядерного реактора (протекания самоподдерживающейся цепной реакции деления) является наличие в активной зоне критической массы ядерного топлива. Поскольку при работе ядерного реактора происходит уменьшение концентрации ядер делящегося

изотопа (урана-235 или плутония-239), в активную зону загружается больше делящегося материала, чем нужно для образования критической массы. Влияние избытка делящегося материала над критической массой компенсируется специальными поглотителями нейтронов системы управления и защиты (СУЗ). В настоящее время загрузка свежего ядерного топлива обеспечивает работу энергоблока АЭС с реакторами ВВЭР до следующей перегрузки в течение 12-18 месяцев [13]. Для реактора БН-600 время работы на номинальной мощности между перегрузками составляет до 160 сут [8].

В общем случае перегрузка ядерного топлива заключается в следующем: отработавшие несколько лет ТВС (в зависимости от продолжительности кампания топлива для реакторов типа ВВЭР) выгружаются из центральной части активной зоны в бассейн выдержки; частично выгоревшие ТВС перемещаются (перестанавливаются) в активной зоне от периферии к ее центру; на периферию активной зоны загружаются (устанавливаются) свежие ТВС [14]. Порядок перестановки ТВС строго регламентирован и осуществляется с учетом соблюдения ядерной безопасности (недопущения возникновения неуправляемой цепной реакции деления).

Активная зона реакторов на быстрых нейтронах (РБН) ввиду отсутствия замедлителя нейтронов имеет высокие значения объемного энерговыделения (около 500 МВт/м^3), что в десятки раз больше, чем в реакторах типа РБМК и в несколько раз больше, чем в ВВЭР [15]. Ввиду этого для обеспечения надежного теплоотвода используют жидкометаллические теплоносители ЖМТ). В настоящее время практически во всех энергетических реакторах используется натрий. Являясь высокоэффективным теплоносителем, натрий имеет ряд недостатков, одним из которых является высокая химическая активность по отношению к воде и воздуху. Наличие в корпусе реактора натрия требует надежной его изоляции от окружающей среды во всех режимах эксплуатации, в том числе при перегрузке топлива.

Принцип наведения механизма перегрузки с помощью вращения эксцентрично расположенных поворотных пробок с гидрозатвором, реализованный в РУ БН-350, показал свое преимущество [16].

Поэтому, в современных быстрых реакторах с натриевым теплоносителем используется система наведения захвата механизма перегрузки топливных сборок на нужные координаты активной зоны, зоны воспроизводства, внутриреакторного хранилища или гнезд подъемника путем вращения двух (трех для БН-800) эксцентрично расположенных поворотных пробок (колонн), являющимися одновременно герметизирующей крышкой реактора и биологической защитой (рис.1). Незначительное избыточное давление в корпусе реактора позволило использовать для герметизации его внутренней полости гидрозатвор, заполненный сплавом олово-висмут с невысокой температурой плавления [17].

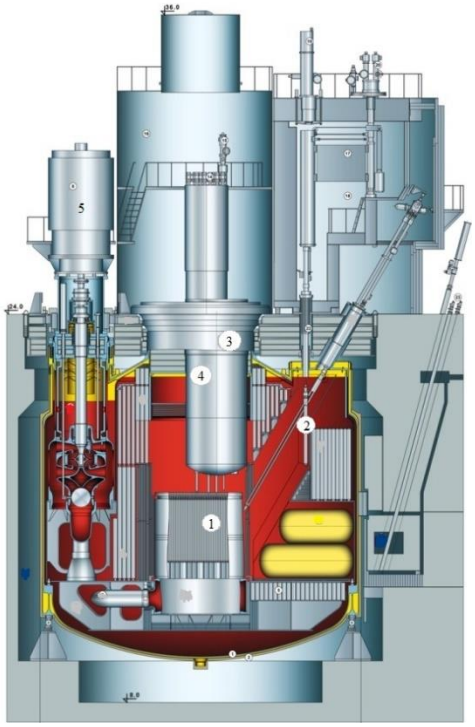


Рис. 1. Реактор БН-600: 1 – активная зона; 2 - тепловыделяющая сборка в гильзе наклонного подъемника; 3 – большая поворотная пробка; 4 – малая поворотная пробка (центральная поворотная колонна); 5 – циркуляционный насос.

При перегрузке отработавшая тепловыделяющая сборка (ОТВС) должна быть перемещена во внутриреакторное хранилище (ВХР), расположенное за боковой зоной воспроизводства с помощью механизма перегрузки. Для этого захват механизма перегрузки наводится на координаты ОТВС, опускается, сцепляется с ОТВС, извлекает ее и происходит перемещение ТВС в свободную ячейку ВХР. ОТВС, простоявшие один промежуток времени между перегрузками, перемещаются из ВХР в гильзу наклонного подъемника элеватора загрузки-выгрузки (см. рис.1), далее поднимаются и извлекаются из реактора в передаточный бокс и далее, в барабан

отработавших сборок (БОС). Свежие ТВС загружаются в активную зону в обратном порядке через элеватор загрузки-выгрузки. Заметим, что время поднимания и опускания ТВС можно не учитывать, т.к. оно не зависит от места проведения операции и является постоянной величиной. Поэтому задачу наведения захвата на ТВС и задачу перемещения ТВС из одной ячейки в другую, можно рассматривать как плоскую задачу. Все операции по перемещению сборок на нужные координаты внутри реактора производятся при вращении эксцентрично расположенных большой и малой поворотных пробок.

Время, затрачиваемое на операции опускания-поднимания захвата перегрузочной машины, сцепления-расцепления захвата с ТВС, можно не учитывать в алгоритме расчета, так как оно является параметром, не подлежащим оптимизации. В результате задачу можно представить как плоскую, при этом часть перемещений не рассматривается [6].

Математические модели механизмов перегрузки и оптимальные алгоритмы управления

Механизм перегрузки ядерного топлива реактора БН-600 состоит из двух поворотных пробок. Большая пробка представляет вращающийся диск радиуса R1 с неподвижным геометрическим центром – центром окружности радиуса R1. В большой пробке имеется эксцентрический круговой вырез радиуса R2, в который помещена малая пробка – диск радиуса R2. Далее будем предполагать, что центр масс малой пробки будет совпадать с его геометрическим центром. Мы будем пренебрегать силами трения при описании взаимодействия пробок. Движение механической системы является плоским. Осевой момент инерции большой пробки обозначим через J1, а малой пробки относительного ее центра масс - J2, масса малой пробки равна m2. Расстояние между геометрическими центрами большой и малой пробок равно e1.

Согласно [18, 19], при сделанных предположениях математическая модель механизма перегрузки будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}\ddot{\varphi}_1 &= \frac{1}{\Delta} J_2 \left(u_1 - u_2\right)\\ \ddot{\varphi}_2 &= \frac{1}{\Delta}\left(-J_2 u_1 + \left(J_1 + J_2 + m_2 e_1^2\right) u_2\right),\end{aligned} \qquad (1)$$

где использовано обозначение

$$\Delta = J_2\left(J_1 + m_2 e_1^2\right)$$

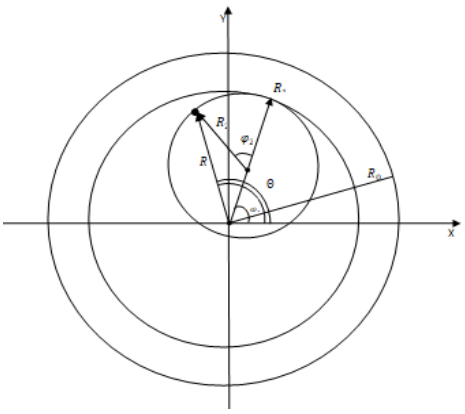


Рис 2. Схема механизма перегрузки реактора БН-600.

Управляющие моменты, приложенные к большой и малой пробке, подчинены ограничениям

$$\begin{aligned}&|u_1| \le \mu_1,\\ &|u_2| \le \mu_2.\end{aligned} \qquad (2)$$

Введем обозначения

$$a_1 = \frac{1}{J_1 + m_2 e_1^2},$$

$$a_2 = \frac{J_1 + J_2 + m_2 e_1^2}{J_2\left(J_1 + m_2 e_1^2\right)}.$$

В результате систему (1) запишем в виде

$$\begin{aligned}\ddot{\varphi}_1 &= a_2\left(u_1 - u_2\right)\\ \ddot{\varphi}_2 &= -a_1 u_1 + a_2 u_2.\end{aligned} \qquad (3)$$

Приводя систему (3) к нормальной форме, получим

$$\begin{aligned}\dot{\varphi}_1 &= \omega_1\\ \dot{\omega}_1 &= a_2\left(u_1 - u_2\right)\\ \dot{\varphi}_2 &= \omega_2\\ \dot{\omega}_2 &= -a_1 u_1 + a_2 u_2.\end{aligned} \qquad (4)$$

Координаты точки, в которой находится перегрузочное устройство R и θ связаны с переменными φ_1 и φ_2 с помощью соотношений

$$R = \sqrt{\left(R_1 - R_2\right)^2 - 2\left(R_1 - R_2\right) R_2 \cos\left(\pi - \varphi_2\right)},$$

$$\theta = \varphi_1 + \arccos\frac{R_2 + \left(R_1 - R_2\right)^2 - R_2^2}{2\left(R_1 - R_2\right) R}\, sign\left(\varphi_2\right).$$

Пусть начальная точка имеет координаты $x_0 = (\varphi_1^0, 0, \varphi_2^0, 0)^{\mathrm{T}}$, а конечная точка – $x_f = (\varphi_1^f, 0, \varphi_2^f, 0)^{\mathrm{T}}$. (Фазовый вектор $x(t) = (\varphi_1(t), \omega_1(t), \varphi_2(t), \omega_2(t))^{\mathrm{T}}$ описывается системой уравнений (4). Рассмотрим задачу наискорейшего перевода захвата из начального

положения в конечное при соблюдении ограничений на управление (2).

Решение этой задачи приведено в [18, 19], которое получено с помощью принципа максимума Л.С. Понтрягина [20].

Введем новые функции $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ и $\chi = \varphi_1 + (a_1/a_2)\varphi_2$. И также введем их приращения: пусть $\Delta\varphi = \varphi_1^f + \varphi_2^f - \varphi_1^0 - \varphi_1^0$ и $\Delta\chi = \varphi_1^f + (a_1/a_2)\varphi_2^f - \varphi_1^0 - (a_1/a_2)\varphi_2^0$. Тогда, согласно [18, 20], при выполнении условия

$$a_2|\Delta\chi| \le \frac{\mu_1}{\mu_2} a_1 |\Delta\varphi| \qquad (5)$$

оптимальное управление, решающее задачу быстродействия, будет следующим

$$u_1 = \frac{4a_2\left(\Delta\varphi_1 + \frac{a_1}{a_2}\Delta\varphi_2\right)}{a_1(a_2 - a_1)\vartheta_2^2} sign\left(t - \frac{\vartheta}{2}\right),$$

$$u_2(t) = \mu_2 sign\left(\varphi(\vartheta) - \varphi(0)\right) sign\left(t - \frac{\vartheta}{2}\right).$$

Если же вместо (5) выполняется неравенство

$$a_2|\Delta\chi| \ge \frac{\mu_1}{\mu_2} a_1 |\Delta\varphi| \qquad (6)$$

то

$$u_1(t) = \mu_1 sign\left(\chi(\vartheta_1) - \chi(0)\right) sign\left(\frac{\vartheta_1}{2} - t\right),$$

$$u_2 = \frac{4\Delta\varphi}{(a_2 - a_1)\vartheta_2^2} sign\left(\frac{\vartheta_1}{2} - t\right).$$

В результате для всех допустимых начальной и конечной точек мы построили оптимальные управления. Эти управления по своей структуре являются релейными и имеют каждое только по одному переключению. Интересующее нас оптимальное время для случая (5) определяется формулой

$$\vartheta_2 = \sqrt{\frac{|\varphi(\vartheta) - \varphi(0)|}{\mu_2}},$$

а для случая (6) задается формулой

$$\vartheta_1 = \sqrt{\frac{a_2|\chi(\vartheta_1) - \chi(0)|}{a_1\mu_2}}.$$

Заметим, что предложенный алгоритм предполагает одновременное вращение пробок на реакторе.

Рассмотрим аналогичную задачу для реактора БН-800. Введем обозначения. Пусть R_1 – радиус диска – большой пробки, O_1 – геометрический центр большой пробки, который все время остается неподвижным. Большая пробка имеет эксцентричный круговой вырез радиуса R_2, внутри которой помещена средняя пробка – диск радиуса R_2, геометрический центр O_2, которой во время движения остается неподвижным относительно большой пробки. Средняя пробка имеет эксцентричный круговой вырез радиуса R_3, внутри которой помещена малая пробка – диск радиуса R_3, геометрический центр O_3, которой во время движения остается неподвижным относительно средней пробки (см. рис. 3).

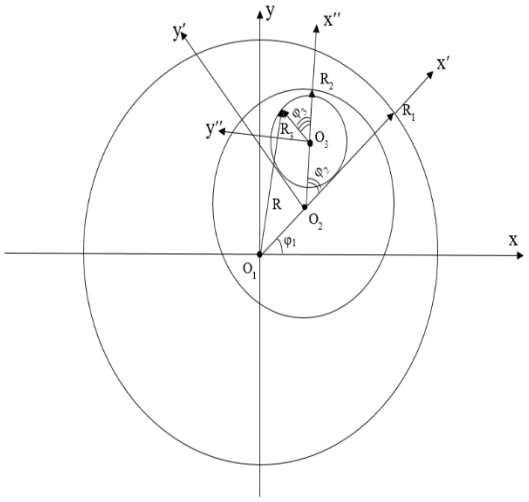


Рис. 3. Схема механизма перегрузки реактора БН-800.

При описании взаимодействия пробок пренебрегаем силами трения. Движение механической системы является плоским. Математическая модель для механизма перегрузки с тремя пробками имеет следующий вид

$$J_1\ddot{\varphi}_1 + J_2(\ddot{\varphi}_1 + \ddot{\varphi}_2) + J_3(\ddot{\varphi}_1 + \ddot{\varphi}_2 + \ddot{\varphi}_3) +$$
$$+m_2(e_2^2\ddot{\varphi}_1 + e_2 a\cos(\varphi_2 + \alpha)(2\ddot{\varphi}_1 + \ddot{\varphi}_2) -$$
$$-e_2 a\sin(\varphi_2 + \alpha)(2\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2)\dot{\varphi}_2 +$$
$$+m_3(e_2^2\ddot{\varphi}_1 + e_3^2(\ddot{\varphi}_1 + \ddot{\varphi}_2) + e_2 e_3\cos(\varphi_2)\times$$
$$\times(2\ddot{\varphi}_1 + \ddot{\varphi}_2) - e_2 e_3\sin(\varphi_2)(2\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2)\dot{\varphi}_2) = u_1,$$

$$J_2(\ddot{\varphi}_1 + \ddot{\varphi}_2) + J_3(\ddot{\varphi}_1 + \ddot{\varphi}_2 + \ddot{\varphi}_3) +$$
$$+m_2 e_2 a(\cos(\varphi_2 + \alpha)\ddot{\varphi}_1 + \sin(\varphi_2 + \alpha)\dot{\varphi}_1^2) +$$
$$+m_3\left(e_3^2(\ddot{\varphi}_1 + \ddot{\varphi}_2) + e_2 e_3\left(\cos(\varphi_2)\ddot{\varphi}_1 + \sin(\varphi_2)\dot{\varphi}_1^2\right)\right) = u_2,$$
$$J_3(\ddot{\varphi}_1 + \ddot{\varphi}_2 + \ddot{\varphi}_3) = u_3. \qquad (7)$$

В качестве обобщенных координат выбираем угол поворота большой пробки – φ_1, угол поворота средней пробки - φ_2, по отношению к большой пробке и угол поворота малой пробки – φ_3, по отношению к средней пробке. Обобщенные силы являются управляющими моментами u_1, u_2, и u_3, приложенными к большой, средней и

малой пробкам соответственно.

Заметим, что математическая модель в случае трех вращающихся пробок является существенно более сложной, чем модель для двух вращающихся пробок. В связи с этим не удалось получить оптимального решения в предположении, что все три пробки могут вращаться одновременно.

Был рассмотрен вариант задачи, когда пробки вращаются последовательно. Согласно (7), если вращается только *i*–ая пробка, то уравнение движения будет иметь вид

$$J_i^*\ddot{\varphi}_i = u_i, i = 1,2,3. \quad (8)$$
$$J_1^* = J_1 + J_2 + J_3 + m_2 e_2^2 + 2e_2 a\cos(\varphi_2 + \alpha) +$$
$$+m_3\left(e_2^2 + e_3^2 + e_2 e_3\cos(\varphi_2)\right),$$
$$J_2^* = J_2 + J_3 + m_3 e_3^2,$$
$$J_3^* = J_3.$$

Согласно [18, 19], оптимальное время для разворота одной *i*–й пробки на угол $\Delta\varphi_i$ задается величиной

$$\theta_i = 2\sqrt{\frac{J_i}{\mu_i}|\Delta\varphi_i|}, i = 1,2,3.$$

Тогда суммарное время на последовательный разворот трех пробок задается величиной

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 2\sqrt{\frac{J_1}{\mu_1}|\Delta\varphi_1|} + \quad (10)$$
$$+2\sqrt{\frac{J_2}{\mu_2}|\Delta\varphi_2|} + 2\sqrt{\frac{J_3}{\mu_3}|\Delta\varphi_3|}.$$

При этом величины $\Delta\varphi_i$ (i=1,2,3) связаны ограничениями

$$\begin{cases} x = R_3\cos(\varphi_{10} + \varphi_{20} + \varphi_{30} + \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 + \Delta\varphi_3) + \\ +e_3\cos(\varphi_{10} + \varphi_{20} + \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2) + e_2\cos(\varphi_{10} + \Delta\varphi_1), \\ y = R_3\sin(\varphi_{10} + \varphi_{20} + \varphi_{30} + \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 + \Delta\varphi_3) + \\ +e_3\sin(\varphi_{10} + \varphi_{20} + \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2) + e_2\sin(\varphi_{10} + \Delta\varphi_1). \end{cases} \quad (11)$$

В результате мы получили задачу нелинейного программирования: требуется минимизировать функционал (10) при ограничениях (11).

Задача минимизации функционала (10) при ограничениях (11) решалась численно. Из (11) следует, что фактически $\Delta\varphi i$ (i=1,2) зависят от $\Delta\varphi 3$. Ниже приведены графики зависимостей θ от $\Delta\varphi 3$. Создано программное обеспечение, позволяющее находить решение задачи (10)-(11).

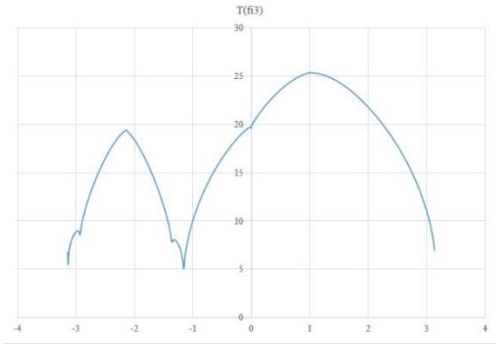


Рис. 4. Граничные условия для задачи, решение которой приведено на рисунке, следующие: x=0.4; y=0.6; φ_{10}=1; φ_{20}=1; φ_{30}=-1.

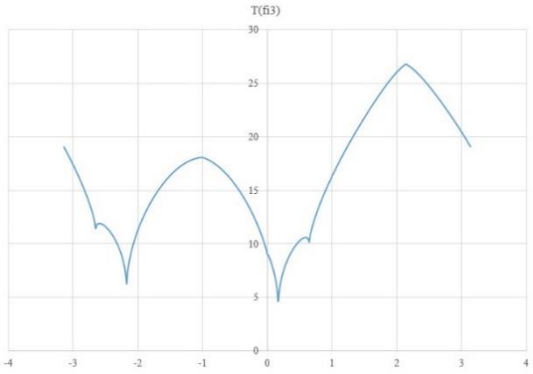


Рис. 5. Граничные условия для задачи, решение которой изображено на рисунке, следующие: x=0.5; y=0.5; φ_{10}=-1; φ_{20}=1; φ_{30}=1 .

Заключение

Для задачи наискорейшего наведения захвата механизма перегрузки топлива для реактора БН-600 предложен оптимальный алгоритм. Для реактора БН-800 в предположении, что пробки могут вращаться только последовательно, также предложен оптимальный по времени алгоритм наведения. Применение предложенных алгоритмов будет способствовать сокращению времени перегрузки ядерного топлива. А это, в свою очередь приведет к сокращению времени простоя энергоблока, остановленного на перегрузку ядерного топлива.

Список литературы

1. Shcheklein S.E., Tashlykov O.L., Dubinin A.M. Improving the energy efficiency of NPP / S.E. Shcheklein, O.L. Tashlykov, A.M. Dubinin // Izv. Vuzov Yad. Energ., 2015. – Vol. 4. – P. 15 – 25.
2. Tashlykov O. O. Ecological foresight in the nuclear power of XXI / O. Tashlykov, S. Shcheklein, Y. No-

sov, O. Smyshlaeva // International journal of energy production and management. 2016. – Vol. 1. No. 2. – Pp. 133 – 140.
3. Tashlykov O.L. Development of Methods for Route Optimization of Work in Inhomogeneous Radiation Fields to Minimize the Dose Load of Personnel / O.L. Tashlykov, A.N. Sesekin, A.G. Chentsov and A.A. Chentsov. // Energies. – 2022. – Vol. 15, 4788.
4. Tashlykov O.L. Reducing the Exposure Dose by Optimizing the Route of Personnel Movement When Visiting Specified Points and Taking into Account the Avoidance of Obstacles / O.L. Tashlykov, A.M. Grigoryev, Y.A. Kropachev. // Energies. – 2022. – Vol. 15, 8222.
5. Dolgii, Y.F., Sesekin, A.N., Tashlykov, O.L., Zaynullina, E.Z. Optimal control of the fuel reload mechanism // IFAC-PapersOnLine 2018 51(32), с. 636-641
6. Коробкин В.В. Методы маршрутизации и их приложения в задачах повышения безопасности и эффективности эксплуатации атомных станций/ В.В. Коробкин, А.Н. Сесекин, О.Л. Ташлыков, А.Г. Ченцов. – М.: «Новые технологии», 2012. – 234 с.
7. Альбом специализированного оборудования АЭС с серийными блоками ВВЭР-1000. М.: МХО «Интреатомэнерго», 1989. 472.с.
8. Бельтюков А.И., Карпенко А.И., Полуяктов С.А., Ташлыков О.Л., Титов Г.П., Тучков А.М., Щеклеин С.Е. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. В 2 частях. Часть 1. / Екатеринбург: УрФУ. 2013 – 548 с.
9. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е. Экологическое прогнозирование в ядерной энергетике XXI века // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2015. № 8-9 (172-173). С. 50-58
10. Справочник по ядерной энерготехнологии: пер. с англ./ Ф. Ран, А. Адамантиадес, Дж. Кентон, Ч. Браун; под ред. В.А. Легасова. М.: Энергоатомиздат, 1989.
11. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Шарифянов Е.В. Инновационное направление развития ядерной энергетики в России и мире (Экологическая приемлемость ядерной энергетики XXI века) // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2020. № 28-30 (350-352). С. 47-56.
12. Ашурко Ю.М. Инновационные реакторные технологии 4-го поколения и текущее состояние их развития в рамках международного форума «ПОКОЛЕНИЕ-IV» / Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики // Доклады XI международной конференции – Москва: АО «Концерн Росэнергоатом», 2018. с.462-468
13. Айдемиров О.А. Вопросы топливоиспользования в период перехода энергоблоков с ВВЭР-1000 на 18-ти месячные топливные кампании с учётом эксплуатации на мощности 104% номинальной / Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики // Сборник докладов восьмой международной научно-технической конференции. М.:, ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2012. с.192-194.
14. Зверков В.В., Игнатенко Е.И. Ядерная паропроизводящая установка с ВВЭР-440. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 200 с.
15. Уолтер А. Реакторы-размножители на быстрых нейтронах / А. Уолтер, А. Рейнольдс: пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1986. 624 с.
16. Усынин Г.Б. Реакторы на быстрых нейтронах / Г.Б.Усынин, Е.В. Кусмарцев. М.: Энергоатомиздат, 1985. 288 с.
17. Ташлыков О.Л. Технологии ремонта реакторной установки: учебное пособие. -Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 114 с.
18. Dolgii Y.F. Optimal control of the fuel reload mechanism / Y.F. Dolgii, A.N. Sesekin, O.L. Tashlykov, E.Z. Zaynullina. // IFAC-PapersOnLine. 2018. Vol. 51(32), P. 636-641
19. Dolgii Y.F. Petunin A A, Sesekin A N, Tashlykov O L Optimal control of the system of coupled cylinders. / Y.F. Dolgii, A.A. Petunin, A.N. Sesekin, O.L.Tashlykov. AIP Conference Proceedings, 2018. Vol. 2048: 020007.
20. Понтрягин Л.С. Математическая теория оптимального управления. / Л.С. Понтрягин, В.Г. Болнянский, Р.Г. Гамкрелидзе, Е.Ф. Мищенко. М.: Физматгиз. 1961

References

1. Shcheklein S.E., Tashlykov O.L., Dubinin A.M. Improving the energy efficiency of NPP (2015) *Izv. Vuzov Yad. Energ*., 4, 15–25..
2. Tashlykov O., Shcheklein S., Nosov Y., Smyshlaeva O. Ecological foresight in the nuclear power of XXI century (2016) *International journal of energy production and management* Vol. 1, No. 2 pp. 133-140.
3. Tashlykov O. L., Sesekin A. N., Chentsov A. G. and Chentsov A. A. Development of Methods for Route Optimization of Work in Inhomogeneous Radiation Fields to Minimize the Dose Load of Personnel 2022 *Energies*, 15, 4788.
4. Tashlykov O.L., Grigoryev A.M., Kropachev Y.A.. Reducing the Exposure Dose by Optimizing the Route of Personnel Movement When Visiting Specified Points and Taking into Account the Avoidance of Obstacles. (2022) *Energies*, 15, 8222.
5. Dolgii, Y.F., Sesekin, A.N., Tashlykov, O.L., Zaynullina, E.Z. Optimal control of the fuel reload mechanism // IFAC-PapersOnLine 2018 51(32), с. 636-641
6. V. Korobkin, A.N. Sesekin, O.L. Tashlykov and A.G. Chentsov. Methods of routing and their appendix in problems of increase of efficiency and safety of operation of nuclear power plants. Under general editorship of I.A. Kaliaev. Moscow: Novye

Tekhnologii, 2012.
7. *Albom spezializirovannogo oborudovanija AEHS s serijnymi blocami VVER-1000* [Album of specialized equipment of nuclear power plants with serial VVER-1000 units]. M.: MCHO “Interatomenergo”, 1989. 472 p.
8. Beltyukov A. L., Karpenko A. I., Poluyaktov S. A., Tashlykov O. L., Titov G.P., Tuchkov A. M. and Scheklein S.E. Nuclear power plants with fast neutron reactors with sodium coolant: a training manual. Part 1, 2013, UrFU, Ekaterinburg
9. Tashlykov O.L., S.E.Shcheklein Ecological forecasting in the nuclear power of XXI century // *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology.* 2015. № 8-9 (172-173). P. 50-58].
10. Ran F. *Spravochnik po jadernoi energotechnologii* [Handbook of Nuclear Energy Technology]. M.: Energoatomizdat, 1989.
11. Tashlykov O.L. Innovative direction of the development of nuclear power in Russia and in the world (environmental acceptability of nuclear power of the XXI century) / O.L. Tashlykov, S.E. Shcheklein, A.V. Sharifyanov // *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology*. 2020. Vol. 28-30 (350-352). P. 47-56
12. Ashurko Yu.M. *Innovazionnye reaktornye technologii 4-go pokoleniya I tekuchee sostojanie ich razvitija v ramkach megdunarodnogo foruma “Pokolenie-IV”* [Innovative reactor technologies of the 4th generation and the current state of their development within the framework of the international forum “GENERATION-IV”] // Sbornik dokladov XI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii – M.: Konzern Rosenergoatom, 2018. c.462-468
13. Ajdemirov O.A. *Voprosy toplivoispolzovaniya v period perechoda energobloka s VVER-1000 na 18-ti mesyachnye toplivnye kompanii s uchetom expluatazii na mochshnosti 104% ot nominalnoj* [Issues of fuel use during the transition of power units from VVER-1000 to 18-month fuel campaigns, taking into account operation at 104% of the nominal power] // Sbornik dokladov X Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. M.:, Konzern Rosenergoatom, 2012. c.192-194
14. Зверков В.В., Игнатенко Е.И. Ядерная паропроизводящая установка с ВВЭР-440. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 200 с
15. Uolter A., Reinolds A. *Reaktory-razmnogiteli na bystrych neitronach* [Fast Breeder Reactors]: M.: Energoatomizdat, 1986. 624 c.
16. Usynin G.B., Kusmarzev E.V. *Reaktory na bystrych neitronach* [Fast reactors] M.: Energoatomizdat, 1985. 288 c.
17. Tashlykov O. L. *Technologii remonta reaktornij ustanovki* [Reactor plant repair technologies]. – Ekaterinburg: UGTU-UPI, 2009. 114
18. Dolgii Y.F. Optimal control of the fuel reload mechanism / Y.F. Dolgii, A.N. Sesekin, O.L. Tashlykov, E.Z. Zaynullina. // IFAC-PapersOnLine. 2018. Vol. 51(32), P. 636-641
19. Dolgii Y.F. Petunin A A, Sesekin A N, Tashlykov O L Optimal control of the system of coupled cylinders. / Y.F. Dolgii, A.A. Petunin, A.N. Sesekin, O.L.Tashlykov. AIP Conference Proceedings, 2018. Vol. 2048: 020007
20. Pontrjagin L.S. *Matematicheskaja teorija optimalnogo upravlenija* [Mathematical theory of optimal control]. M.: Fizmatgiz. 1961

УДК 621.039.5:629.561.5

Реакторная установка ритм-200 – сердце новых атомных ледоколов

Шаповаленко В.В.
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33 г.Севастополь, 299053, Россия, shapovalenkovita@rambler.ru

Статья поступила 16.02.2024 г. ; после доработки 19.02.2024 г.

Аннотация

Рассматривается конструкция реакторной установки РИТМ-200, компоновка основного оборудования в составе реактора, расположение главных циркуляционных насосов, парогенераторов, приводятся характеристики активной зоны. Дается анализ перспективности использования реакторной установки РИТМ-200 на базе современных атомных ледоколов.

Ключевые слова: реакторная установка РИТМ-200, активная зона, реактор, атомный ледокол, реактор.

The reactor plant ritm-200 is the heart of the new nuclear icebreakers

Shapovalenko V.V.
Sevastopol state university, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia,
shapovalenkovita@rambler.ru

Received 16.02.2024y. .; received in final form 19.02.2024 y.

Abstract

The design of the RITM-200 reactor plant, the layout of the main equipment in the reactor, the location of the main circulation pumps, steam generators, and the characteristics of the core are considered. The analysis of the prospects of using the RITM-200 reactor plant based on modern nuclear icebreakers is given.

Keywords: RITM-200 reactor plant, core, reactor, nuclear icebreaker, reactor.

Введение

На Балтийском заводе полным ходом идет строительство самых больших и самых мощных атомных ледоколов проекта 22220 с реакторной установкой РИТМ-200.

По этому проекту будут построены атомный ледокол «Якутия», «Чукотка», «Ленинград», «Сталинград».

Проект 22220 — серия российских двухосадочных атомных ледоколов, аббревиатура ЛК-60Я расшифровывается как: ЛедоКол мощностью 60 МВт с Ядерной силовой установкой.

Проект уникален тем, что позволяет обеспечить проход судна как на глубокой воде, так и на мелководье в руслах сибирских рек.

Таким образом, один атомный ледокол может заменить одновременно один атомный ледокол типа «Таймыр», предназначенный для прохода только по рекам и глубоководный атомный ледокол типа «Артика», спроектированный для прохода по морскому пути.

Что в итоге уменьшит общую стоимость эксплуатации атомного ледокольного флота и при этом полностью сохранит все его возможности.

Атомные ледоколы предназначены для обеспечения круглогодичного судоходства в холодных водах Арктики, покрытых толстым слоем льда, в суровых климатических условиях.

Цель и постановка задачи

Целью является анализ конструктивного исполнения реакторной установки РИТМ-200. Изучение перспективности ее использования, анализ компоновки оборудования в реакторной установке. Возможности повышения мощности реакторной установки. Перспективы ее эксплуатации на базе атомных ледоколов.

Характеристики атомного ледокола проекта 22220

Итогом разработки универсального атомного ледокола стал проект 22220 с характеристиками: длина судна по ватерлинии - 160 метров, ширина – 32 метра, осадка - 10,5 метров, минимальная рабочая осадка по поясу переменной ватерлинии - 8,5 метров.

Водоизмещение ледокола: при осадке по конструктивной ватерлинии - 33600 тонн, при минимальной осадке - 24700 тонн, суммарная мощность на валах - 60 МВт. Рассчитан на преодоление льда толщиной до 3 метров. Срок службы атомного ледокола 40 лет. [1]

Движителем судна служат три четырёхлопастных гребных винта фиксированного шага, которые приводятся в действие шестью электродвигателями суммарной мощностью 60 МВт, которые получают энергию от реакторной установки. Двигатели установлены по два на каждом из трёх валов судна.

Инновационная реакторная установка РИТМ-200 позволяет работать без перезарядки ядерного топлива 5 - 7 лет, что увеличивает эксплуатационный период судна.

Особенностью ледокола проекта 22220 является его двухосадочность, способность менять глубину осадки в процессе эксплуатации. Эта возможность реализуется за счет двойного корпуса и наличия балластных цистерн.

Для работы в качестве тяжёлого морского ледокола в цистерны набирают воду и судно увеличивает свою осадку на 1,5 метра, а для работы в неглубоких устьях рек балластную воду сливают, судно подвсплывает и работает как мелкосидящий ледокол.[2]

Характеристики реакторной установки РИТМ-200

Отличительной особенностью реакторной установки РИТМ-200 является его интегральная компоновка, то есть внутри корпуса реактора находится основное оборудование, а именно, активная зона с ТВС, над ней расположены приводы системы управления и защиты реактора, а по периметру корпуса реактора на его внутренней поверхности расположены четыре парогенератора.

Корпус реактора через короткие патрубки соединен с главными циркуляционными насосами, прокачивающими через активную зону водный теплоноситель.

Интегральная компоновка позволяет уменьшить материалоемкость и габариты реакторной установки, снижает риск разрыва трубопровода первого контура, значительно увеличивает резерв времени в запроектных авариях с течью теплоносителя 1 контура, в том числе при обесточивании.

Размеры интегрального парогенерирующего блока позволяют транспортировать его единым блоком, что облегчает монтаж и демонтаж оборудования в корпусе судна.

В корпусе применяется прямотрубный парогенератор, удельная паропроизводительность которого более чем в два раза выше эксплуатирующихся змеевиковых.

В парогенераторе трубная система выполнена из прямых трубок, сгруппированных в модули. Парогенерирующий канал состоит из двух трубок разного диаметра, между которыми образуется кольцевой канал, в который поступает рабочее тело. Греющая среда - теплоноситель, проходит снаружи и внутри трубки кольцевого канала, таким образом обеспечивается двухсторонний нагрев рабочей среды.

Первый контур выполнен герметичным с применением сварных соединений, герметичных бессальниковых насосов и герметичной сильфонной арматуры. Протяженность трубопроводов контура сокращена до минимума.

Создана уникальная конструкция тепловыделяющей сборки (ТВС) активной зоны с повышенным энергоресурсом.

В состав ТВС входят гладкостержневые твэлы с оболочкой из хромоникелевого сплава диаметром 6,9 мм, ядерным топливом повышенной ураноемкости на основе гранул интерметаллиданого урана диспергированного в силуминовую матрицу. Достоинством ядерного топлива является высокая теплопроводность и надежная работа с переменной нагрузкой.

Успешный опыт эксплуатации ядерного топлива будет реализован в атомных ледоколах нового поколения «Россия» (проект 10510).

В реакторной установке реализован инновационный комплекс систем безопасности с широким применением свойств самозащищенности

установки, систем и средств управления запроектными авариями.

Повышены показатели надежности реакторной установки: ресурс оборудования составляет 320 тыс. ч; период непрерывной работы ЯЭУ без обслуживания 26 тыс.ч.

Существенно повышена экологическая безопасность.

Таблица 1. *Характеристики реакторной установки РИТМ-200* [3]

Характеристика	Значение
Тепловая мощность РУ, МВт	2х175
Давление в 1-ом контуре, МПа	14,2
Температура на входе/выходе в реактор, ºС	277 / 313
Паропроизводительность парогенератора, т/ч	248
Габаритные размеры, м	6х13,2х15,5
Удельная мощность, кВт/т	159,1
Удельная мощность, МВт/м^2	4,42
Интервал между перегрузками активной зоны, лет	7,7 *(КИУМ=0,38)*
Срок службы незаменяемого оборудования, лет	40

Таблица 2. *Характеристики тепловыделяющей сборки активной зоны РИТМ-200* [3]

Характеристика	Значение
Количество ТВС, шт.	199
Высота активной зоны, мм	1 200 (1 650)
Энергоресурс, ТВт·ч	4,5 (7)
Кампания, эфф. ч	25 700 (40 000)
Тип топлива	Интерметаллидное (керметное)
Максимально обогащение по ^{235}U, %	до 20%
Материал оболочки твэл	42ХНМ

Заключение

Ледоколы проекта 22220 являются частью программы «Основы государственной политики страны в Арктике на период до 2035 года», они предназначены для обслуживания Северного морского пути с целью развития в северных регионах добывающей промышленности, металлургической промышленности, освоения природных ресурсов, повышения качества уровня жизни людей.

Реакторная установка РИТМ-200 рассматривается не только для работы на атомных ледоколах, но и для гражданских судов и атомных станций малой мощности плавучего и наземного базирования в единичном и модульном исполнении.

На базе реакторной установки РИТМ-200 разработана реакторная установка с повышенной мощностью РИТМ-400.

Реализация этих проектов позволит качественно повысить экономику и качество жизни в северных регионах.

Список литературы

1. http://www.rosatomflot.ru/flot/universalnyy-atomnyy-ledokol-proekta-22220/ -ссылка на материалы Атомфлот. Универсальные атомные ледоколы проекта 22220.
2. https://paluba.media/news/31214 - ссылка на материала сайта «Как устроен атомный ледокол проекта 22220
3. https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-reactors/ritm-200/- ссылка на материалы сайта «Росатом история» РИТМ-200

References

1. http://www.rosatomflot.ru/flot/universalnyy-atomnyy-ledokol-proekta-22220 / -link to Atomflot materials. Universal nuclear icebreakers of project 22220.
2. https://paluba.media/news/31214 - link to the material of the website "How to build a nuclear icebreaker of project 22220
3. https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-reactors/ritm-200 /- link to the materials of the website of Rosatom Istoria RITM-200

УДК 621.181:658.567.1

Проблемы утилизации парогенераторов выводимых из эксплуатации АЭС

Шаповаленко В.В.
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33 г.Севастополь, 299053, Россия, shapovalenkovita@rambler.ru

Статья поступила 16.02.2024г. ; после доработки 19.02.2024 г.

Аннотация

Вывод из эксплуатации АЭС и модернизация действующих АЭС потребует утилизации крупногабаритного оборудования. Рассмотрены этапы обращения с отработавшим оборудованием: демонтаж, дезактивация, транспортировка к месту переработки.

Ключевые слова: парогенератор, транспортировка, дезактивация, безопасность, материалы биологической защиты.

Problems of steam generator utilization during decommissioning of nuclear power plants

ShapovalenkoV.V.
Sevastopol state university, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia,
shapovalenkovita@rambler.ru

Received 16.02.2024y. .; received in final form 19.02.2024 y.

Abstract

Decommissioning of nuclear power plants and modernization of operating nuclear power plants will require the disposal of large-sized equipment. The stages of handling spent equipment are considered: dismantling, decontamination, ensuring safe transportation to the processing site.

Keywords: steam generator, transportation, transshipment, safety, technology, biological protection.

Введение

Основной период строительства атомных станций на территории России наблюдался с 1980 по 1985 год. Большинство из них к 2024 году работает свыше проектного срока эксплуатации, то есть больше 30 лет. Программа развития ядерной энергетики включает в себя строительство новых энергоблоков, модернизацию оборудования и систем безопасности на действующих АЭС и вывод из эксплуатации энергоблоков, отслуживших свой проектный срок. До 2040 года включительно предстоит остановить 16 энергоблоков: это все энергоблоки с реакторами РБМК на Ленинградской, Курской и Смоленской АЭС, блоки № 2, 3, 4 Билибинской АЭС с реакторами ЭГП-6, энергоблок №4 с ВВЭР-440 и №5 с ВВЭР-1000 на Нововоронежской АЭС. Итого к 2040 году будет остановлено 25 энергоблоков.

Вывод из эксплуатации объектов, содержащих реакторные установки, осуществляется по трем основным схемам: стратегия отложенного демонтажа, захоронение объекта на месте, безотлагательный вывод объекта из эксплуатации.

Стратегия отложенного демонтажа предусматривает после останова энергоблока выполнить: выгрузку ядерного топлива из активной зоны реактора, дезактивацию основного оборудования и консервацию АЭС на несколько десятков лет.

Следующая стратегия - это захоронение реакторной установки на месте площадки АЭС.

При этом нередко осуществляется фрагментация части оборудования, а вокруг наиболее радиационноопасных элементов создаются дополнительные барьеры защиты, например, бетонная оболочка вокруг реакторной установки что-то вроде саркофага. Ряд конструкций и сооружений, прежде всего неядерной части, может быть удалена с площадки.

Другая схема предусматривает безотлагательный вывод из эксплуатации. Именно этой стратегии придерживаются в России при выводе из эксплуатации энергоблоков.

Ее принципиальное отличие от схемы отложенного демонтажа состоит в исключении этапа длительной консервации. Однако и безотлагательный вывод занимает достаточно продолжительное время.

Принцип «немедленного демонтажа» подразумевает около 5 лет подготовки к ликвидации объекта и примерно 15 лет самого процесса ликвидации. Такая стратегия демонтажа позволяет использовать ресурсы оставшегося оборудования и конструкций энергоблоков для ремонта действующих энергоблоков.

Стратегия немедленного демонтажа предъявляет повышенные требования к радиационной защите и использованию для демонтажа дистанционно управляемого оборудования, подводной резки и других дорогостоящих технологий, рациональных подходов дезактивации оборудования и трубопроводов, подразумевает обращение с большими объемами радиоактивных отходов и наличие больших свободных емкостей хранилищ.

Пилотным проектом по «немедленному демонтажу» выбрана Нововоронежская АЭС. Успешный опыт вывода из эксплуатации энергоблока будет спроецирован и на другие ядерные объекты.

Цель и постановка задачи

Вывод из эксплуатации энергоблоков потребует утилизации крупногабаритного оборудования, например, парогенераторов, главных циркуляционных насосов, компенсаторов давления.

К этому количеству нужно добавить замену теплообменного оборудования на действующих АЭС с целью его модернизации или выхода из строя.

Что породит проблему утилизации большого объема отработавшего оборудования.

Потребуется решить ряд вопросов: каким способом будет произведен демонтаж оборудования, с помощью какого оборудования, какие организации будут производить данный вид работ, насколько это будет экономически выгодно и целесообразно.

Целью исследования является изучение этапов и технологий по выводу из эксплуатации крупногабаритного оборудования, в частности, парогенераторов с площадки АЭС с реакторами ВВЭР. Проработать вопросы его дезактивации, повторного рационального использования металла, обеспечения безопасной транспортировки к месту переработки.

Этапы программы производства работ по утилизации парогенераторов

Программа производства работ по извлечению парогенераторов типа ПГВ-1000 должна содержать четкий порядок действий, инструкции по демонтажу, дезактивации, транспортировке, доставке с места их размещения до места переработки, способа переработки и размещения получившегося продукта на временное хранение.

Филиалу АО «Концерн Росэнергоатом» «Опытно-демонстрационный инженерный центр по выводу из эксплуатации» (ОДИЦ) поставлена задача разработать процедуры утилизации парогенераторов реакторных установок ВВЭР, а именно, демонтаж, фрагментацию элементов ПГ, дезактивацию, обращение с радиоактивными отходами после дезактивации ПГ.

Демонтаж и фрагментация парогенераторов в боксе

Демонтаж парогенераторов в реакторном отделении по месту их размещения проводится в три этапа.

Первый этап – демонтаж трубопроводов главного циркуляционного контура, а также вспомогательных трубопроводов оборудования ПГ.

Второй этап - демонтаж ПГ со штатного места.

Третий этап - фрагментация корпуса ПГ и внутрикорпусных устройств парогенератора, извлечение сепарационных устройств, теплообменной поверхности, систем подвода питательной воды с последующим извлечением фрагментов демонтируемого оборудования через транспортные технологические проемы на участок фрагментации.

Благодаря дистанционному управлению аппаратно-технологическим комплексом дисковой и канатной резки сведено к минимуму воздействие ионизирующих излучений на персонал.

Для демонтажа оборудования применяются следующие методы: холодный – при помощи аппаратно-технологического комплекса, дисковой и канатной резки; термический – при помощи плазменной и газокислородной резки.

Дезактивация парогенераторов и переплавка металла

В рамках реализации проекта вывода из эксплуатации одной из основных задач является возвращение металла, образующегося при выполнении демонтажных работ, в промышленный оборот.

Для решения этой задачи применяется следующее оборудование и технологии: установка электрохимической дезактивации; установка ультразвуковой дезактивации; совмещенная установка ультразвуковой и электрохимической дезактивации; бокс единой установки очистки дезактивационных растворов; высоконапорные аппараты высокого давления. Дезактивация оборудования приводит к образованию больших объемов жидких радиоактивных отходов высокой и средней активности.

В текущей ситуации, с заполненными хранилищами ЯО, трудно найти место под захоронение таких крупных объектов, а влияние на экологическую обстановку может сказаться отрицательно. Учитывая данные обстоятельства, имеет смысл рассмотреть утилизацию парогенераторов методом переплавки металла в специальном сталеплавильном цехе.

Экономически утилизация и использование повторно металла оправдана, так как парогенератор содержит около 70 тонн нержавеющей стали и 250 черной стали. По оценкам ВНИИАЭС повторно возможно использование не менее 90 % металла, кроме того будут сэкономлены средства на строительство новых хранилищ твердых радиоактивных отходов.

Обращение с РАО

Для минимизации объема накопления жидких РАО, образовавшихся при дезактивации оборудования, применяется метод плазменной переработки РАО, целью которого является получить кондиционированные РАО, пригодные для транспортировки и захоронения или долгосрочного хранения.

Примененный метод обеспечивает высокие коэффициенты сокращения объема отходов, снижение объемов образующихся вторичных отходов и получение конечного продукта переработки в виде плавленого шлакового компаунда с концентрацией в нем не менее 90 % исходных радионуклидов и обладающего высокой механической прочностью и химической стойкостью к агрессивным воздействиям окружающей среды.

Транспортировка фрагментов парогенератора

Фрагментированные части парогенератора для утилизации направляются в ПАО «ЗиО-Подольск».

Транспортировка осуществляется согласно Правил перевозки опасных грузов автомобильным транспортом (Приказ Минтранса РФ от 8.0895 №73) в спецконтейнерах удовлетворяющих требованиям ГОСТ 16327-88 (Комплекты упаковочные транспортные для радиоактивных веществ).

В настоящее время на рынке существует несколько инновационных технологий, которые обеспечивают безопасную и эффективную перевозку парогенераторов АЭС.

На территории России такими уникальными технологиями по транспортировке оборудования обладает Компания SWTRANS.[1]

В её арсенале имеются и специализированный автотранспорт, способный перевозить крупногабаритное оборудование габаритами до 49 м в длину и весом до 500т, для сравнения габариты парогенератора длина 14 м, вес 300т и современные контейнеры для перевозки фрагментов парогенератора.

Одним из наиболее популярных методов является использование специализированных контейнеров и устройств для подъема груза. Эти контейнеры и устройства представляют собой комплексную систему, включающую в себя жесткую раму, усиленные стенки и приспособления для крепления парогенераторов. Благодаря этим приспособлениям и инновационным решениям для упаковки, парогенераторы могут быть надежно закреплены и защищены во время перевозки.

Основным преимуществом таких контейнеров и грузоподъемных устройств является их способность перенести высокие нагрузки безопасно и стабильно. Это особенно важно при перевозке парогенераторов, которые имеют большую массу и габариты. Кроме того, эти контейнеры обеспечивают защиту парогенераторов от воздействий окружающей среды, а также от вибраций и ударов во время транспортировки.

Биологическая защита парогенераторов при транспортировке

В ходе исследования было замечено, что обеспечение безопасной транспортировки парогенераторов также требует создания защитного слоя вокруг парогенератора, предотвращающего выход нейтронного изучения.

Для поглощения ионизирующего излучения широко применяются: боросодержащие стали, борированный полиэтилен и другие борсодержащие материалы, свинец, железобетонные конструкции с различными наполнителями – лимонитовыми и серпентинитовыми минералами.

Наиболее применимым для целей безопасной транспортировки фрагментов парогенератора является борированный полиэтилен.

В сравнении с другими материалами обладает рядом преимуществ:

1. Довольно гибкий материал, возможность упаковки фрагментов оборудования любой формы.
2. Обладает высокой износостойкостью, благодаря своей уникальной молекулярной структуре.
3. Имеет малый коэффициент трения.
4. Обладает химической коррозионной стойкостью, устойчив к воздействию серной кислоты, азотной кислоты и других сильных окислителей, щелочи, солевой среды.
5. Хорошая устойчивость к ударам, (даже при низких температурах) и к сильному разрушению.
6. Является хорошим защитным материалом от ионизирующего излучения.

Для безопасной транспортировки и обеспечения снижения ионизирующего излучения от фрагментов парогенератора следует создать вокруг них биологическую защиту из плит борированного полиэтилена.

Широкий спектр материалов с разными характеристиками из борированного полиэтилена предлагает компания «ПромБорЗащита».[2] Изготовление осуществляется по ТУ 20.16.10.111 – 012. – 27395268 – 2021. Согласно положениям этого документа, плиты состоят из высокомолекулярного полиэтилена. Минимальная концентрация бора — 3%, максимальная — 30%.

К содержанию бора в полиэтилене предъявляются следующие требования, в зависимости от марки:

3% (марка ПБ-3);
5% (марка ПБ-5);
8% (марка ПБ-8);
10% (маркаПБ-10).

На эксплуатационные характеристики плит из полиэтилена влияет его конкретный вид:

1. Полиэтилен высокого давления (ПВД) — плиты получаются прочными (предел прочности 2,45 МПа), легкими, эластичными, с низкой газо- и паропроницаемостью;
2. Полиэтилен низкого давления (ПНД) — плиты более прочные (предел прочности – 4,9 МПа) и жесткие, чем из ПВД.

Кроме того, изделия из ПНД могут эксплуатироваться при температурах до 100°С, а из ПВД — максимум до 60°С.

В результате полного соблюдения технологических процессов, на выходе получаются плиты с требуемыми механическими, физическими и химическими свойствами, гарантирующими защиту от ионизирующего воздействия нейтронов.

Таким образом, лучшим материалом для обеспечения биологической защиты парогенератора при перегрузке и транспортировки до пункта назначения является борированный полиэтилен, поскольку плиты из борированного полиэтилена, с правильно подобранными расстоянием от источника ионизирующего облучения, габаритами, концентрацией бора и некоторыми другими показателями могут как на 100% задерживать фоновое излучение и активную радиацию, так и снижать их интенсивность до безопасных для здоровья значений.

Заключение

В ходе исследования были рассмотрены основные стратегии вывода из эксплуатации энергоблоков и оборудования, рассмотрены этапы утилизации парогенераторов, изучены основные проблемы, сопровождающие данный процесс, а также предложен перечень материалов для создания биологической защиты парогенераторов и оборудование удовлетворяющее требованиям повышенной безопасности при транспортировке.

Список литературы

1. https://www.nizkoramnik.ru/proekty/pogruzka-kreplenie-i-perevozka-parogeneratora - ссылка на материалы проекта по перегрузке парогенератора компанией SWTRANS.
2. https://prombor.ru/sfery-ispolsovania-bolirpo-liet.html - ссылка на сайт компании «ПромБорЗащита».
3. Лукасевич Б.И. Парогенераторы реакторных установок ВВЭР для атомных электростанций/ Н.Б. Трунов, Ю.Г. Драгунов, С.Е. Давиденко –

М.: ИКЦ «Академкнига», 2004.- 391с.

References

1. https://www.nizkoramnik.ru/proekty/pogruzka-kreplenie-i-perevozka-parogeneratora - Link to the materials of the project on reloading the steam generator by SWTRANS.
2. https://prombor.ru/sfery-ispolsovania-bolirpo-liet.html - Link to the website of Promborzashita company.
3. Lukasevich B.I. Steam generators of VVER reactor installations for nuclear power plants/ N.B. Trunov, Yu.G. Dragunov, S.E. Davidenko –M.: ICTS "Akademkniga", 2004. - 391s.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (В ЭНЕРГЕТИКЕ)

УДК 621.039.5:699.841:624.042.8

Исследование методов логической обработки информации в модулярной системе счисления для информационной безопасности

Е.А. Контылева[1]

[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, eakontyleva@sevsu.ru

Статья поступила 15.01.2024 г.; после доработки 17.01.2024 г.

Аннотация

В статье исследуются методы логической обработки информации в модулярной системе счисления для применения в информационной безопасности.

Ключевые слова: модулярная арифметика, системы счисления, логическая обработка информации.

Research of methods of logical information processing in the modular number system for information security

E.A. Kontyleva[1]

[1]Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, eakontyleva@sevsu.ru

Received 15.01.2024 y.; received in final form 17.01.2024 y.

Abstract

The article examines the methods of logical information processing in the modular number system for use in information security.

Keywords: modular arithmetic, number systems, logical processing of information.

Введение

Модулярная система счисления представляет собой способ представления чисел, использующий остатки от деления числа на заданное основание. Эта система нашла широкое применение в различных областях, включая информационную безопасность [8].

Актуальность исследования методов логической обработки информации в модулярной системе счисления в информационной безопасности обусловлена несколькими факторами.

Прежде всего, модулярная арифметика широко используется в криптографии. Криптографические алгоритмы [7], такие как RSA или симметричное шифрование, основаны на сложности обратной задачи – факторизации больших чисел. Модулярные операции оперируют с остатками, что делает их механизмами для манипулирования большими числами эффективными. Исследование методов логической обработки информации в модулярной системе счисления позволяет разрабатывать более надежные криптографические алгоритмы и протоколы.

Во-вторых, модулярные операции могут быть использованы для обеспечения целостности данных и аутентификации. Например, хеширование данных в модулярной системе счисления может помочь обнаружить любые изменения в данных, даже незначительные. Это позволяет обеспечить целостность передаваемой информации и проверить, не были ли данные изменены

или повреждены.

Третья причина актуальности исследования методов логической обработки информации в модулярной системе счисления заключается в безопасности передачи данных. Для обеспечения конфиденциальности информации, передаваемой по открытым каналам, используются различные методы шифрования. Модулярные операции могут использоваться для шифрования и дешифрования данных, обеспечивая безопасную передачу информации.

Таким образом, исследование методов логической обработки информации в модулярной системе счисления имеет большую актуальность в информационной безопасности. Эти методы позволяют усовершенствовать криптографические алгоритмы, обеспечивать целостность данных и безопасность передачи информации.

Модулярные системы счисления являются эффективным инструментом для обработки информации в различных приложениях, включая вычислительные системы, криптографию и сетевые протоколы. Одним из важных аспектов модулярных систем счисления является логическая обработка информации [10].

Постановка задачи

В данной статье рассматриваем и исследуем методы логической обработки информации в модулярной системе счисления для применения в информационной безопасности (криптография, сетевые протоколы, приложения).

Проведенные исследования

Модулярная система счисления представляет собой систему, в которой числа представлены в виде остатков от деления на заданное число, называемое модулем. Например, в модулярной системе счисления по модулю 5, числа 1, 6, 11 и т.д. будут представлены как 1, 1, 1 и т.д. Модуль определяет количество доступных значений для каждой позиции числа [6].

В модулярной системе счисления, логические операции, такие как сложение, вычитание, умножение и деление, выполняются над числами в виде остатков. Например, для выполнения сложения по модулю 5, необходимо сложить остатки двух чисел и взять остаток от деления полученной суммы на 5. Аналогично, вычитание, умножение и деление также выполняются над остатками.

Модулярная арифметика – это раздел арифметики, который изучает операции с числами по модулю некоторого целого числа, называемого модулем.

Модулярная арифметика является важным инструментом в криптографии и вычислениях на компьютере. В криптографии, модулярная арифметика используется для защиты информации и создания криптографических ключей. В вычислениях на компьютере, модулярная арифметика позволяет эффективно работать с большими числами, не требуя большого объема памяти [1].

Основные операции в модулярной арифметике это сложение, вычитание, умножение и деление. При выполнении этих операций необходимо учесть «ограниченность» чисел по модулю, что ведет к некоторым специфическим свойствам. Например, сумма или умножение чисел по модулю будет иметь результат также по модулю [9].

Одно из основных применений модулярной арифметики – это работа с хэш-функциями, такими как MD5 или SHA-256, которые используются для проверки целостности данных и безопасного хранения паролей. В этих случаях, модуль обычно является большим простым числом, и модулярная арифметика помогает упростить вычисления и обеспечить безопасность системы [3].

Другим применением модулярной арифметики является алгоритм RSA, который используется для шифрования и подписи сообщений. Здесь модуль и модулярная арифметика играют ключевую роль в процессе шифрования и расшифровки данных. Модулярная арифметика также находит применение в теории чисел, алгоритмах дискретного логарифмирования, алгоритмах быстрого возведения в степень и многих других задачах [5].

Существует несколько методов логической обработки информации в модулярной системе счисления. Один из таких методов - "метод редукции".

Метод редукции заключается в замене числа на его остаток при делении на модуль. Например, при сложении двух чисел по модулю, вычисляется сумма этих чисел, а затем берется остаток от деления на модуль. Таким образом, результат операции будет лежать в диапазоне от 0 до модуля. Это позволяет упростить вычисления и сократить использование памяти.

Этот метод используется для сокращения емкости модулярной системы счисления путем замены ряда модулей одним более маленьким модулем, что позволяет упростить вычисления и улучшить производительность, но может снизить безопасность.

Суть метода заключается в приведении чисел к их минимальным положительным представлениям по модулю. Для этого, при выполнении логических операций над числами в модулярной системе счисления, используются так называемые конгруэнтности (congruences). Конгруэнция определяется как равенство остатков двух чисел при делении на модуль.

Например, можно написать $a \equiv b \pmod n$, где a и b - числа, n - модуль. Если a и b имеют один и тот же остаток при делении на модуль n, то они считаются конгруэнтными. Метод редукции позволяет сократить размер чисел и выполнить логические операции более эффективно. Например, в модулярной системе счисления по модулю 5, числа 6 и 11 можно редуцировать до чисел 1, поскольку они имеют один и тот же остаток 1.

Таким образом, метод редукции позволяет сократить количество возможных значений и упростить обработку данных.

Достоинства метода редукции:

- упрощение вычислений и алгоритмов обработки информации;
- повышение производительности и снижение затрат ресурсов;
- может быть полезным для определенных типов задач и систем, где требуется высокая скорость обработки.

Недостатки метода редукции:

- ограничение емкости системы и возможных значений;
- возможное снижение безопасности данных;
- требует тщательного подбора редуцирующих модулей для совместимости с другими системами и алгоритмами.

Другим методом является "метод расширения".

Метод расширения, наоборот, позволяет работать с числами, превышающими модуль. Он используется, когда требуется выполнить операции с большими числами по модулю без потери точности. Например, при умножении двух чисел по модулю, числа сначала умножаются, а затем берется остаток от деления на модуль.

Однако, если результат умножения превышает модуль, происходит расширение числа путем умножения его на модуль и добавления остатка. Это позволяет сохранить точность вычислений и работать с большими числами.

Метод расширения используется для увеличения емкости модулярной системы счисления путем добавления новых модулей. Это позволяет увеличить количество представляемой информации и повысить безопасность данных.

Данный метод предполагает увеличение размера чисел для избежания переполнения при выполнении логических операций. Сначала числа расширяются до более большего размера путем дублирования или добавления нулей в их представления. Затем, логические операции выполняются над расширенными числами, и результат сокращается до исходного размера. Например, при выполнении умножения по модулю 5 двух чисел 3 и 4, можно расширить их до 13 и 14 соответственно (добавив нули в конец их бинарного представления), выполнить умножение 13 и 14, а затем сократить результат до остатка от деления на 5 [4].

Таким образом, метод расширения позволяет представлять больше значений и увеличивает емкость системы.

Достоинства метода расширения:

- увеличение емкости системы, что позволяет представлять больше информации;
- увеличение безопасности данных и сводит к минимуму возможность перебора значений;
- легко реализуется в практике и имеет широкий спектр применений.

Недостатки метода расширения:

- увеличение сложности вычислений и алгоритмов обработки информации;
- требуется большее количество ресурсов для хранения и обработки данных;
- не всегда эффективен и может быть избыточен в определенных областях применения.

Оба метода имеют свои преимущества и недостатки.

Метод редукции позволяет уменьшить размер чисел и выполнить операции быстрее, но требует дополнительных вычислений для приведения чисел к минимальным положительным представлениям. Метод расширения позволяет избежать переполнения и обеспечивает точные результаты, но требует большего объема памяти и может замедлять выполнение операций [2].

Метод расширения и метод редукции имеют разные подходы и цели. Метод расширения ставит целью увеличение емкости системы и ее безопасности, тогда как метод редукции целью имеет упрощение вычислений и повышение производительности.

Исследование этих методов логической обработки информации в модулярной системе счисления является важной задачей, которая помогает оптимизировать процессы обработки информации и разрабатывать новые алгоритмы для эффективной работы с модулярными системами счисления.

Заключение

Исследование методов логической обработки информации в модулярной системе счисления является важной задачей, которая помогает повысить эффективность обработки информации в различных приложениях. Методы редукции и расширения позволяют выполнить логические операции над числами в модулярной системе счисления для информационной безопасности более эффективно. Продолжение исследований в этой области может привести к новым методам и алгоритмам для обработки информации в модулярных системах счисления.

Список литературы

1. Чернов В. М. Системы счисления в модулярных кольцах и их приложения к "безошибочным" вычислениям. Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 5. – С. 901-911.
2. Анализ применения цифровых демодуляторов в модулярной системе счисления / Р. Н. Андреев, В. П. Ирхин, М. Ю. Чепелев, А. Е. Плотников // Техника и безопасность объектов уголовно-исполнительной системы : сборник материалов Международной научно-практической конференции : в 2 т., Воронеж, 20–21 мая 2020 года. Том 1. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2020. – С. 414-418.
3. Коляда А. А. Модулярная интерпретация сообщений в системах защиты информации / А. А. Коляда, С. Ю. Протасеня, Н. И. Червяков // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – Т. 13, № 3. – С. 235-245.
4. Мельник В. А. Особенности построения устройств для аддитивных операций модулярной арифметики. Вестник Воронежского института ФСИН России. – 2022. – № 3. – С. 87-91.
5. Васин Л. А. Организация потокового аппаратного кодировщика данных с использованием модулярной арифметики. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2019. – Т. 8, № 1(45). – С. 44-47.
6. Магомедов, Ш. Г. Процедура преобразования чисел из одной системы счисления остаточных классов в другую, учитывающая всевозможные отличия / Ш. Г. Магомедов // Научно-методический электронный журнал "Концепт". – 2015. – № Т13. – С. 1291-1295.
7. Амербаев, В. М. Модулярная логарифметика - новые возможности для проектирования модулярных вычислителей и преобразователей / В. М. Амербаев, А. И. Корнилов, А. Л. Стемпковский // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2010. – № 1. – С. 368-373.
8. Барсов В. И., Краснобаев В. А., Контылева Е. А. Исследование методов логической обработки информации в модулярной системе счисления //Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2012. – №. 1. – С. 120-125.
9. Малашевич Д. Б. Перспективные альтернативные системы счисления, применяемые в вычислительной технике. Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. – 2006. – № 1. – С. 83-87.
10. Амербаев В. М. Модулярная логарифметика - новые возможности для проектирования модулярных вычислителей и преобразователей / В. М. Амербаев, А. И. Корнилов, А. Л. Стемпковский // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2010. – № 1. – С. 368-373.

References

1. Chernov V. M. Number systems in modular rings and their applications to "error-free" calculations / V. M. Chernov // Computer optics. – 2019. – vol. 43, No. 5. – pp. 901-911.
2. Analysis of the use of digital demodulators in the modular number system / R. N. Andreev, V. P. Irkhin, M. Yu. Chepelev, A. E. Plotnikov // Technique and safety of objects of the penal system : collection of materials of the International Scientific and Practical Conference : in 2 volumes, Voronezh, May 20-21, 2020. Volume 1. – Voronezh: Publishing and printing Center "Scientific Book", 2020. – pp. 414-418.
3. Kolyada A. A. Modular interpretation of communications in information security systems / A. A. Kolyada, S. Y. Protasenya, N. I. Chervyakov // Infocommunication technologies. – 2015. – vol. 13, No. 3. – pp. 235-245.
4. Melnik V. A. Features of constructing devices for additive operations of modular arithmetic / V. A. Melnik // Bulletin of the Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia. - 2022. – No. 3. – pp. 87-91.
5. Vasin L. A. Organization of a streaming hardware data encoder using modular arithmetic / L. A. Vasin // XXI century: results of the past and problems of the present plus. – 2019. – Vol. 8, No. 1(45). – pp. 44-47.
6. Magomedov, Sh. G. The procedure for converting numbers from one number system of the remaining classes to another, taking into account all possible differences / Sh. G. Magomedov // Scientific and methodological electronic journal "Concept". – 2015. – No. T13. – pp. 1291-1295.
7. Amerbayev, V. M. Modular logarithmetics - new opportunities for designing modular calculators and converters / V. M. Amerbayev, A. I. Kornilov, A. L. Stempkovsky // Problems of developing promising micro- and nanoelectronic systems (MES). - 2010. – No. 1. – pp. 368-373.
8. Barsov V. I., Krasnobaev V. A., Kontyleva E. A. in-

vestigation of methods of logical processing of information in the modular system of counting //Science and technology of Air Forces of the Armed Forces of Ukraine. – 2012. – №. 1. - pp. 120-125.
9. Malashevich, D. B. Promising alternative number systems used in computer technology. Defense complex - scientific and technical progress of Russia. - 2006. – No. 1. – pp. 83-87.
10. Amerbaev V. M. Modular logarithmetics - new opportunities for designing modular calculators and converters / V. M. Amerbaev, A. I. Kornilov, A. L. Stempkovsky // Problems of developing promising micro- and nanoelectronic systems (MES). - 2010. – No. 1. – pp. 368-373.

УДК 621.039.5:699.841:624.042.8

Разработка методики огибающей допплеровского сигнала для идентификации человека без визуального контакта с ним

Е.А. Контылева[1]
[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, eakontyleva@sevsu.ru

Статья поступила 17.01.2024 г.; после доработки 19.01.2024 г.

Аннотация
В статье предлагается методика использования огибающей допплеровского сигнала для идентификации человека. Описывается процесс разработки, оптимизации и анализа данной методики, а также результаты экспериментов, подтверждающие ее эффективность и точность.

Ключевые слова: радарная технология, доплеровский сигнал, вейвлеты, скалограмма.

Development of a Doppler signal envelope technique for identifying a person without visual contact with him

E.A. Kontyleva[1]
[1]Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, eakontyleva@sevsu.ru

Received 17.01.2024 y.; received in final form 19.01.2024 y.

Abstract
The article proposes a technique for using the envelope of the Doppler signal to identify a person. The process of developing, optimizing and analyzing this technique is described, as well as experimental results confirming its effectiveness and accuracy.

Keywords: radar technology, Doppler signal, wavelets, scalogram.

Введение

Идентификация человека без необходимости визуального контакта имеет большое практическое значение для различных областей, включая безопасность, медицину и технологии управления [1].

Существующие методы идентификации, такие как биометрические системы, часто требуют прямого контакта с человеком или его активного участия.

В связи с этим проблема идентификации человека без визуального контакта с ним практически не решена.

Один из важных способов защиты информации - автоматическое выявление и распознавание человека без визуального контакта. Главная задача обеспечения защиты информации заключается в создании оптимальных условий, которые сделают труднее или даже невозможным проникновение злоумышленников к защищенным данным.

В Федеральном законе № 149-ФЗ даны основные термины, информация, хранитель информации, требования к защите информации и ответственность за нарушения при работе с ней [1].

Постановка задачи

В данной статье предлагается новый подход, основанный на анализе огибающей допплеровского сигнала, который позволяет идентифицировать человека без визуального контакта.

Методика огибающей допплеровского сигнала для идентификации человека основана на использовании радарной технологии. Система радара излучает электромагнитные волны, которые отражаются от объектов в своем радиусе действия. При движении человека происходит изменение частоты сигнала, что позволяет получить допплеровский сигнал. При анализе самого допплеровского сигнала сложно провести точную идентификацию человека [3]. Таким образом, предлагается анализировать огибающую допплеровского сигнала, которая представляет собой амплитудную модуляцию самого сигнала. Огибающая содержит дополнительную информацию о человеке, такую как его физиологические особенности и характер движения.

Проведенные исследования

В процессе разработки методики огибающей допплеровского сигнала для идентификации человека были проведены следующие шаги:

1. Определение необходимой аппаратной и программной конфигурации системы радара. На этом этапе была проведена выборка и оптимизация параметров используемого радарного оборудования, а также выбор программного обеспечения для сбора и обработки сигналов.
2. Сбор данных и измерение допплеровского сигнала при движении человека. С помощью выбранного радарного оборудования были собраны данные о допплеровском сигнале при различных типах движения человека, включая ходьбу, бег и другие действия.
3. Разработка алгоритма обработки сигнала для получения огибающей допплеровского сигнала. На этом этапе был разработан алгоритм, преобразующий допплеровский сигнал в его огибающую. Для этого применяются методы обработки сигналов, включая математическое фильтрование и применение материнских вейвлетов, таких как: Морле, Добеши и Хаар.

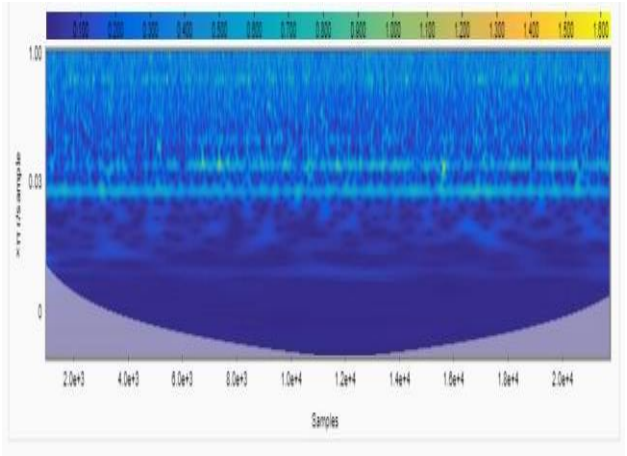
Вейвлет-преобразование позволяет разложить сигнал на различные частоты и временные масштабы, что важно для анализа огибающей сигнала. Проведены эксперименты с различными вейвлетами для нахождения наиболее эффективного варианта для данной задачи по идентификации человека [2].

Алгоритм обработки сигнала для получения огибающей, основанный на использовании скалограмм состоит из:

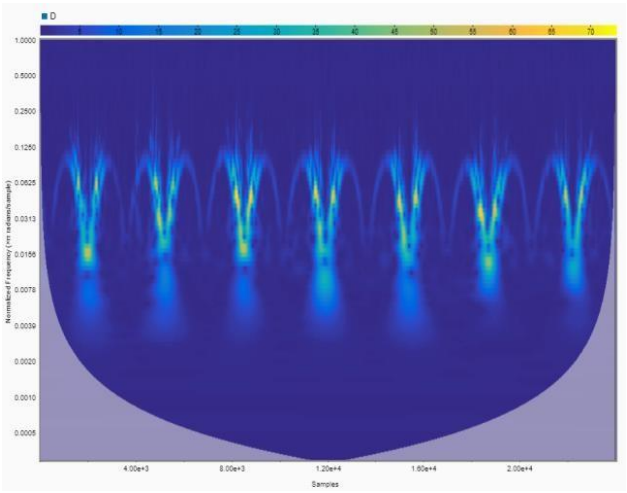
- предварительной обработки сигнала. Сначала необходимо применить фильтрацию сигнала для удаления шумов. Это может быть выполнено с использованием различных фильтров, таких как низкочастотные фильтры или медианные фильтры;
- вычисление преобразования для получения скалограммы. Для получения скалограммы используется метод, называемый непрерывным вейвлет-преобразованием (Continuous Wavelet Transform (CWT)). CWT представляет сигнал в виде временной и частотной зависимостей, и отображает его на двумерной плоскости [1];
- анализ скалограммы. Необходим для выделения характерных особенностей сигнала. Это включает в себя поиск локальных максимумов или пиков на скалограмме, выделение репрезентативных частотных компонентов, а также определение амплитуд и фаз этих компонентов;
- извлечение огибающей. После анализа скалограммы необходимо извлечь огибающую путем агрегации особенностей, выделенных на предыдущем шаге. Используются различные методы такие, как нахождение локальных экстремумов или использование фильтров низких частот для размытия огибающей и сглаживания высокочастотных компонентов;
- обработка огибающей. Полученная огибающая дополнительно обрабатывается для улучшения качества. Применяются фильтры низких или высоких частот для удаления нежелательных шумов или выделения более важных временных компонентов [4].

Полученные скалограммы позволяют визуализировать результаты алгоритма обработки сигнала и оценить качество и точность полученной огибающей. Скалограммы представляются в виде 2D-изображений, где ось X соответствует времени, а ось Y – частоте. Можно использовать различные цветовые маппинги и градации, чтобы выделить особенности сигнала на скалограмме.

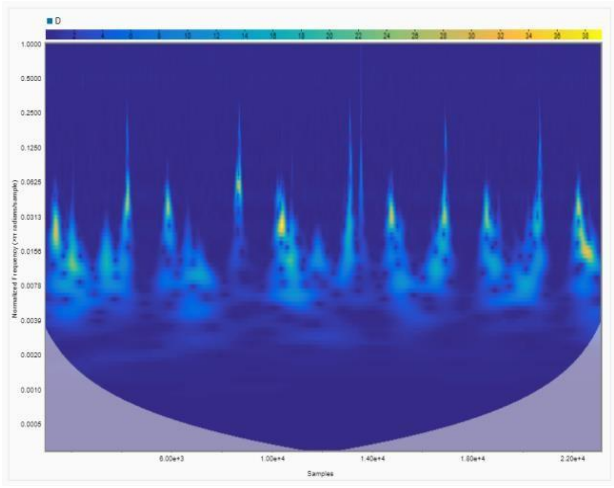
Проведенные эксперименты показали, что предложенная методика обладает высокой эффективностью и точностью. Были собраны и проанализированы огибающие допплеровских сигналов различных людей, и разработанный алгоритм позволил успешно идентифицировать каждого человека в базе данных. Различные материнские вейвлеты также сравнивались, и определено, что оптимальным выбором для данной методики является вейвлет Морле.



а)



б)



в)

Рис. 1. Скалограммы:
а) отсутствие движения; б) приближение (удаление);
в) жесты руками

Заключение

В данной статье была представлена методика огибающей допплеровского сигнала для идентификации человека без визуального контакта. Разработанная методика показала высокую эффективность и точность в идентификации людей на основе допплеровского сигнала. Материнские вейвлеты, включая вейвлет Морле, были успешно применены в алгоритме обработки сигнала для получения огибающей. Дальнейшие исследования и улучшения данной методики будут способствовать ее более широкому внедрению и использованию.

Список литературы

1. Контылева Е.А., Авдеев И.В. Разработка метода классификации огибающей доплеровского сигнала // Энергетические установки и технологии. – 2023. – Т. 9. № 1. –С. 160-164.
2. Астахов Н. В. и др. Частотно-временной анализ нестационарных сигналов методами вейвлет-преобразования и оконного преобразования Фурье //Радиотехника. – 2019. – Т. 83. – №. 6. – С. 109-112.
3. Крючков И. В. и др. Пространственно-спектральная обработка в mimo рлс малой дальности с цифровым обзором по углу места //Радиолокация и радиосвязь. – 2020. – С. 119-123.
4. Кошелев, В. И. "Методы и алгоритмы цифрового спектрального анализа сигналов." (2021): 144-144.
5. Травин, М.Г. Вейвлеты для инженеров [Текст] // М.Г. Травин, В.М. Терешко, Г.А. Травин – Белгород: Политерра – 2007. – С. 156-160
6. Одиноченко Н.М. Использование алгоритмов быстрого преобразования Фурье и адаптивного взвешивания при обработке радиолокационных сигналов
7. Сайфуллин, Р.Т. Вейвлет-анализ в обработке сигналов аналитических приборов [Текст] // Р.Т. Сайфуллин, А.А. Наумов / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т.1, №1(2). – С. 2-5.
8. Асшатов, Р.А. Обоснование выбора материнского вейвлета непрерывного вейвлет-преобразования для анализа речевых сигналов [Текст] / Р.А. Асшатов, А.Н Голубинский. // Наука и современность: сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции: Новосибирск, – 2012. – №2. – С. 3-6.

References

1. Kontyleva E.A., Avdeev I.V. Development of a method for classifying the envelope of a Doppler signal // Power plants and technologies. – 2023. –

Vol. 9. No. 1. – pp. 160-164.
2. Astakhov N. V. et al. Time-frequency analysis of non-stationary signals by methods of wavelet transform and window Fourier transform //Radio engineering. – 2019. – Vol. 83. – No. 6. – pp. 109-112.
3. Kryuchkov I. V. et al. Spatial-spectral processing in mimo of a short-range radar with a digital view of the angle of the place //Radar and radio communication. – 2020. – pp. 119-123.
4. Koshelev, V. I. "Methods and algorithms of digital spectral analysis of signals." (2021): 144-144.
5. Travin, M.G. Wavelets for engineers [Text] // M.G. Travin, V.M. Tereshko, G.A. Travin – Bel-city: Polyterra – 2007. – pp. 156-160
6. Odinenko N.M. The use of algorithms for fast Fourier transform and adaptive weighting in the processing of radar signals
7. Sayfullin, R.T. Wavelet analysis in signal processing of analytical instruments [Text] // R.T. Sayfullin, A.A. Naumov / Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2016. – Vol.1, No. 1(2). – pp. 2-5.
8. Asshatov, R.A. Substantiation of the choice of a material wavelet of a continuous wavelet transform for the analysis of speech signals [Text] / R.A. Asshatov, A.N. Golubinsky. // Science and Modernity: collection of materials of the XIX International Scientific and Practical Conference: Novosibirsk, - 2012. – No.2. – pp. 3-6.

УДК 004.67

Интегрированные системы безопасности – способы интеграции и возможности

А.Н. Фролова
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33,г. Севастополь, 299053, Россия, ANFrolova@sevsu.ru

Статья поступила 12.02.2024 г.; после доработки 16.02.2024 г.

Аннотация

В порядке обсуждения рассматривается способы интеграции и возможности интегрированных систем безопасности. Приведены преимущества и недостатки централизованных и распределенных интегрированных систем безопасности. В результатах приведены преимущества применения интегрированных систем безопасности.

*Ключевые слова:*интегрированная система безопасности, централизованные системы, распределенные системы

Integrated security systems – integration methods and capabilities

A.N. Frolova
Sevastopol State University, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia, ANFrolova@sevsu.ru

Received 12.02.2024y.; received in final form 16.02.2024y.

Abstract

The methods of integration and the possibilities of integrated security systems are discussed. The advantages and disadvantages of centralized and distributed integrated security systems are presented. The results show the advantages of using integrated security systems.

Keywords: integrated security system, centralized systems, distributed systems

Введение

Развитие систем безопасности движется по законам развития всех технических систем в сторону повышения функциональности, объединения систем и, следовательно, усложнения логики работы системы.

Производителями интегрированных систем безопасности (ИСБ) термин интеграция используется как синоним повышения надежности и эффективности работы системы. При этом не выделяются конкретные параметры полученной интегрированной системы, которые улучшаются при интеграции входящих в ее состав систем.

Применение ИСБ не устраняет необходимость контроля со стороны человека, но значительно повышает эффективность ее работы.

Постановка задачи

Безопасность объекта, обеспечивается несколькими системами: охранной и пожарной сигнализации (ОПС), системой охранного телеnаблюдения (СОТ) и системой контроля и управления доступом (СКУД). В этот "классический" набор также могут входить: система периметральной охраны, активного пожаротушения, инженерно-технические системы обеспечения жизнедеятельности здания и другие. Каждая из этих систем в отдельности отвечает за свой участок работы в соответствии с решаемыми задачами, заложенными в нее на этапе проектирования. К сожалению, вследствие их узкой направленности могут возникать противоречия при решении

конкретных ситуаций на объекте, приводящие к серьезным проблемам:

- потере эффективности и оперативности действий службы безопасности, перегруженной большим количеством "разнокалиберных" управляющих терминалов;
- усложнению специализированных устройств управления в связи с появлением новых функций;
- несогласованности в работе различных систем;
- возможной выдаче системами взаимоисключающих команд.

Возникает необходимость оценки взаимодействия отдельных систем в рамках единой интегрированной системы безопасности объекта.

В данной статье будут рассмотрены возможности и характеристики ИСБ.

Основная часть

Современные ИСБ представляют собой аппаратно–программные комплексы с общей базой данных – единым информационным полем. В качестве устройств управления используются компьютерные терминалы со специализированным программным обеспечением.

Благодаря слиянию отдельных систем и применению компьютера в качестве универсального устройства управления достигается:

- автоматизация простейших действий и реакций на внешние события – рутинную работу берет на себя электроника, обеспечивающая мгновенную реакцию на возникшее событие;
- снижение влияния человеческого фактора на надежность всей системы;
- взаимодействие аппаратуры разного назначения, исключающее противоречивые команды благодаря гибкой системе внутренних приоритетов;
- упрощение процесса управления;
- разграничение прав и доступа к информации;
- повышение степени защиты от несанкционированного доступа к управлению;
- общее снижение затрат за счет исключения дублирующей аппаратуры;
- повышение степени эффективности каждой из систем.

В ИСБ наиболее распространены три типа интеграции разных систем:

Интеграция на уровне «сухих контактов» – наиболее простой и распространен в небольших системах. Фактически это интеграция на физическом уровне, при которой релейные выходы какой-либо из систем, связываются со входами другой системы.

Интеграция на программном уровне обычно подразумевает возможность управления системами с помощью команд с компьютерного терминала, используя какой-либо коммуникационный протокол (например, RS-232 или RS-485). Имея единую базу данных, а также гибкий универсальный инструмент управления в виде компьютера и программного обеспечения, можно задавать сложные иерархические связи между системами безопасности. Данный тип интеграции позволяет использовать в одной системе оборудование не только разного назначения, но и различных производителей. Достоинством этого метода является гибкость, возможность конфигурирования сложных крупных систем и интеграция в ИСБ уже установленного на объекте оборудования. Недостатком метода является его уязвимость из-за программного механизма интеграции. На крупных и распределенных объектах обычно используют данный тип интеграции, снижая недостатки за счет использования систем с возможностью автономной работы и применяя для некоторых из систем глубокую аппаратную интеграцию на уровне протокола.

Аппаратная интеграция на уровне протокола обычно используется в различных системах ИСБ одного производителя, поскольку требуется глубокое знание аппаратной части и протокола обмена оборудования на уровне разработчика системы. При этом сохраняются внутренние логические связи систем и их функции даже в случае отключения компьютера, но отсутствует гибкость, появляется привязка к одному производителю и невозможность интеграции оборудования сторонних компаний. Надо также отметить, что вероятность наличия в производственной линейке данного производителя всех требуемых на объекте систем довольно низка, так как нельзя предусмотреть все.

Основные признаки классификации ИСБ

В качестве основных признаков классификации предлагается использовать: комплектность, функциональность, размер, масштабируемость, расширяемость, взаимодействие с внешними подсистемами, отказоустойчивость/живучесть, быстродействие [8].

Первые шесть параметров можно легко проверить на практике или по паспорту устройства. Оставшиеся два параметра определить сложнее.

И если отказоустойчивость/живучесть системы рассчитывается теоретически или проверяется временем, то всеобъемлющей методики измерения параметра быстродействия интегрированной системы безопасности на данный момент не существует.

Предположим, что каждая функциональная составляющая ИСБ реагирует своевременно, и за строго определенное время доставляет информацию оператору. Но в некоторых случаях необходимо взаимодействие нескольких систем, тогда для каждой ситуационной задачи необходимо определять быстродействие всей системы. Это может определятся теоретическим расчетом или экспериментально.

Используя современное оборудование и программное обеспечение, можно организовать взаимодействие любых систем, подключая все к одному или нескольким серверам. Логика работы современных ИСБ, при использовании программного обеспечения, также может быть практически любой. Максимальное количество условий, дополнительных параметров, настроек, переменных, счетчиков в рамках одной системы определяется обычно сложностью программного конфигуратора.

Занимаясь повышением функциональности, настраиванием более сложного алгоритма взаимодействия систем, часто забывают о конечном быстродействии получившейся интегрированной системы, что является определяющим фактором при оценке эффективности ИСБ любого объекта. Рассмотрим методы построения ИСБ.

Централизованные системы. В настоящее время задачи интеграции чаще всего решаются на верхнем уровне системы. Множество производителей предлагают свое интегрирующее программное обеспечение. Естественно, что в этом случае ИСБ представляет собой централизованную систему (рис. 1.). В такой системе "мозгом" является компьютер, на котором установлено соответствующее интегрирующее программное обеспечение. Обычно к компьютеру подключаются центральные контроллеры СКУД, СОПС, концентраторы и коммутаторы СОТ. Как правило, к центральным контроллерам подключаются периферийные модули, к которым по своим интерфейсам подключаются оконечные устройства. Через эти промежуточные звенья компьютер осуществляет мониторинг и управление всей периферией.

Рассмотрим следующую ситуационную задачу. В помещении имеются средства обнаружения и телевизионные камеры (рис. 2).

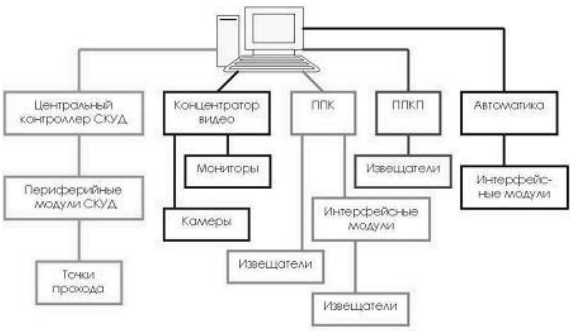


Рис.1 Централизованная система

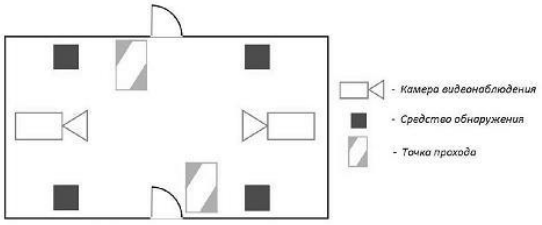


Рис.2 Камеры и средства обнаружения

Необходимо произвести видео верификацию тревоги по сигналу от средств обнаружения. Временной параметр определяется временем пребывания нарушителя в поле зрения камеры. Допустимое время задержки от одной до трех секунд. Рассмотрим, какие задержки появятся в централизованной системе при решении данной задачи (рис. 3.).



Рис. 3 Задержки в централизованной системе

Распределенные системы. Если основные блоки управления систем соединены в шину, могут напрямую передавать данные между собой, а также осуществлять управление, то такая система будет распределенной.

Передача данных между центральными контроллерами подсистем осуществляется по интерфейсу RS-485 или CAN-шине. Также к общей шине данных может быть подключено и несколько устройств одного типа для расширения

системы. В такой топологии устройства могут передавать необходимые данные в шину, причем необязательно передавать все данные, можно передавать только те, которые нужны для решения определенных задач интеграции.

Остальные устройства, получая информацию по данной шине, должны выполнять необходимые операции, опираясь на заложенную в них логику (рис. 4).

Так как обмен необходимой информацией происходит не через компьютер, а напрямую, временные задержки в такой системе значительно меньше, чем в централизованной.

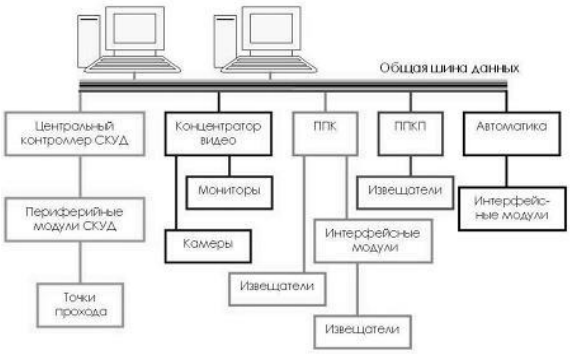


Рис.4 Распределенная система

Задержки в распределенной системе показаны на рисунке 5.

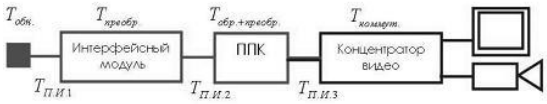


Рис.5 Задержки в распределенной системе

Основным минусом такого подхода является то, что стандартные шины RS-485 и CAN имеют значительные ограничения по длине и пропускная способность их резко падает с увеличением длин шин. Кроме того, как и в большинстве других случаев, протоколы обмена данными обычно закрыты, а значит, в такой интегрированной системе можно использовать устройства только одного производителя.

Оценка временной задержки в ИСБ объекта

При анализе эффективности ИСБ объекта оцениваются вероятности захвата нарушителя. Для данной оценки необходимо выполнение условия:

$$\Delta T = To - Tн < 0 \qquad (1)$$

Для соответствующей оперативной ситуации. Здесь ΔТ - резерв времени сил охраны; То и Тн - времена действий охраны и нарушителя (с момента поступления сигнала тревоги) соответственно. Вероятности захвата оцениваются согласно выражению:

$$P(\Delta T = To - Tн < 0) = F(-x), \qquad (2)$$

где F(-x) - функция распределения стандартной нормальной случайной величины, x - математическое ожидание приведенного резерва времени сил охраны, определяемое из выражения [3]:

$$x = \frac{M[T_O] - M[T_H]}{\sqrt{D[T_O] + D[T_H]}}, \quad (3).$$

где M[T] и D[T] - соответственно математическое ожидание и дисперсия времен сил охраны и нарушителя.

Время действия охраны T_o включает в себя время обнаружения тревоги, время на верификацию данной тревоги, а также время на непосредственное реагирование сил охраны. В этом случае, оценка быстродействия ИСБ является необходимой составляющей оценки времени действия охраны.

Очевидно, что одним из основных показателей интеграции технических систем является время, в течение которого ими обрабатывается событие и выполняется ответное действие. Допустимое время задержки определяется ситуационной задачей. Если время, необходимое для взаимодействия каждой системы, превышает максимально допустимое, определенное ситуационной задачей, то такая интеграция зачастую бесполезна.

Опытным путем проводятся исследования временных параметров интеграции отдельных систем безопасности. Измеряемая физическая величина – время между двумя событиями. Событием начала отсчета может быть любое тревожное событие. События, по которому отсчет прекращается – подтверждение оператором факта наличия тревожной ситуации или завершающее действие алгоритма системы, как реакции на данную тревожную ситуацию.

Для каждой ситуационной задачи проводилось две серии экспериментов - с участием оператора и без участия оператора [11].

Каждый эксперимент включал в себя несколько измерений, что необходимо для оценки случайной погрешности.

В результате исследований параметров интеграции систем ОПС, КУД и ОТ было получено, что среднее время взаимодействия систем без участия оператора составляет чуть более одной секунды. Среднее время взаимодействия для централизованной системы с участием оператора, для которого необходимо вывести сообщение на экран, сформировать видеоизображение, повернуть и сфокусировать камеру, составило около шести секунд.

Также было определено быстродействие взаимодействия ОПС и СКУД. Среднее время реакции интегрированной системы без участия оператора составляет чуть меньше четырех секунд, причем для программной интеграции это время составляет около пяти секунд, а для решения ситуационной задачи на аппаратном уровне в рамках одного контроллера данное время менее двух секунд. Если для подтверждения тревоги необходима команда оператора, то среднее время реакции системы составляет около семи секунд. При этом оператор не производит верификацию тревоги, он принимает решение на основе извещения о тревоге и графическом отображении на плане сработавшего извещателя. Таким образом, можно сделать вывод, что в помещениях, где распространение опасных факторов пожара происходит очень быстро, что может угрожать жизни людей, интеграция ОПС и СКУД должна проводится на аппаратном уровне, чтобы сократить до минимума задержки в системе. Если же необходимо более сложная логика работы системы или дополнительные условия, то централизованная интегрированная система и система с подтверждением также оказывается удовлетворительной с точки зрения быстродействия.

Также было установлено, что задержка верификации с помощью стационарной камеры на 2-4 секунды меньше задержки верификации с помощью поворотной камеры. Это обусловлено тем, что для получения изображения нужно повернуть камеру и сфокусировать ее, причем, мелькание изображения при повороте также вносит задержку в восприятие оператором видеоизображения.

Таким образом, для верификации тревог в системе ОПС необходимо использовать стационарные камеры. Поворотные камеры использовать не эффективно, так как нарушитель за данное время задержки успевает выйти из поля зрения камеры.

Заключение

Современные ИСБ широко используют средства автоматизации, автоматизированные системы управления, новые информационные технологии, которые позволяют интегрировать организационные и технические ресурсы для решения этих задач безопасности больших, средних и особо важных объектов.

Следует отметить, что применение ИСБ не устраняет необходимость контроля со стороны человека, но значительно повышает эффективность работы службы охраны, особенно при наличии многочисленных зон и факторов риска. Оптимальное соотношение людских и технических ресурсов выбирается в соответствии с поставленными задачами и допустимым уровнем возможных угроз.

При выборе предлагаемых ИСБ необходимо проводить анализ систем по временному параметру. Выбор технических устройств следует производить с учетом быстродействие всей системы в целом, и быстродействие системы в решении конкретных ситуационных задач.

Наряду с функциями обеспечения безопасности, интегрированные системы позволяют максимально эффективно решить ряд задач:

- оперативно принимать решения при аварийных и нештатных ситуациях и обеспечить их своевременную локализацию;
- оптимизировать количество постов охраны и инженерных служб, что существенно сократит расходы на содержание персонала, его обучение и лицензирование, уменьшит влияние субъективного человеческого фактора;
- обеспечить оптимальный режим управления инженерным оборудованием с целью сокращения затрат по его обслуживанию;
- проводить объективный анализ работы оборудования, действий служб, обслуживающих системы жизнеобеспечения, охраны при нештатных ситуациях за счет автоматического документирования работы оборудования, решений, принимаемых обслуживающим персоналом.

Список литературы

1. Под ред. Н.С. Погожина. Системы физической защиты ядерно-опасных объектов. М.: МИФИ, 2004. – 489 с.
2. Гедзберг Ю.М. Охранное телевидение. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 312с.
3. М. Гарсиа «Проектирование и оценка систем физической защиты». Издательство «Мир»,

Москва, 2003 г.
4. В.Б. Глебов, А.В. Измайлов, А.Н. Румянцев. Введение в системы учета, контроля и физической защиты ядерных материалов. – М.: МИФИ, 2002. – 212с.
5. В.Г. Синилов. Системы охранной, пожарной и охранно – пожарной сигнализации. Учебник для нач. проф. Образования; Учебное пособие для сред. проф. Образования. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 352с.
6. А.В.Петраков,В.С.Лагутин. Телеохрана. Учебное пособие.М.:СОЛОН-Пресс.2004.-408 с.
7. Р.Г.Магауенов. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения. – М.: .: Горячая линия- Телеком, 2004. 354с.
8. Ворона В.А.,Тихонов В.А. Комплексные (интегрированные) системы обеспечения безопасности. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 160с.
9. Федеральный закон РФ «Об использовании атомной энергии» от 21.11.1995 №170-ФЗ [Электронный источник]URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8450/ (дата обращения 07.02.2024).
10. Постановления Правительства РФ "Об утверждении Правил физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов" от 19.07.2007 N 456 [Электронный источник] URL: https://docs.cntd.ru/(дата обращения 07.02.2024).
11. Интегрированные системы безопасности: основные признаки и перспективы развития [Электронный источник] URL: http://www.r-control.ru/articles/safetysystem/article1(дата обращения 11.02.2024).

References

1. Edited by N.S. Pogozhin. Systems of physical protection of nuclear-hazardous facilities. Moscow: MEPhI, 2004. – 489 p.
2. GedzbergYu.M. Security television. – Moscow: Hotline – Telecom, 2005. – 312s.
3. M. Garcia "Design and evaluation of physical protection systems". Mir Publishing House, Moscow, 2003
4. V.B. Glebov, A.V. Izmailov, A.N. Rumyantsev. Introduction to the systems of accounting, control and physical protection of nuclear materials. - M.: MEPhI, 2002. – 212s.
5. B.G. Sinilov. Security, fire and fire alarm systems. Textbook for the beginning of Prof. Education; Textbook for sred. Prof. Education. – 2nd ed., ster. – M.: Publishing Center "Academy", 2004. – 352s.
6. A.V.Petrakov, V.S.Lagutin. Bodyguard. Study guide. No. 1 edition.Moscow:SOLON-Press.2004.-408 p
7. R.G.Magauenov. Burglar alarm systems: fundamentals of theory and principles of construction. – M.: .: Hotline- Telecom, 2004. 354s.
8. Vorona V.A., Tikhonov V.A. Complex (integrated) security systems. – M.: Hotline – Telecom, 2013. – 160c.
9. Federal Law of the Russian Federation "On the Use of Atomic Energy" dated 21.11.1995 No. 170-FZ [Electronic source]URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8450 / (accessed 07.02.2024).
10. Decree of the Government of the Russian Federation "On approval of the Rules for the Physical Protection of Nuclear Materials, Nuclear Installations and Nuclear Materials Storage Facilities" dated 19.07.2007 N 456 [Electronic source] URL: https://docs.cntd.ru /(accessed 07.02.2024).
11. Integrated security systems: main features and development prospects [Electronic source] URL:http://www.r-control.ru/articles/safetysystem/article1 (date of issue 11.02.2024).

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 504.062

Обращение с твёрдыми коммунальными отходами в Калининградской области

Е.В. Заблоцкая
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, evere82@mail.ru

Статья поступила 12.02.2024 г.; после доработки 13.02.2024 г.

Аннотация

В статье представлены результаты анализа сферы обращения с твердыми коммунальными отходами в Калининградской области. Выявлена сущность и виды твёрдых коммунальных отходов на территории области, рассмотрены существующие методы обезвреживания и утилизации твердых коммунальных отходов. Проведенный анализ позволил выявить пути реализации реформы обращения с твердыми коммунальными отходами в Калининградской области.

Ключевые слова: твёрдые коммунальные отходы, утилизация отходов, обезвреживание отходов, размещение отходов, полигон.

Solid municipal waste management in the Kaliningrad region

E.V. Zablotskaya
Sevastopol state university, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia, evere82@mail.ru

Received 12.02.2024 y.; received in final form 13.02.2024 y.

Abstract

The article presents the results of the analysis of the sphere of solid municipal waste management in the Kaliningrad region. The essence and types of solid municipal waste in the territory of the region are revealed, the existing methods of neutralization and disposal of solid municipal waste are considered. The analysis made it possible to identify ways to implement the reform of solid municipal waste management in the Kaliningrad region.

Keywords: solid municipal waste, waste disposal, waste disposal, waste disposal, landfill.

Введение

В настоящее время все большее значение приобретают вопросы утилизации отходов как способа интенсивного снижения нагрузки на воспроизводство минерально-сырьевой базы и натуральную ресурсоемкость экономики, а также создание основы производственной цикличности в целях укрепления устойчивости национальных экономик.

Одним из основных вариантов решения проблемы сокращения количества захораниваемых отходов является система технологических решений, направленных на повторное применение отходов. Объем вывоза твёрдых коммунальных отходов с территории городских поселений в целом по Российской Федерации в 2022 году составил 45867,4 тыс. т.

Общее количество обезвреженных твёрдых коммунальных отходов составило 1139,5 тыс. т (2,4% от общей массы образованных ТКО). Общее количество утилизированных твёрдых коммунальных отходов составило 3012,3 тыс. т (6,6% от общей массы образованных ТКО). Сбор

твёрдых коммунальных отходов в городах осуществляется преимущественно смешанным способом: отходы без предварительной сортировки собираются в контейнеры. При смешанной системе сбора твёрдых коммунальных отходов значительно снижен объем извлечения для дальнейшей утилизации вторичных ресурсов (текстиля, бумаги, пластиковых бутылок, полимерных отходов), поскольку их качество ухудшается за счет намокания и загрязнения; металлические отходы (мелкофракционные) смешиваются в общей массе. Применение смешанной системы сбора твёрдых коммунальных отходов не только снижает объемы выбора вторичных ресурсов, но и увеличивает нагрузку на полигоны. Основным для Российской Федерации способом обращения с твёрдыми коммунальными отходами является захоронение. В 2022 году объем вывезенных твёрдых коммунальных отходов на объекты захоронения составил 36807,5 тыс. т [1].

На основании сведений федерального статистического наблюдения по форме № 2-ТП (отходы) Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор) на территории Калининградской области в 2022 году всего было образовано 958789 тонн отходов. По данным регионального оператора по обращению с твердыми коммунальными отходами на территории Калининградской области было образовано ТКО – 445418 тонн [2]. Отсутствие объектов и мощностей, предназначенных для обработки, утилизации, обезвреживания, захоронения отходов, в том числе ТКО, в должном объеме является актуальной региональной проблемой в области обращения с отходами.

Постановка задачи

Целью работы являлся анализ системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами на территории Калининградской области.

Для реализации данной цели были поставлены следующие задачи:

- изучить особенности обращения с твёрдыми коммунальными отходами в Калининградской области до 2018 года;
- провести анализ действующей системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами на территории Калининградской области и найти оптимальный подход к решению данной проблемы.

Описание исследования

Калининградская область – самый западный регион Российской Федерации. Исторически сложилось, что данный регион не имеет границ со своим государством. Этот факт, несомненно, играет немаловажную роль в процесс обращения с твердыми коммунальными отходами.

Ввиду того, что Калининградская область является полуэксклавом, ситуация в сфере обращения с отходами стожилась абсолютно уникальная и парадоксальная. Во-первых, Калининградская область, в отличие от других областей «большой» России, не имеет возможности транспортировать все неликвидные и опасные отходы, поскольку со всех сторон окружена границами других государств, вследствие чего все они остаются на территории области. Во-вторых, ввиду сложившейся специфики в области экономики, область имеет довольно высокий уровень развития промышленного производства, который с каждым годом растет. Соответственно количество образовываемых промышленных отходов будет преобладать над количеством твердых коммунальных отходов. К тому же из-за того, что в области эксплуатируется большое количество сборочных производств, имеет место класс высоколиквидных отходов (полиэтилен, пластик, картон), в результате чего появляется все больше предприятий, ориентированных именно на эти виды отходов, что привело к высокой конкуренции в данном сегменте. В-третьих, из-за наличия в соседних Литве и Польше развитых производств, ориентированных на вторичное сырье, у многих переработчиков не было мощности и мотивации для развития глубокой переработки даже высоколиквидных отходов. В лучшем случае за границу отправляли полуфабрикаты, в большинстве случаев это было сырье для европейской полимерной и целлюлозно-бумажной промышленности. Что касается сырья цветной металлургии, то ситуация была представлена не иначе, как экологическое пиратство.

До 2014 года в Калининградской области не было мусоросортировочного и мусороперерабатывающего завода, несмотря на жизненную необходимость в них. Если в последнем случае это характерно для всей России, то по сортировке мусора область сильно отставала от «большой» России, где такие фабрики уже работали. Несмотря на то, что уровень жизни в Калининградской области выше, чем в среднем по России, следовательно, накопление отходов происходит более интенсивно.

С 2005 года наблюдалась тенденция к уменьшению числа объектов размещения отходов, представленная в таблице 1, закрытию несанкционированных объектов, а также переходу

к межмуниципальной системе размещения отходов.

Таблица 1. *Тенденция к уменьшению числа объектов размещения отходов*

Год	Количество объектов размещения отходов
2005	161
2008	39
2009	33
2011	31
2012	30
2013	21
2014	12
2015	6

В 2016 году инфраструктура обращения с твёрдыми коммунальными отходами была представлена 4 объектами. Из 4 объектов захоронения только один имеет мусоросортировочный комплекс.

Мусоросортировочный комплекс в поселке Жаворонково – это первый и по сей день единственный объект сортировки твёрдых коммунальных отходов. Схема процесса сортировки представлена на рисунке 1.

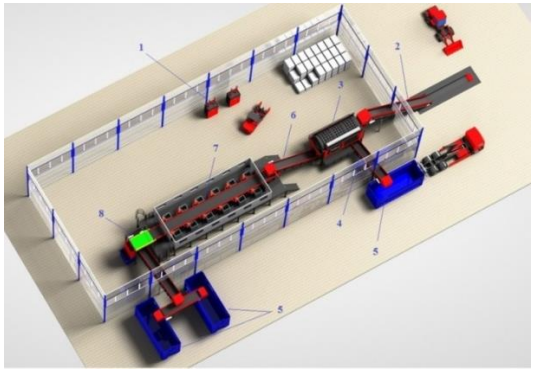


Рис. 1. Технология сортировки твёрдых коммунальных отходов на мусоросортировочном комплексе в поселке Жаворонково, Гусевского городского округа: 1 – пресс-компактор; 2 – подающий конвейер; 3 – динамический сепаратор; 4 –лотковый конвейер; 5 – бункер 27-36 м3; 6 – транспортировочный конвейер; 7 – сортировочный конвейер; 8 – магнитный сепаратор.

Данный объект не утилизирует твёрдые коммунальные отходы, а лишь сортирует их. Проектная мощность мусоросортировочного комплекса – 40 тыс. тонн в год.

Вместе с мусоросортировочным комплексом в посёлке Жаворонково Гусевского городского округа в Калининградской области действовал ряд организаций, осуществлявших отдельные функции по обработке отходов. До 2017 года предприниматели получали от населения 32 вида отходов, из которых 7 фракций было обработано предприятиями, которые и сегодня активно продолжают свою деятельность в этой сфере. Остальные 25 фракций транспортировались местными предпринимателями в «большую» Россию для дальнейшей утилизации [3]. Таким образом, в регионе отправлялись на полигоны с целью захоронения лишь несортированные твёрдые коммунальные отходы, доля которых достаточно мала по сравнению с настоящим годом.

Вследствие увеличения предложения вторсырья российскими предпринимателями, фирмы, занимающиеся его переработкой, были вынуждены сократить спрос на вторсырье и сбывать товар по сниженным ценам. Сложившаяся ситуация несколько подкосила калининградских предпринимателей, занимающихся транспортировкой и продажей вторсырья в Россию, значительно урезав их прибыль [4].

Вдобавок к снижению прибыли калининградских предпринимателей 1 января 2018 года вступил в силу новый Таможенный кодекс Евразийского экономического союза, спровоцировавший рост затрат на транспортировку. Данный Кодекс обязал калининградских предпринимателей платить пошлины и таможенный налог на добавленную стоимость, чтобы вывезти вторсырье в «большую» Россию. Либо доказывать, что отходы не прибыли из-за пределов Евразийского экономического союза и не попали под беспошлинный режим особой зоны. Определить исключительный «евразийский» статус мусора, собираемого у населения и компаний, практически невозможно. Из-за уплаты пошлин рентабельность компании снизилась или стала отрицательной. Другие предприниматели переориентировались на экспорт, но европейские переработчики, узнав о калининградской проблеме, снизили цены на вторсырье.

До «таможенного кризиса» утилизацией отходов в Калининградской области занимались около 120 предприятий. В регионе потеряно не менее 100 рабочих мест. Таким образом, основным способом переработки ТКО в Калининградской области стало захоронение на полигонах.

В целях совершенствования системы управления отходами, в том числе твёрдыми коммунальными отходами, на территории Калининградской области реализуется ряд мер, направленных на ликвидацию несанкционированных свалок и объектов накопленного вреда окружающей среде, и переход на раздельный сбор отходов, их сортировку и переработку.

В результате указанных выше мер в рамках регионального проекта «Чистая страна», входящего в состав национального проекта «Экология», в 2022 году начата реализация мероприятий по ликвидации двух несанкционированных свалок в границах городов по следующим объектам:

- «Рекультивация нарушенных земель, занятых городской свалкой твердых коммунальных отходов, расположенной по адресу: Калининградская область, г. Светлый, ул. Дружбы, 29»;
- «Рекультивация городской свалки твердых коммунальных отходов г. Гусева Калининградской области».

Завершены работы по рекультивации городской свалки ТКО г. Черняховска Калининградской области, а также продолжаются работы по объекту «Рекультивация свалки твердых коммунальных отходов в г. Советске Калининградской области» [2].

В целях осуществления пилотного проекта по внедрению элементов раздельного накопления твердых коммунальных отходов проведен конкурсный отбор среди юридических лиц и индивидуальных предпринимателей с целью заключения соглашения о взаимодействии при организации обращения с отходами производства и потребления, содержащими полезные компоненты. По результатам конкурса в 2022 году победителем признан ИП Пауков О.М. (проект «Зеленое дело»), который обслуживал 90 специальных контейнерных площадок для раздельного накопления отходов. На каждой площадке есть отсеки для отходов бумаги, пластиковых бутылок и металла, 30 из них также содержат отсек для отходов стекла (рисунок 2).

Всего за 2022 год из спецконтейнеров вывезено 120369 кг вторсырья, из них – 94785 кг макулатуры, 23162 кг лома ПЭТ-бутылок, 870 кг лома алюминия, 1552 кг лома черных металлов (таблица 2).

Количество извлеченного вторсырья в 2022 году выросло на 31% по отношению к предыдущему году. Прежде всего, это связано с распространением информации о возможности сдавать вторсырье и о том, какие именно фракции подлежат переработке. Адреса мест сбора вторсырья, график обслуживания контейнеров и подробная информация о видах вторсырья размещена в группах «Зеленое дело» в социальных сетях и на сайте про.зеленоедело.рф. Также в рамках своей деятельности проект «Зеленое дело» вывозил отходы, подлежащие переработке, по заявкам граждан. В 2022 году из квартир и офисов вывезено 159317 кг бумаги, 8722 кг полимеров, 632 кг отходов металла [2].



Рис. 2. Контейнеры для раздельного сбора твёрдых коммунальных отходов

Таблица 2. *Результаты обслуживания контейнеров для раздельного сбора вторсырья*

Наименование вторсырья	Собрано за период, кг		
	2020 год	2021 год	2022 год
Макулатура	34 504	84 952	94 785
ПЭТ-бутылки	7 608	18 770	23 162
Лом алюминиевых банок из-под напитков	752	1 569	870
Лом и отходы, содержащие черные металлы	1 890	3 069	1 552
Отходы стекла	–	–	22 000
Итого:	44 754	108 360	142 369

В регионе существует союз переработчиков, который с 1 октября 2020 года помимо алюминия, бумаги и пластика начал принимать стекло. Сырье дробится в мелкую стеклянную крошку, которая станет главным компонентом стеклобетона. Переработчики считают, что стеклобетон со временем станет дешевле железобетона. Из полученного материала можно изготавливать любые изделия, которые льются из бетона, начиная от тротуарной плитки, вплоть до малых архитектурных форм. В планах переработчиков в каждом муниципалитете установить оборудованные контейнерные площадки из стеклобетона. Также в Калининградской области с 2020 года начали производить скамейки и парковые

диваны из отходов пластика (рисунок 3). Такие скамейки полностью изготавливаются в Калининграде, привозные только болты для них. На одну скамейку требуется около 5000 пластиковых пакетов, примерно такое количество полиэтилена ежемесячно выбрасывают жители одного многоэтажного дома. А в случае, если рейки скамьи сломаются, их можно снова отвезти на переплавку [5].

До конца 2025 года в Калининградской области должен появиться мусоросортировочный комплекс недалеко от посёлка Корнево мощностью до 350 тысяч тонн. Все поступившие на объект отходы будут отсортированы, 50% из них – отправлены на утилизацию, в том числе на компостирование и производство продукции с использованием вторсырья специализированным организациям (рисунок 4). В общей сложности он рассчитан на нужды более половины жителей региона – 660 тысяч человек и 70% твердых коммунальных отходов, образующихся на его территории [6].



Рис. 3. Скамейка, изготовленная из отходов пластика



Рис. 4. Технология обработки твёрдых коммунальных отходов вблизи посёлка Корнево

Прибывшие мусоровозы проходят радиационный контроль и взвешиваются. Далее мусор разгружается на специальную площадку, где из него вручную отбирают крупногабаритный мусор. После отбора крупного мусора, остальной уходит, через разрыватель пакетов, на сортировку и далее через систему различных сепараторов. Так один оптический сепаратор отделяет пластик, другой бумагу, магнитный сепаратор отделяет металл. Фракция от 0 до 70 мм отправляется на компостирование. На участке компостирования расположены бурты, щелевые полы, система вентиляции, биофильтр и операторская зона. Бурты – это трапециевидные кучи размером 100х3 метра, в которые укладывают все пришедшие сюда отходы. Чтобы запустить процесс гниения, их обрабатывают специальным штаммом термофильных молочнокислых бактерий –

Pediococcuspentosaceus. Каждый бурт перекладывают с места на место с помощью ворошительной машины. Таким образом, к работе термофильных бактерий подключается процесс аэрирования. Ферментация и полное разложение «пищевки» происходит за 14 дней. За это время перекладывание и опрыскивание буртов происходит три раза – на третьи, пятые и седьмые сутки. Полы в цеху компостирования не просто бетонные, а щелевые. В них расположены трубы, по которым подается воздух для того, чтобы бурты «дышали». Также с помощью щелевых полов и вентиляционных труб, из буртов выводят вредные парниковые газы в биофильтр. Он находится рядом с ангаром под открытым небом и представляет собой стометровый контейнер с древесной щепой. Ее закупают на пилорамах, ведь для правильного функционирования фильтра нужно чистое вещество – лигнин, который хорошо поглощает вредные испарения. Щепу в биофильтре полностью меняют раз в год, часть отработанного материала пустят на технические отсыпи, а что-то положат в бурты вместе с пищевыми отходами, чтобы вернуть щепу в цикл компостирования. Готовый грунт проходит обязательный анализ на радионуклиды, тяжелые металлы и санитарные показатели. Если грунт соответствует принятым нормативам, то его можно использовать в качестве почвы для озеленения городских территорий и питательных удобрений. Но если какой-то из показателей будет превышать норму, то этот грунт будут использовать в технических нуждах – для отсыпки дорог при строительстве или для рекультивации полигонов твёрдых коммунальных отходов.

В итоге получается:

20% – часть, которая уйдет на утилизацию. Это различный пластик, металлы. Их прессуют, упаковывают в кипы, и по мере накопления отправляют клиентам, занимающимся утилизацией вторсырья.

30% – компост, который используется для строительства дорог или ландшафтных работ.

Оставшиеся 50% – это «хвосты».

«Хвосты» захораниваются на специальном полигоне на территории комплекса по переработке отходов. Здесь устроен противофильтрационный экран, который состоит из бентонитового мата, уложенного на уплотненное земляное основание. Далее идет геомембрана, которая не позволяет фильтрату проникать в почву и грунтовые воды. На геомембране устроен «пирог» из геотекстиля и слоя песка с дренажной системой. Через дренажную систему фильтрат поступает на очистные сооружения, где применены механическая фильтрация, нейтрализация и обратный осмос. Таким образом, очищенная вода соответствует требованиям, предъявляемым рыбохозяйственным водоемам.

Заключение

1. С каждым годом становилось все очевиднее, что вопрос с переработкой отходов в Калининградской области нужно решать как можно скорее. Несмотря на это, в указанные сроки мероприятия, планируемые на 2014-2016 годы, достигнуты не были. А целевая программа была продлена.
2. Основной принцип реформы системы обращения с отходами заключается в создании экологически безопасной и современной модели обращения с отходами и на привлечение отходов во вторичный оборот и как следствие, сокращение отходов, направляемых на полигоны с целью захоронения.
3. Система обращения с твёрдыми коммунальными отходами в Калининградской области стремительно совершенствуется. Планируемый объект переработки ТКО станет решением проблемы обращения с отходами в данном регионе, поскольку строительство заводов по утилизации твёрдых коммунальных отходов нецелесообразно.

Список литературы

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2023. – 686 с.
2. Об экологической обстановке в Калининградской области в 2022 году: Государственный доклад Министерства природных ресурсов и экологии Калининградской области, 2023. – 200 с.
3. Марков И. Корреспондент "КП" лично проверил, как работает новая схема обращения с отходами [электронный ресурс] // КП Калининград. 2020 г. – Электрон. данные URL: https://yandex.ru/turbo/kaliningrad.kp.ru/s/daily/27091/4164072/ (дата обращения: 12.01.2024). – Заглавие с экрана.
4. Масленников А.Ю. Рынок вторичных ресурсов. Проблемы, тенденции и перспективы [электронный ресурс] // Отходы.Ру. 2006. – Электрон. Данные URL: https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=170 (дата обращения: 14.01.2024). – Заглавие с экрана.
5. С 1 октября в Калининграде начнут принимать от жителей стекло на переработку [электронный

ресурс] // Вести Калининград. 2020 г. – Электронные данные. URL: https://www.youtube.com/watch?v=x7gYMnAzKJg (дата обращения: 20.01.2024 г.). – Заглавие с экрана.
6. О строительстве мусоросортировочного комплекса [электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и экологии Калининградской области. 2023 г. – Электронные данные. URL: https://minprirody.gov39.ru/news/245623/?ysclid=lt79i2uxtf573258167 (дата обращения: 25.01.2024 г.). – Заглавие с экрана.

References

1. On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2022. State report. - Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University, 2023. – 686 p.
2. On the environmental situation in the Kaliningrad region in 2022: State Report of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Kaliningrad Region, 2023. - 200 p.
3. Markov I. Correspondent of KP personally checked how the new waste management scheme works [electronic resource] // KP Kaliningrad. 2020 – Electron. URL data: https://yandex.ru/turbo/kaliningrad.kp.ru/s/daily/27091/4164072 / (date of access: 12.01.2024). – Title from the screen.
4. Maslennikov A.Yu. The market of secondary resources. Problems, trends and prospects [electronic resource] // Wastes.2006. – Electron. URL data: https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=170 (date of application: 14.01.2024). – Title from the screen.
5. From October 1, Kaliningrad will begin accepting glass for recycling from residents [electronic resource] // Vesti Kaliningrad. 2020 – Electronic data. URL: https://www.youtube.com/watch?v=x7gYMnAzKJg (date of circulation: 01/20/2024). – Title from the screen.
6. On the construction of a waste sorting complex [electronic resource] // Ministry of Natural Resources and Ecology of the Kaliningrad region. 2023 – Electronic data. URL: https://minprirody.gov39.ru/news/245623/?ysclid=lt79i2uxtf573258167 (accessed: 01/25/2024). – Title from the screen.

УДК 502.36

Управление состоянием атмосферного воздуха предприятием ООО «Электрон»

М.А. Косовская[1], Н.Н. Ленивенко[2]

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, [1] MAKosovskaya@sevsu.ru, [2]nnlenivenko@mail.sevsu.ru

Статья поступила 08.02.2024 г. после доработки 08.02.2024 г.

Аннотация

Особенностью современной экологической ситуации является технологический уровень использования законов природы, связанный переходом от макроуровня через микроуровень к молекулярному и атомарному уровням. Современная технология производства — это звено во взаимодействии общества и природы. Разработка комплексных экологических разрешений (КЭР) является частью государственного контроля состояния атмосферного воздуха. Объектом исследования был выбран ООО «Электрон». Была проведена инвентаризация источников и вдов загрязнений атмосферного воздуха. Разработанная программа экологической эффективности объекта.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, урбаносреда, превентивный контроль, комплексные экологические разрешения, управление состоянием атмосферного воздуха, «зеленые технологии»

Management of the atmospheric air condition by the company "Electron" LLC

M.A. Kosovskaya[1], N.N. Lenivenko[2]

Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, [1] MAKosovskaya@sevsu.ru, [2]nnlenivenko@mail.sevsu.ru

Received 08.02.2024 y.; received in final form 08.02.2024 y.

Abstract

A feature of the modern ecological situation is the technological level of using the laws of nature, associated with the transition from the macro level through the micro level to the molecular and atomic levels. Modern production technology is a link in the interaction of society and nature. The development of integrated environmental permits (CER) is part of the state control of the state of atmospheric air. Electron LLC was chosen as the object of the study. An inventory of sources and widows of atmospheric air pollution was carried out. A program of environmental efficiency of the facility has been developed

Keywords: atmospheric air pollution, urban environment, preventive control, integrated environmental permits, atmospheric air management, "green technologies"

Введение

Человеческое сообщество на протяжении своего существования непрерывно взаимодействует с окружающей средой, пытаясь изменять его в соответствии с собственными потребностями. Однако неконтролируемое влияние человека на окружающую среду приводит к его существенным изменениям, часто нежелательным, необратимым [1].

Особенностью современной экологической ситуации является технологический уровень использования законов природы, связанный переходом от макроуровня через микроуровень к мо-

лекулярному и атомарному уровням. Современная технология производства — это звено во взаимодействии общества и природы. Она дает обществу возможность использовать природные вещества и энергию, приспосабливать для жизни людей природное окружение. Значительное влияние технологий на окружающую среду свидетельствует о низкой эффективности процессов природопользования. Оценивая влияние современных технологий на окружающую среду, мы видим, что, во-первых, растут расходы совокупного труда на получение элементов природной среды, которые используются в производстве, во-вторых, имеют место большие расходы общественного труда в результате нерационального использования сырья, материалов, топлива, в-третьих, возникает необходимость в выделении значительного количества совокупного труда для ликвидации негативных последствий влияния производства на природную среду; в-четвертых, растет дефицит естественных условий производства. Все это выносит на повестку дня вопроса о экологизации производств: уменьшение технологической нагрузки; поддержку природного потенциала путем самовосстановления и режима экономии природных процессов; сокращение потерь; комплексность исключения полезных компонентов, использования отходов как вторичного ресурса, совершенствования экономического механизма защиты окружающей природной среды. [1,2].

Наиболее тщательно необходимо контролировать производственные предприятия, оказывающие воздействия на все экологические среды, включая социальную среду. Особенностью предприятий, находящихся в черте города является невозможность доставочного снижения воздействия на близко расположенные не производственные объекты. В непосредственной близости от таких объектов, в нарушение природоохранного законодательства находятся жилые дома, школы, детские сады и т.д. все это приводит к необходимости жесткого управления состоянием окружающей среды близко производственной зоны. [1]. Одним из превентивных методов управления является контроль выбросов, как государственный, так и производственный. Разработка комплексных экологических разрешений (КЭР) является частью государственного контроля состояния атмосферного воздуха и согласно ФЗ N 219-ФЗ от 21.07.2014 [3-6]. КЭР является обязательным для предприятий I категории, как наиболее опасные объекты воздействия на атмосферный воздух. Юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие хозяйственную и (или) иную деятельность на объектах II категории, при наличии соответствующих отраслевых информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям так же вправе получить комплексное экологическое разрешение. Таким образом разработка КЭР является чрезвычайно актуальной темой. Для разработки КЭРа необходим пакет документов, в соответствии с нормативно-правовыми актами по разработке данного документа, в том числе к ним относятся ПДВ, а за его отсутствием (а точнее если не удалось к этому прийти) предприятие разрабатывает ВСВ, которое разрабатывается параллельно с ПДВ [4,6].

Цель статьи (постановка задач)

Целью исследования является разработка комплексного экологического разрешения на выбросы ООО «Электрон».

Для достижения данной цели, были поставлены следующее задачи:

- провести инвентаризацию источников загрязнения атмосферного воздуха объекта исследования;
- проанализировать источники выделения загрязняющих веществ;
- оценить степень загрязнения выбросами от организованных, и не организованных источников;
- проанализировать природоохранные мероприятия;
- разработка программы по экологической эффективности объекта, в части касающейся управления состоянием атмосферного воздуха.

Объектом исследования был выбрано производственное предприятие ООО «Электрон».

Постановка проблемы

ООО «Электрон» расположен по адресу: город Севастополь, улица Вакуленчука, дом 22, офис С202. Основным видом экономической деятельности ООО «Электрон», согласно листу записи ЕГРН, является аренда и управление собственным или арендованным недвижимым имуществом. Производственная деятельность ООО «Электрон» связана с изготовлением деталей для комплектующих коммутационной аппаратуры и устройств управления. Производственная площадка ООО «Электрон» поставлена на государственный учет объектов НВОС с присвоением II категории, код объекта: 67-0292-001112-П, что

обуславливает необходимости разработки комплексных экологических разрешений для промышленного объекта [3]. Предприятие «Электрон» на данный момент не имеет данного КЭРа. Карта схема исследуемого объекта представлена на рисунке 1.

Земельный участок завода граничит:

- с севера – со свободной территорией, не прошедшей государственный кадастровый учет, проезжей частью и гаражами;
- с северо-востока, востока, юго-востока и юга – с проезжей частью по улице Вакуленчука;
- с юго-запада – с земельным участком для обслуживания, приватизированного кафе «Молодость» с кадастровым номером 91:02:002009:2199, а также свободной территорией, не прошедшей государственный кадастровый учет;
- с запада и северо-запада – с жилыми домами, не внесенными в ЕГРН, а также с земельным участком для жилой застройки.

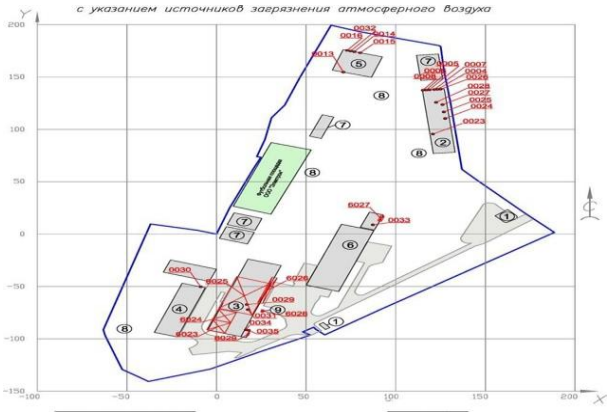


Рис. 1 Карта-схема ООО «Электрон»

Управление и контроль состояния атмосферного воздуха осуществляется как с точки зрения государственных органов, так непосредственно на самом предприятии, путем проведения производственного контроля, так и общественными органами. Государственное управление деятельностью по охране атмосферного воздуха исследуемого объекта осуществляют Росприроднадзор, Севприроднадзор и территориальные органы Роспотребнадзора. В целом природопользование данного объекта является подконтрольным Севприроднадзору.

Результаты исследований

В ходе инвентаризации источников загрязнения было выявлено: количество стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха (ИЗАВ) на площадке хозяйствующего субъекта – 28 (в том числе 22 организованных), выбрасывающих 44 загрязняющих веществ. Основными загрязняющими веществами по валовому выбросу стационарных источников являются: азота диоксид (27,78%), бензин (11,42%) и углерода оксид (10,47%). Вклад остальных веществ в суммарный выброс составляет менее 10%. Валовый выброс по всем ЗВ составляет 2,4561135 т/год.

На балансе ООО «Электрон» отсутствует транспорт, принадлежащий хозяйствующему субъекту на праве собственности либо ином законном основании. На территорию предприятия заезжает автотранспорт, принадлежащий сотрудникам ООО «Электрон», либо сторонний транспорт с целью вывоза отходов или завоза недостающих материалов исключительно по пропускам. Таким образом, при инвентаризации источников выбросов ЗВ в атмосферный воздух производственной площадки ООО «Электрон» передвижные источники не учитываются.

Для производственной площадки ООО «Электрон», санитарно-защитная зона не установлена по причине отсутствия формирования за контурами Объекта химического, физического и (или) биологического воздействия, превышающего санитарно-эпидемиологические требования, согласно письму Межрегионального управления Роспотребнадзора по РК и г. Севастополю от 25.12.2019 № 82-0002/0312873-2019.

Санитарно-защитная зона для производственной площадки ООО «Электрон», в соответствии с постановлением Правительства РФ от 03.03.2018 № 222 «Об утверждении Правил установления санитарно-защитных зон и использования земельных участков, расположенных в границах санитарно-защитных зон», не требуется [3-6].

В ходе проведенной инвентаризации было выявлены и проанализированы все имеющиеся источники выделения, загрязнения и выброса.

В помещениях гальванического цеха осуществляются технологические процессы по подготовке и нанесению электрохимических покрытий на изделия из стали, меди и алюминия. В цеху размещаются ванны гальванических линий: выделяются загрязняющие вещества: натрий гидроксид, динатрий карбонат, никель сульфат/в пересчете на никель, олово сульфат, хрома трехвалентные соединения, калий йодид, азота диоксид, азотная кислота, гидрохлорид, йод, серная кислота, фтористые газообразные соединения, ортофосфорная кислота. Гальванические ванны и реакторы очистных сооружений оснащены

местными бортовыми отсосами системы вытяжной механической вентиляции. Газоходы отсосов объединяются в короб, который входит в газоочистную установку (ГОУ) - горизонтальный скруббер SLPH 1600 -2С. После мокрой очистки в скруббере воздух выбрасывается в газоход, из которого выходит труба, высотой 12,9 м, для выброса в атмосферный воздух. Производственный цех оснащен вытяжным шкафом. В процессе работы в атмосферный воздух попадают загрязняющие вещества: серная кислота, натрий гидроксид, азотная кислота, гидрохлорид.

В слесарной мастерской находятся металлообрабатывающие станки для вспомогательных работ. В процессе обработки металла на станках, выделяются загрязняющие вещества: дижелезо триоксид, пыль абразивная, такие же вещества выделяются и от крацевального станка. Помещение оборудовано общеобменной системой вентиляции. Выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух осуществляется организованно, через трубу, высотой 10,9 м**.** В отделении установлены четыре камеры для нанесения порошковой полиэфирной краски, являющиеся источником выделения взвешенных веществ.

Окрасочные камеры КПО-2, OMEGA и 70-38 оборудованы сухими фильтрами и зонтами местной вытяжной вентиляции, газоходы которых являются организованными источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, высотой 12 м. После окрашивания в окрасочных камерах, детали помещают в печи для полимеризации порошковой краски. В процессе эксплуатации оборудования выделяются загрязняющие вещества: этенилбензол, формальдегид.Печи для полимеризации оборудованы зонтами местной вытяжной вентиляции, газоходы которых являются организованными источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, высотой 12 м. Для снятия окраски с деталей используется раствор Eskastrip H 504 A, выделяющий: этанол, масло минеральное.

Помещение оборудовано общеобменной системой вентиляции. Выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух осуществляется организованно, через трубу, высотой 10,9 м. В лаборатории оборудован вытяжной шкаф для приготовления растворов. В процессе в атмосферный воздух попадают загрязняющие вещества: серная кислота, натрий гидроксид, азотная кислота, гидрохлорид. Выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух осуществляется организованно, через вытяжную трубу, высотой 10,9 м**.**

В процессе эксплуатации металлообрабатывающего оборудования выделяются загрязняющие вещества: дижелезо триоксид, марганец и его соединения, азота диоксид, Азот (II) оксид, углерода оксид, масло минеральное нефтяное, взвешенные вещества, пыль абразивная, пыль полиамида, диалюминий триоксид, магний оксид, медь оксид, олово оксид, пыль латуни. Выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух осуществляется неорганизованно, через окна помещения. На территории участка станков с ЧПУ также расположено рабочее место лазерной гравировки, оборудованное местным отсосом в приточно-вытяжную вентиляцию. В процессе работы выделяются загрязняющие вещества: дижелезо триоксид, марганец и его соединения, азота диоксид, азот (II) оксид, углерод оксид. Выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух осуществляется организованно, через трубу приточно-вытяжной системы вентиляции высотой 32 м

На территории участка проводятся сварочные работы вольфрамовым электродом в среде аргона, штучными электродами АНО 21, а также сварочной проволокой. В процессе работы выделяются загрязняющие вещества: диалюминий триоксид, вольфрам триоксид, магний оксид, озон, пыль неорганическая, содержащая 70-20% SiO2, дижелезо триоксид, марганец и его соединения, азота диоксид, азот (II) оксид. Сварочный аппарат УДГУ 351 AC/DC оборудован фильтром ТРИОН РОС 9. Эффективность пылеуловителя, согласно паспортным данным, составляет 99,93%. Очищенный воздух выбрасывается в помещение цеха, откуда поступает в атмосферный воздух неорганизованно через открытые окна. Кроме того, на шлифовальном и заточном участках, в процессе работ в атмосферный воздух выбрасываются: дижелезо триоксид, пыль абразивная, масло минеральное нефтяное, диалюминий триоксид, медь оксид, олово оксид, пыль латуни неорганизованно, через окна

Цех по производству опытных образцов оснащен местными отсосами, газоходы которых объединяются в общую трубу, оборудованную ГОУ - фильтр TRION T 2600. Концентрации на выходе из фильтра, инструментальным методом определить невозможно, в связи с отсутствием после короба газоходов. Очищенный воздух поступает в атмосферу через 2 решетки электростатических ячеек. Согласно техническим характеристикам фильтра эффективность очистки составляет 99%. Фильтр очищает воздух от пыли,

копоти, смога и паров жира.

В процессе работы паячного цеха работы в атмосферный воздух организованно поступают загрязняющие вещества: олово оксид, углерода оксид, диметилбензол

Рядом с помещением производства опытных деталей расположен дизельный генератор AKSA AD 275. Дизельный генератор аварийный, на случай отключения электроэнергии. Раз в месяц ДЭС запускают для опробования на 20 минут в день на 10 % мощности. ДЭС находится в защитном кожухе. Выбрасываемые загрязняющие вещества: азота оксид, азота диоксид, углерод (пигмент черный), сера диоксид, углерод оксид, бенз/а/пирен, формальдегид, керосин поступают неорганизованно, через решетки в кожухе.

В цеху по производству жидкой резины, все технологическое оборудование оборудовано отдельными местными системами вытяжной вентиляции, газоходы которых объединяются в пять труб. Выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух осуществляются организованно, через трубы высотой 7 м. На радиомонтажном участке расположены две паяльные станции. Пайка осуществляется электрическим паяльником с помощью припоя ПОС 61. Место оборудовано местным отсосом. Выброс загрязняющих веществ (свинец и его неорганические соединения) осуществляется организованно, через трубу высотой 25 м. На слесарном участке выброс загрязняющих веществ (дижелезо триоксид, пыль полиамида, медь оксид, диалюминий триоксид, олово оксид, пыль латуни) осуществляется неорганизованно, через окна участка

В соответствии с п. 28 Приказа Минприроды России от 19.11.2021 г № 871, для определения показателей выбросов от всех неорганизованных источников использован расчетный метод. [3,5,7].Автоматизированные расчеты анализа выбросов были проведены с помощь программы расчетов: «Унифицированная программа расчета загрязнения атмосферы» (УПРЗА) «Эколог». Результаты расчетов не выявили превышений ПДК ни по одному из загрязняющих веществ. [5,7.9,10].

Качественные и количественные характеристики выбросов определены согласно протоколу испытаний №0164/0366-взв от 29.04.2022 г. ГАУ РК «ЦЛАТИ». Согласно полученным данным не было выявлено превышение ПДК на границе СЗЗ ни по одному их рассчитываемых параметров [3,5.7,8.11].

Однако при учете комбинированного действия загрязняющих веществ, выбрасываемых от всех исследуемых источников, было выявлено превышение нормируемого показателя в 0,8ПДК по следующим веществам: диоксид азота (1,5ПДК), оксид углерода (1ПДК) и диоксид серы (1,02ПДК).

Полученные результаты свидетельствуют о недостаточности очистки газовых выбросов. Имеющееся оборудование не подходит для предприятия такого уровня и категории.

Разработанная программа экологической эффективности объекта позволит не только избежать ухудшения сложившейся экологической ситуации, но и предполагает улучшение экологического имиджа предприятия на рынке товаров. Предлагается проведение следующих мероприятий: качественное изменение основных технологий производства (замена гальванического напыления на нанонапыление) позволит не только максимально снизить количество образующихся выбросов загрязняющих веществ, так количество образующихся производственных отходов; вторичное использование в качестве сырья переработанного пластика на производстве позволит применить на предприятии «зеленые» экологичные технологии без снижения экономического эффекта; применение наилучших доступных природоохранных мероприятий (включая замену устаревших фильтров).

Выводы и рекомендации

1. В ходе инвентаризации были выявлены следующие источники загрязнения атмосферного воздуха: гальванический цех, производственный цех, испытательная лаборатория, цех производства жидкой резины, конструкторское бюро сопровождения и поддержки разработки, административное здание.
2. Источниками выделения являются: линии обработки меди, стальных деталей, деталей из алюминия, линия меднения и серебряного покрытия, линия экспериментального гальванического производства, серебрение и улавливание Ag, весовая, слесарная мастерская, крацовочное отделение окраски, отделение окраски, посещение снятия окраски, химическая лаборатория, заготовительный участок, слесарно-ремонтный участок, участок станков с ЧПУ, сварочный участок, заточный участок, производство опытных деталей.
3. По результатам расчетов выбрасываемые загрязняющие вещества не превышают ПДК на границе СЗЗ, однако, учёт комбинированного действия выявлено превышение 0.8

ПДК по следующим веществам: азота диоксид, с диоксид, углерода диоксид.

4. На предприятии ООО "Электрон" используются: фильтр сварочного дыма А-002 передвижной картриджный, воздухоочиститель с тканевым фильтром Трион РОС серии, электростатические воздухоочистители Трион Т серии, однако проведенные расчеты показали недостаточность очистки ЗВ.
5. Разработанная программа экологической эффективности объекта позволит не только избежать ухудшения сложившейся экологической ситуации, но и предполагает улучшение экологического имиджа предприятия на рынке товаров

Таким образом, полная модернизация предприятий ООО «Электрон» снизит уровень превышения доли ПДК, выведет предприятие на новый «зеленый уровень», и снизит его категорию опасности. Полная модернизация производства переведет предприятие с II класса опасности на III класс опасности, что сделает его более экологичным.

Список литературы

1. Косовская М.А., Лямина Н.В, Ленивенко Н.Н. Оценка динамики изменения степени аэрозагрязнения воздуха г.Севастополя Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 1. С. 105-113.
2. Голуб, В.А.Экономика природопользования. - М.: АСПЕКТ-ПРЕСС, 2005. -192с.
3. Приказ Минприроды № 871 от 19.11.2021 «Об утверждении Порядка проведения инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, корректировки ее данных, документирования и хранения данных, полученных в результате проведения таких инвентаризации и корректировки», где описано почему такая нумерация источников ЗВ).
4. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ.
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 13.07.2019 N 891 "Об утверждении Правил проведения инвентаризации сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду".
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 16.05.2016 N 422 "Об утверждении Правил разработки и утверждения методик расчета выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух стационарными источниками".
7. Приказ Минприроды России от 19.11.2021 N 871 "Об утверждении Порядка проведения инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, корректировки ее данных, документирования и хранения данных, полученных в результате проведения таких инвентаризации и корректировки".
8. Приказ Минприроды России от 31.07.2018 N 341 "Об утверждении Порядка формирования и ведения перечня методик расчета выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух стационарными источниками".
9. Приказ Минприроды России от 11.08.2020 N 581 "Об утверждении методики разработки (расчета) и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух".
10. Приказ Минприроды России от 06.06.2017 N 273 "Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе".
11. Приказ Минприроды России от 18.02.2022 N 109 "Об утверждении требований к содержанию программы производственного экологического контроля, порядка и сроков представления отчета об организации и о результатах осуществления производственного экологического контроля".
12. Приказ от 23.12.2022 N 907 "Об утверждении Правил разработки программы повышения экологической эффективности".

References

1. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Lenivenko N.N. Assessment of the dynamics of changes in the degree of aerosol pollution of the air of Sevastopol Power plants and technologies. 2021. Vol. 7. No. 1. pp. 105-113.
2. Golub, V.A.Economics of environmental management. - M.: ASPECT-PRESS, 2005. -192s.
3. Order of the Ministry of Natural Resources No. 871 dated 11/19/2021 "On approval of the Procedure for Conducting an Inventory of stationary Sources and Emissions of Pollutants into the atmospheric air, correcting its data, documenting and storing data obtained as a result of such an inventory and adjustment", which describes why such numbering of sources is used)
4. Federal Law "On Environmental Protection" dated 10.01.2002 No. 7-FZ.
5. Resolution of the Government of the Russian Federation No. 891 dated 07/13/2019 "On approval of the Rules for conducting an Inventory of discharges of pollutants into the environment".
6. Resolution of the Government of the Russian Federation dated 05/16/2016 No. 422 "On approval of the Rules for the development and approval of methods for calculating emissions of harmful (polluting) substances into the atmospheric air by stationary sources".
7. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 11/19/2021 No. 871 "On

approval of the Procedure for conducting an Inventory of stationary sources and emissions of pollutants into the atmospheric air.
8. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 07/31/2018 No. 341 "On approval of the Procedure for forming and maintaining a list of methods for calculating emissions of harmful (polluting) substances into the atmospheric air by stationary sources".
9. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 08/11/2020 No. 581 "On approval of the methodology for developing (calculating) and establishing standards for permissible emissions of pollutants into the atmospheric air".
10. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 06/06/2017 No. 273 "On approval of methods for calculating the dispersion of emissions of harmful (polluting) substances in atmospheric air".
11. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 02/18/2022 No. 109 "On approval of requirements for the content of the industrial environmental control program, the procedure and deadlines for submitting a report on the organization and on the results of industrial environmental control".
12. Order No 907 dated 12/23/2022 "On approval of the Rules for the Development of an environmental Efficiency improvement program".

УДК 502.36

Разработка комплекса природоохранных мероприятий на предприятии ООО «БИОН»

М.А. Косовская[1], Н.Н. Ленивенко[2]

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, [1] MAKosovskaya@sevsu.ru, [2]nnlenivenko@mail.sevsu.ru

Статья поступила 12.02.2024 г. после доработки 13.02.2024 г.

Аннотация

Совершенствование природоохранной деятельности на предприятии имеет ключевое значение для решения экологических проблем. В настоящее время природоохранные мероприятия минимизируют последствиям воздействия на компоненты окружающей среды, не учитывая эффекты суммированного воздействия и синергизма, что возможно только при разработке комплекса мероприятий. Предприятие «БИОН» значительно воздействует неорганизованными источниками на состояние атмосферного воздуха, сбрасывает неочищенные стоки. Разработанный комплекс природоохранных мероприятий позволит не только минимизировать воздействие промышленного предприятия на окружающую среду, но и улучшит конкурентную способность предприятия за счет выполнения принципов рационального природопользования.

Ключевые слова: загрязнение, промышленные предприятия, контроль состояния окружающей среды, рациональное природопользование, производство щебня, неорганизованные источники, комплекс природоохранных мероприятий.

Development of a complex of environmental protection measures at the BION LLC enterprise

M.A. Kosovskaya[1], N.N. Lenivenko[2]

Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, [1] MAKosovskaya@sevsu.ru, [2]nnlenivenko@mail.sevsu.ru

Received 12.02.2024 y.; received in final form 13.02.2024 y.

Abstract

The improvement of environmental protection activities at the enterprise is of key importance for solving environmental problems. Currently, environmental protection measures minimize the impact on environmental components, without taking into account the effects of cumulative effects and synergies, which is possible only when developing a set of measures. The BION enterprise significantly affects the state of atmospheric air with unorganized sources, discharges untreated wastewater. The developed complex of environmental protection measures will not only minimize the impact of an industrial enterprise on the environment, but also improve the competitive ability of the enterprise by implementing the principles of rational environmental management.

Keywords: pollution, industrial enterprises, environmental control, environmental management, crushed stone production, unorganized sources, a set of environmental measures

Введение

Постоянно растущее количество различных предприятий приводит не только к загрязнению атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, но и деградации окружающей среды в целом, поэтому совершенствование природоохранной деятельности на предприятии имеет ключевое значение для решения проблем охраны окружающей среды [1]. Решение этих вопросов является основополагающим фактором для до-

стижения на предприятии рационального природопользования, что в свою очередь напрямую, зависит от того насколько четко все лица, имеющие отношение к принятию и исполнению управленческих решений, осознают стратегическую необходимость действовать в соответствии с принципами рационального природопользования.

В настоящее время природоохранные производственные мероприятия направлены на решении проблемы «на конце трубы», то есть минимизируются последствиям воздействия на компоненты окружающей среды, не учитывая эффекты суммированного воздействия и синергизма, что возможно только при разработке комплекса мероприятий по защите окружающей среде в целом [1,2].

Опыт внедрения принципов рационального природопользования убедительно показывает, что предприятия, которые пропагандируют самое серьезное отношение к вопросам защиты окружающей среды, имеют гораздо более высокие конкурентные преимущества по сравнению с предприятиями, не учитывающие в должной мере экологические принципы природопользования. Зачастую, природоохранную политику и экологические стандарты рассматривают политические аспекты, затрагивающие экономическую успешность развития собственных производств, игнорируя то обстоятельство, что практика рационального природопользования несет предприятию ряд существенных преимуществ и выгод [2].

Во-первых, это значительное снижение затрат:

- вследствие снижения ресурсо- и энергопотребления;
- в результате повторной утилизации, продажи побочных продуктов и отходов производства; любые отходы производства, использующиеся повторно, автоматически становятся дополнительным сырьем;
- минимальные платы за ресурсы и загрязнение ОС.

Во-вторых, это рост доходов:

- создание совершенно новых видов экологически чистых продуктов, что автоматические поднимает цены;
- более высокая конкурентоспособность;
- возрастание спроса на традиционные виды продукции с лучшими экологическими показателями [2].

В-третьих, к преимуществам следует так же отнести:

- «положительный» имидж в глазах общественности и потенциальных партнеров, и инвесторов, создание «зеленого имиджа»;
- благоприятные и конструктивные взаимоотношения с органами власти и управления, общественностью и «зелеными» движениями;
- рост возможностей выхода на экспорт продукции. [2].

Цель статьи (постановка задач)

Целью исследования является разработка комплекса природоохранных мероприятий на действующем производственном объекте.

В соответствии с данной целью были поставлены такие задачи:

- провести инвентаризацию источников воздействия на атмосферный воздух;
- проанализировать водопользование объекта, отходы производства и потребления;
- разработать комплекс мероприятий по уменьшению негативного воздействия на компоненты окружающей среды,
- разработать мероприятия по компенсации уже имеющегося воздействия.

Объектом исследования был выбран действующий производственный объект - общество с ограниченной ответственностью «БИОН» (далее – ООО «БИОН»)

Постановка проблемы

ООО «Бион»– предприятие, основанное в 2015 году и осуществляющее свою хозяйственную деятельность по добыче пильных известняков при разработке карьера в Белогорском районе Республики Крым. Объект расположен на расстоянии 300 м от военной части; на расстоянии 148 м от реки Биюк-Карасу, на расстоянии 600 м от очистных сооружений; на расстоянии 300 м от садового товарищества «Мираж». Данное расположение обуславливает контроль воздействия как на природный объект, так и на жилые сооружения

Одним из основных промышленных частей является производственная площадка с дробильно-сортировочным комплексом для производства щебня при обработке и утилизации неопасных отходов. Производство щебня осуществляется в соответствии с СанПин 2.2.1./2.1.1.-1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, со-

оружений и иных объектов» [3]. Производственная площадка, включающая в себя дробильно-сортировочный комплекс. Предприятие относится к III классу санитарной классификации с размером санитарно-защитной зоны 300 м. На рисунке 1 представлена промышленная площадка исследуемого производственного объекта.



Рис.1 Щековая дробилка ООО «Бион»

На предприятии применяют одностадийную схему переработки при производстве щебня. Исходный материал доставляется на площадку грузовым автотранспортом, сторонних организаций по договору. После пересыпки исходного материала на склад, автопогрузчик пересыпает исходный материал в бункер-приемник, где происходит отделение материала с последующим поступлением на щековую дробилку. Затем с помощью ленточных конвейеров транспортируется на следующие площадки для дальнейшего дробления. Пересыпка щебня в склады временного хранения осуществляется с ленточных конвейеров. Из складов для временного хранения при помощи автопогрузчика щебень перегружается в грузовой автотранспорт заказчика.

Природоохранная деятельность предприятия представляет собой комплекс мероприятий, направленных на недопущение, минимизацию и ликвидацию последствий вредного воздействия основной производственной деятельности на все компоненты окружающей среды. Существует два основных направления природоохранной деятельности на предприятии [4].

Первое - очистка вредных выбросов предприятий. Сюда относятся обезвреживание, ликвидация или утилизация вредных отходов путем создания разного рода природоохранных объектов - сооружений по очистке промышленных и бытовых сточных вод, газо- пылеулавливающего оборудования, утилизационных установок мусороперерабатывающих заводов, установок по сбросу жидких и твердых отходов. Такое направление позволяет минимизировать воздействие, но остаточные загрязняния все же будут достаточно высокими. Второе направление - устранение самих причин загрязнения, то есть разработка ресурсосберегающих и малоотходных технологий производства. Этот путь является наиболее эффективным и экологичным. [1,4,5].

Однако, применение второго направления чаще всего сложно в связи со своей достаточно высокой затратностью и невозможностью применения на уже действующих объектах, тогда как применение первого не является экологичным. Поэтому чаще всего наиболее эффективным является применение синтеза первого (например, для охраны атмосферного воздуха) и второго (например, для очистки поверхностных загрязненных стоков).

Результаты исследований

В ходе анализа источников загрязнения, расположенных на территории исследуемого объекта установлено, что основными источниками загрязнения атмосферного воздуха является дробильно-сортировочный комплекс (ДСК), включающий: склад хранения; бункер-приемник; питатель; дробилка; ленточные конвейеры 1-8; склады временного хранения готовой продукции; автопогрузчик и гараж для стоянки автотранспорта. Особенность анализа загрязнения атмосферного воздуха является отсутствие на данном объекте организованных источников, требующими проведение обязательного экологического контроля. Неорганизованные источники подвергаются только производственному контролю, что не снижает степени их воздействия. Основное воздействие на атмосферный воздух осуществляется на самом ДСК, контроль за которой не ведется. Производство осуществляется на открытой площадке, а в атмосферный воздух поступает большая часть взвешенных веществ без какой-либо очистки.

Расчет выделения пыли при ведении погрузочно-разгрузочных работ выполнен в соответствии с «Методическим пособием по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов», Новороссийск, 2001 [6,7].

Проведенный анализ не показал значительного превышения основных загрязняющих веществ на границе санитарно-защитной зоны. Однако, при учете комбинированного воздействия всех источников и эффекта суммации было выявлено превышение концентраций оксидов азота, серы и углерода как на промышленной площадке, так и на границе санитарно-защитной

зоны.

В свою очередь источниками загрязнения водных ресурсов является также дробильно-сортировочный комплекс и бытовые помещения, расположенные на территории производственного объекта. Вода поступает на производство из городской системы водоснабжения, то есть относится к питьевому классу. Контроль за качеством воды ведется Центром контроля качества воды, центр имеет аккредитацию Госстандарта России. Пробы воды для анализа отбираются ежедневно в разных районах города на насосных станциях, из колонок и водопроводных кранов. На водозаборе каждые 2 часа проводиться анализ воды на содержание остаточного хлора. Контроль за качеством сточных вод на ООО «БИОН» не ведется [9]. Сточные воды по большей части включают в себя ливневые и талые воды, а также отходы жидкие коммунальные, подобные коммунальным на производстве. Поверхностные воды, образующиеся на незагрязненных участках территории предприятия, через решетки объединяются с незагрязненными производственными сточными водами и выпускаются в р. Биюк-Карасу без очистки, что является прямым нарушением природоохранного законодательства.

Отходы, образующиеся на территории предприятия передаются специализированному предприятию, а именно – региональному оператору. На объекте отсутствуют паспорта на отходы и оборудованная площадка для отходов, образованных в результате производства.

На основании полученных данных разработан комплекс мероприятий по уменьшению негативного воздействия на компоненты окружающей среды, а также разработаны мероприятия по компенсации имеющегося воздействия предприятием ООО «Бион». Комплекс природоохранных мероприятий разработан по трем направлениям:

Мероприятия по минимизации выбросов включают:

- замену открытых складов хранения материалов на закрытые полубункерные склады хранения заполнителей [9],
- перемещение дробильной установки в крытый цех из сборных предварительно напряженных железобетонных элементов,
- установку фильтров для очистки выбрасываемых веществ в атмосферный воздух из дробильной установки. Рекомендуется применить рукавный фильтр с импульсной регенерацией, который предназначен для очистки выбросов, образованных в дробильной камере (пример такого рукавного фильтра с импульсной регенерацией представлен на рисунке 2 [10-15]).

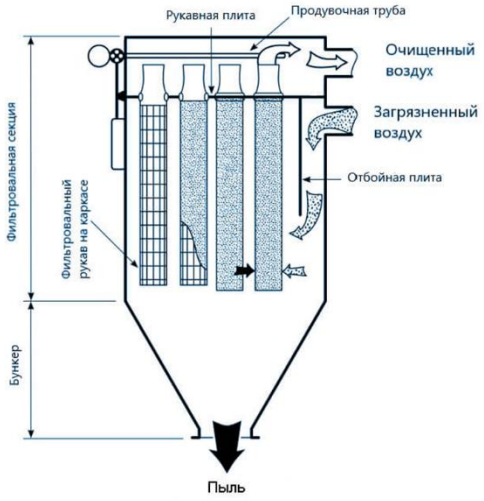


Рис.2 Рукавный фильтр с импульсной регенерацией (фото из Интернет источника)

Мероприятия по достижению рационального использования водных ресурсов включают:

- прекращение выпуска неочищенных вод, образованных на территории производственного объекта ООО «Бион» в водный объект р. Биюк-Карасу,
- оборудование пескоуловителя ливневой канализации для удаления крупных механических включений (на рисунке 3 представлен пример такого фильтра).

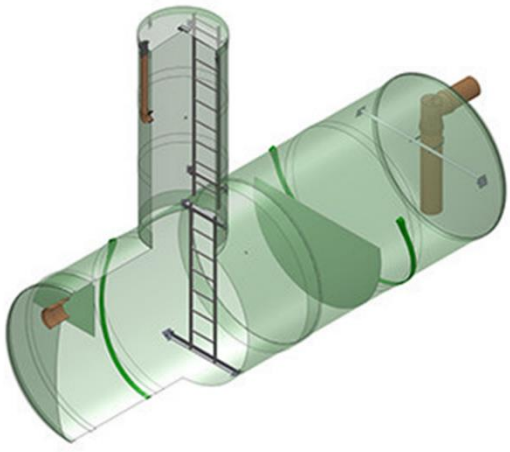


Рис.3 Пескоуловитель для ливневой канализации (фото из Интернет источника)

Пескоуловитель для ливневой канализации, используется с целью очистки загрязненных вод, образованных на производственной площадке от

удаления крупных механических включений (песок, мелкий щебень, тонущие твердые минеральные частицы). Фильтрующие устройства делятся конструктивно на чистую и грязную камеры. Во второй находится отсек, в который входит грязная газовоздушная среда, пылеотбойник, бункер и внешняя часть текстиля изделия. Чистая камера отделяется специальной рамой. На ней крепятся пылесборники. От чистой камеры воздушный поток поступает к выходному клапану, где расположены механизмы регенерации.

Комплексные и компенсационные мероприятия, позволяющие минимизировать уже нанесённый ущерб, включают [10-15]:

- озеленение санитарно-защитной зоны;
- разработка мероприятий по снижению уровня шума;
- минимизация электро- и водопотребления;
- проведение систематических инструктажей по экологической безопасности;
- оборудование отдельные места для отдыха и курения;
- проведение организованных общественных мероприятий по сбору отходов;
- оборудование отдельные площадки для отходов производства.

Выводы и рекомендации

1. В ходе анализа источников загрязнения, расположенных на территории исследуемого объекта установлено, что основными источниками загрязнения атмосферного воздуха является ДСК, включающий: склад хранения; бункер-приемник; питатель; дробилка; ленточные конвейеры 1-8; склады временного хранения готовой продукции; автопогрузчик и гараж для стоянки автотранспорта. Проведенный анализ не показал значительного превышения основных загрязняющих веществ на границе санитарно-защитной зоны. Однако учет комбинированного воздействия всех источников и эффекта суммации выявил превышение концентраций оксидов азота, серы и углерода как на промышленной площадке, так и на границе санитарно-защитной зоны;
2. В ходе анализа загрязнения водной среды было выявлено, что предприятием осуществляется сброс неочищенных вод в реку Биюк-Карасу, что является прямым нарушением природоохранного законодательства;
3. На объекте отсутствуют паспорта на отходы и оборудованная площадка для отходов, образованных в результате производства;
4. По результатам проверки разработан комплекс природоохранных мероприятий по трем направлениям: мероприятия по минимизации выбросов (замена открытых складов хранения материалов на закрытые полубункерные склады хранения заполнителей, перемещение дробильной установки в крытый цех из сборных предварительно напряженных железобетонных элементов, установить фильтр для очистки выбрасываемых веществ в атмосферный воздух из дробильной установки); мероприятия по достижению рационального использования водных ресурсов (прекращение сброса неочищенных вод, образованных на территории производственного объекта ООО «Бион» в водный объект р. Биюк-Карасу, оборудование пескоуловителя ливневой канализации для удаления крупных механических включений); комплексные и компенсационные мероприятия (озеленение санитарно- защитной зоны, разработка мероприятий по снижению шума, минимизация электро- и водопотребления, проведение систематических инструктажей по экологической безопасности, оборудовать отдельные места для отдыха и курения, проведение организованных общественных мероприятий по сбору отходов, оборудовать отдельные площадки для отходов производства).

Предлагаемые комплексные и компенсационные мероприятия, позволят минимизировать уже нанесённый ущерб.

Таким образом, разработанный комплекс природоохранных мероприятий позволить не только минимизировать воздействие промышленного предприятия на окружающую среду, что позволит снизить плату за ресурсы и загрязнение ОС., так же это снижение издержек вследствие экономии ресурсо- и энергопотребления; но и улучшить конкурентную способность предприятия за счет выполнения принципов рационального природопользования.

Список литературы

1. Косовская М.А., Лямина Н.В, Ленивенко Н.Н. Оценка динамики изменения степени аэрозагрязнения воздуха г.Севастополя Энергетические установки и технологии. 20212021. Т. 7. № 1. С. 105-113.
2. Голуб, В.А.Экономика природопользования. -

М.: АСПЕКТ-ПРЕСС, 2005. -192с.
3. СанПин 2.2.1. /2.1.1. -1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»;
4. Нестеров ,П.М.Экономика природопользования и рынок.- М.: ЮНИТИ, 2007. -289с.
5. Kosovskaya M., Lyamina N., Semenova E., Gnilomedova N., Kuzmin A., Tsokalo I. APPLICATION OF CONIFEROUS DENDROFORMS FOR BIOTESTING OF COASTAL URBAN ENVIRONMENTS В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. "Topical Problems of Agriculture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2020" 2020. С. 04037
6. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания;
7. Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов. - Новороссийск, ЗАО «НИПИОТСТРОМ», 2001. -294с.
8. Приказ Госкомводхоза от 09.12.2016 г. № 209 «Об установлении границ водоохранных зон и границ прибрежных защитных полос р. Биюк-Карасу с притоками р. Кучук-Карасу, р. Тана-Су, р. Сары-Су (1 этап), а также Тайганского и Белогорского водохранилищ на территории Республики Крым»;
9. М.А. Мальцева, главный специалист ЗАО «Пурсей корп.», канд. биол. Наук Статья опубликована в журнале «Справочник эколога» № 4, 2013;
10. https://poznayka.org/s62455t2.html;
11. http://kod-fkko.ru/kod-91920402604-obtirochnyy-material-zagryaznennyy/;
12. http://kod-fkko.ru/kod-91920402604-obtirochnyy-material-zagryaznennyy/;
13. http://kod-fkko.ru/kod-73610000000-othody-kuhon-i/;
14. https://arsenalsystems.ru/aspiracija-na-proizvodstve/;
15. https://helyx-systems.com/products/los/peskoulovitel-dlya-livnevoy-kanalizatsii/.

References

1. Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Leni-venko N.N. Assessment of the dynamics of changes in the degree of aerosol pollution of the air of Sevastopol Power plants and technologies. 20212021. Vol. 7. No. 1. pp. 105-113.
2. Golub, V.A.Economics of natural resources. - M.: ASPECT-PRESS, 2005. -192s.
3. SanNR 2.2.1. /2.1.1. -1200-03 " Sanitary protection zones and sanitary classification of enterprises, structures and other facilities";
4. Nesterov,P.M.Economics of natural use and the market.- M.: UNITY, 2007. -289c.
5. Kosovskaya M., Lyamina N., Semenova E., Gnilomedova N., Kuzmin A., Tsokalo I. Ap-plication of coniferous dendro-forms for biotesting of coastal urban environments In the collection: E3S Web of Conferences. Series "Topical Problems of Agriculture, Civil and Environmental Engineer-ing, TPACEE 2020" 2020. pp. 04037
6. SanNR 1.2.3685-21 Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans
7. Methodological guide for calculating emissions from unorganized sources in the construction materials industry, Novorossiysk, 2001.
8. Order of the State Committee of Water Resources dated 09.12.2016 No. 209 "On establishing the boundaries of water protection zones and the boundaries of coastal protection strips of the Biyuk-Karasu river with tributaries of the Kuchuk-Karasu River, the Tana-Su river Sary-Su river (stage 1), as well as the Taigan and Belogorsky reservoirs on the territory of the Republic of Crimea";
9. M.A. Maltseva, Chief Specialist of JSC "Pursey Corp.", Candidate of Sciences. biol. The article was published in the journal "Handbook of the Ecologist" No. 4, 2013
10. https://poznayka.org/s62455t2.html;
11. http://kod-fkko.ru/kod-91920402604-obtirochnyy-material-zagryaznennyy/;
12. http://kod-fkko.ru/kod-91920402604-obtirochnyy-material-zagryaznennyy/;
13. http://kod-fkko.ru/kod-73610000000-othody-kuhon-i/;
14. https://arsenalsystems.ru/aspiracija-na-proizvodstve/;
15. https://helyx-systems.com/products/los/peskoulovitel-dlya-livnevoy-kanalizatsii/.

УДК.66.07

Влияние ионного состава растворов трехвалентного железа на извлечение урана при кучном выщелачивании

С.А. Котельникова
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия, e-mail*: cvetlana.83@inbox.ru*

Статья поступила 01.02.2024 г.; после доработки 02.02.2024 г.

Аннотация
Рассмотрен один из теоретических аспектов интенсификации технологии кучного выщелачивания урана из бедных и забалансных руд, содержащих в своем составе железо.

Ключевые слова: кучное выщелачивание, интенсификация процесса.

Influence of the ionic composition of trivalent iron solutions on the extraction of uranium during heap leaching

S.A. Kotelnikova
Sevastopol state University, Sevastopol, 299002 Russiae-mail:cvetlana.83@inbox.ru)

Received 01.02.2024 y.; received in final form 02.02.2024 y.

Abstract
It is considered one of theoretical aspects of the heap leaching technology intensification of the uranium from poor- and beyond balanced ores contained iron.

Keywords: heap leaching, process intensification.

Введение

Роль окислителей при сернокислотном выщелачивании урана из руд, содержащих труднovскрываемые минералы урана (браннерит и уранинит), высока т.к. они значительно ускоряют извлечение урана в раствор. К таким окислителям можно отнести MnO_2, $Fe_2(SO_4)_3$, $NaClO_3$, Cl_2, H_2O_2, O_3, $K_2Cr_2O_7$, $KMnO_4$ [1].

Эти окислители обеспечивают необходимую скорость и степень окисления Fe^{2+} до Fe^{3+} - ионов, которые выполняют роль непосредственного окислителя четырехвалентного урана в руде. Причем наибольший эффект достигается при применении окислителей, способных поддерживать достаточно высокий (и постоянный) редокс-потенциал (не менее 400-500 мВ).

Большая роль ионов Fe (III) при кислотном выщелачивании урана из руд с участием других окислителей отмечена в ряде работ [1 - 3]. Известно также, что ионный состав растворов Fe (III) существенно изменяется в зависимости от pH и других факторов. Однако обычно при исследовании растворения диоксида урана принимались во внимание только негидролизованные ионы трехвалентного железа.

Постановка цели и задач научного исследования

Целью данной работы является рассмотрение влияния ионного состава растворов Fe (III) в

широком интервале pH и роли Fe^{3+} и его гидролизованных форм в процессе растворения диоксида урана. Для этого необходимо рассмотреть зависимость степени растворения UO_2 от концентрации ионов водорода с участием Fe (III) в качестве окислителя, значение ионного состава растворов Fe (III) при растворении диоксида урана.

Результаты научного исследования

Экспериментальные данные, полученные при исследовании растворения UO_2 в серной кислоте различной концентрации, приведены в табл. 1. Значения pH, указанные в скобках, не определялись непосредственно, а вычислены по концентрации H_2SO_4 на основании приближенных данных справочника [4].

Таблица 1 *Зависимость степени растворения UO_2 (в %) от концентрации ионов водорода с участием Fe (III) в качестве окислителя*

pH	H_2SO_4, г/л	Без окислителя	Fe (III)
3,5	–	1,1	1,9
3,0	–	1,2	2,0
2,5	–	1,2	17,4
2,0	–	1,2	49,2
1,5	–	1,2	71,9
1,2	5	1,2	69,2
(0,95)	10	1,3	63,1
(0,6)	25	1,3	51,0
(0,3)	50	1,3	48,0
–	100	1,2	32,6
–	200	1,3	16,5

Из данных табл. 1 ясно, что в отсутствие окислителя во всей изученной области кислотности процесс практически не протекает. При введении Fe (III) степень растворения диоксида урана в определенной области pH становится высокой.

Обычно принимают, что этот процесс протекает по уравнению

$$UO_2 + 2Fe^{3+} \rightarrow UO_2^{2+} + 2Fe^{2+}. \quad (1)$$

Из этого, однако, не следует делать вывод об участии в процессе именно негидролизованных ионов Fe3+, так как тогда было бы непонятным влияние pH на степень растворения диоксида урана. В работе [5] было показано, что скорость окисления U (IV) железом (III) в хлорнокислом растворе при возрастании концентрации кислоты от 0,105 до 1,021 моль/л уменьшается. Автор объясняет влияние концентрации водородных ионов тем, что в процессе окисления принимают участие гидролизованные ионы Fe(III), а именно FeOH2+ и Fe(OH)+.

По-видимому, Fe(III) в качестве окислителя в кислых растворах сохраняет те же свойства и в случае гетерогенных процессов, в частности, при окислении и растворении UO2 в сернокислом растворе. При таком предположении процесс, выражаемый суммарным уравнением (I), состоит из трех последовательных реакций, если в процессе окисления принимает участие, например, ион FeOH2+:

$$\begin{aligned} &а) 2Fe^{3+} + H_2O \leftrightarrow 2FeOH^{2+} + 2H^+; \\ &б) UO_2 + 2FeOH^{2+} \rightarrow UO_2^{2+} + 2FeOH \\ &в) 2FeOH^+ + 2H^+ \rightarrow 2Fe^{2+} + 2H_2O \end{aligned}$$

(2)

Реакция 2(а) представляющая собой обратимый процесс, протекает быстро, нет оснований полагать, что медленной является и реакция (2, в), поэтому вероятно, что скорость суммарного процесса определяет гетерогенный процесс окисления (2, б). Отсюда вытекает, что скорость растворения диоксида урана должна быть пропорциональна концентрации FeOH2+. При некоторой продолжительности процесса этим же определяется и степень перехода урана в раствор.

Концентрация FeOH2+ зависит от концентрации водородных ионов и общей концентрации Fe (III). Ее можно вычислить при использовании имеющихся в литературе значений первой и второй констант гидролиза:

$$\frac{\left[FeOH^{2+}\right]\left[H^+\right]}{\left[Fe^{3+}\right]} = K_1; \quad (3)$$

$$\frac{\left[Fe(OH)_2^+\right]\left[H^+\right]}{\left[FeOH^{2+}\right]} = K_2. \quad (4)$$

При общей концентрации Fe (III), превышающей 10-3 моль/л, нельзя пренебречь также образованием двухъядерного иона:

$$\frac{\left[Fe_2(OH)_2^{4+}\right]\left[H^+\right]}{\left[FeOH^{2+}\right]^2} = K_d, \quad (5)$$

где Kd – константа димеризации.

Для тех значений pH, при которых ещё не образуется Fe(OH)3, можно написать следующее уравнение:

$$\left[Fe^{3+}\right]+\left[FeOH^{2+}\right]+\left[Fe_2\left(OH_2^{4+}\right)\right]+ \\ +\left[Fe\left(OH\right)_2^{+}\right]=Fe(III). \quad (6)$$

Это уравнение дает возможность вычислить концентрацию иона FeOH2+ путем подстановки в уравнение (6) вместо концентраций других ионов железа выражений, вытекающих из уравнений (3) - (5):

$$\frac{\left[FeOH^{2+}\right]\left[H^{+}\right]}{K_1}+\left[FeOH^{2+}\right]+K_d\left[FeOH^{2+}\right]^2+ \\ +\frac{\left[FeOH^{2+}\right]K_2}{\left[H^{+}\right]}=Fe(III) \quad (7)$$

Легко убедиться, что

$$\left[FeOH^{2+}\right]=\frac{1}{2K_d}\left\{\left(\frac{\left[H^{+}\right]}{K_1}+\frac{K_2}{\left[H^{+}\right]}+1\right)+\right. \\ \left.\left[\left(\frac{\left[H^{+}\right]}{K_1}+\frac{K_2}{\left[H^{+}\right]}+1\right)+4K_d Fe(III)\right]\right\}^{1/2} \quad (8)$$

При более высоких значениях pH в условиях образования $Fe(OH)_3$ для вычисления концентрации $FeOH^{2+}$ можно воспользоваться тем, что здесь концентрация Fe^{3+} полностью определяется концентрацией водородных ионов и произведением растворимости:

$$\left[Fe^{3+}\right]\left[OH^{-}\right]^3=K. \quad (9)$$

Из уравнений (3) и (9) вытекает, что

$$\left[FeOH^{2+}\right]=\frac{KK_1}{\left[H^{+}\right]\left[OH^{-}\right]^3} \text{ или} \\ \left[FeOH^{2+}\right]=\frac{KK_1\left[H^{+}\right]^2}{K_w^3}, \quad (10)$$

где K_w – ионное произведение воды.

Если постепенно повышать концентрацию водородных ионов, то по уравнению (10) концентрация $FeOH^{2+}$, а, следовательно, и степень растворения UO_2, должны возрастать. Однако это уравнение справедливо только до тех пор, пока не образуется нерастворимый гидроксид $Fe(OH)_3$.

При дальнейшем повышении концентрации водородных ионов [$FeOH^{2+}$] определяется уже уравнением (8). Из этого уравнения, как можно показать, следует, что с увеличением [H^+] концентрация ионов $FeOH^{2+}$ уменьшается, то есть должна уменьшаться и степень растворения диоксида урана.

Экспериментальные данные, приведенные в табл. 1, подтверждают эти выводы.

При такой своеобразной зависимости концентрации $FeOH^{2+}$ от концентрации водородных ионов при некотором значении pH концентрация этого гидролизованного иона должна быть максимальной. Иначе говоря, на кривой этой зависимости существует только одна точка, в которой одновременно справедливы уравнения (8) и (10). Поэтому положение этой точки, в которой кривая претерпевает разрыв, можно найти с помощью уравнения

$$\frac{KK_1\left[H^{+}\right]^2}{K_w^3}=\frac{B+\sqrt{B}+4K_d Fe(III)}{2K_d}, \quad (11)$$

где $B=\frac{\left[H^{+}\right]}{K_1}+\frac{K_2}{\left[H^{+}\right]}+1.$

Уравнению (11) можно придать следующий вид:

$$\frac{K_2K_dK_1^2\left[H^{+}\right]^4}{K_w^6}+\frac{K\left[H^{+}\right]^2\left(\left[H^{+}\right]+K_1\right)}{K_w^3}=Fe(III) \quad (12)$$

и после подстановки значений констант и Fe(III) методом подбора определить значение [H^+], которое соответствует максимуму на кривой. При Fe (III) = 0,0741 моль/л и значениях констант, которые будут рассмотрены далее, максимальная величина [$FeOH^{2+}$] должна наблюдаться при [H^+] = $1{,}0\cdot10^{-2}$. Из уравнений (4) и (5) ясно, что при таком же значении [H^+] концентрации $Fe(OH)^+$ и $Fe_2(OH)_2^{4+}$ становятся наибольшими.

Автор [6] полагает, что ион $Fe(OH)_2^+$ отличается более высокой окислительной активностью в сравнении с ионом $FeOH^{2+}$. Поэтому нельзя исключить также возможности протекания суммарного процесса (1) по схеме

а) $2Fe^{3+} + 4H_2O \rightarrow 2Fe(OH)^+ + 4H^+$;

б) $UO_2 + 2Fe(OH)^+ \rightarrow UO_2^{2+} + 2Fe(OH)_2$;

в) $2Fe(OH)_2 + 4H^+ \rightarrow 2Fe^{2+} + 4H_2O$.

Напротив, окислительным действием $Fe(OH)_3$, по-видимому, можно пренебречь, так как скорость обмена электроном между Fe^{2+} и $FeOH^{2+}$ в 1000 раз больше, чем между Fe^{2+} и $Fe(OH)_3$ [5]. Поскольку окислительная активность иона $Fe_2(OH)_2^{4+}$ в настоящее время неиз-

вестна, необходимо учитывать и его концентрацию при различных значениях pH.

Результаты вычисления концентраций ионов Fe (III) при различных pH сведены в табл. 2. Общая концентрация Fe (III) составляет 0,0741 моль/л. Ионная сила растворов не поддерживалась постоянной.

По данным Мильберна и Восбурга [6], первая константа (K_d) гидролиза равна $1{,}84 \cdot 10^{-3}$ при $\mu = 0{,}6$ и $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ при $\mu = 2{,}0$. Поэтому для интервала $[H^+]$, в котором вычисление $[FeOH^{2+}]$ проводится по уравнению (8), при указанных значениях ионной силы можно принять K_1 равной $1{,}7 \cdot 10^{-3}$. Константа K_2 определена Теииши Ито и Норио Иуи [7]: она составляет $2{,}6 \cdot 10^{-5}$. Константа димеризации при $\mu = 1$, по Мильберну и Восбургу [6], равна $7{,}1 \cdot 10^{2}$. Значения $[FeOH^{2+}]$, вычисленные по уравнению (8) с использованием этих значений констант, отмечены в табл. 2 звездочкой.

Таблица 1 *Концентрация ионов железа (III) в растворе при $[Fe(III)]_{исх} = 0{,}0741$ моль/л и различных значениях pH*

pH	$[H^+]$	$[Fe^{3+}]$	$[FeOH^{2+}]$	$[Fe(OH)_2^+]$	$[Fe_2(OH)_2^{4+}]$	∑Fe(III)
0,00	10^{0}	$7{,}41 \cdot 10^{-2}$	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$*	$3{,}3 \cdot 10^{-9}$	$1{,}5 \cdot 10^{-5}$	$7{,}41 \cdot 10^{-2}$
1,00	10^{-1}	$7{,}21 \cdot 10^{-2}$	$1{,}22 \cdot 10^{-3}$*	$3{,}3 \cdot 10^{-7}$	$7{,}9 \cdot 10^{-4}$	$7{,}41 \cdot 10^{-2}$
1,52	$3 \cdot 10^{-2}$	$6{,}40 \cdot 10^{-2}$	$3{,}63 \cdot 10^{-3}$*	$3{,}2 \cdot 10^{-6}$	$6{,}5 \cdot 10^{-3}$	$7{,}41 \cdot 10^{-2}$
1,75	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$	$5{,}54 \cdot 10^{-2}$	$5{,}23 \cdot 10^{-3}$*	$7{,}6 \cdot 10^{-6}$	$1{,}34 \cdot 10^{-2}$	$7{,}41 \cdot 10^{-2}$
2,00	10^{-2}	$4{,}21 \cdot 10^{-2}$	$7{,}16 \cdot 10^{-3}$*	$1{,}9 \cdot 10^{-5}$	$2{,}48 \cdot 10^{-2}$	$7{,}41 \cdot 10^{-2}$
2,15	$7{,}1 \cdot 10^{-3}$	$1{,}14 \cdot 10^{-2}$	$2{,}74 \cdot 10^{-3}$	$1{,}0 \cdot 10^{-5}$	$3{,}9 \cdot 10^{-3}$	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$
2,30	$5{,}0 \cdot 10^{-3}$	$4{,}0 \cdot 10^{-3}$	$1{,}36 \cdot 10^{-3}$	$7{,}1 \cdot 10^{-6}$	$8{,}9 \cdot 10^{-4}$	$6{,}3 \cdot 10^{-3}$
2,50	$3{,}2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}1 \cdot 10^{-3}$	$5{,}6 \cdot 10^{-4}$	$4{,}6 \cdot 10^{-6}$	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$
2,70	$2 \cdot 10^{-3}$	$2{,}6 \cdot 10^{-4}$	$2{,}2 \cdot 10^{-4}$	$2{,}9 \cdot 10^{-6}$	$2{,}3 \cdot 10^{-5}$	$5{,}1 \cdot 10^{-4}$
3,00	10^{-3}	$3{,}2 \cdot 10^{-5}$	$5{,}4 \cdot 10^{-5}$	$1{,}4 \cdot 10^{-6}$	$1{,}4 \cdot 10^{-6}$	$8{,}9 \cdot 10^{-5}$
4,00	10^{-4}	$3{,}2 \cdot 10^{-8}$	$5{,}4 \cdot 10^{-8}$	$1{,}4 \cdot 10^{-8}$	$1{,}4 \cdot 10^{-7}$	$2{,}4 \cdot 10^{-7}$

Заключение

Совокупность многочисленных факторов по кинетике и механизму окисления - восстановления, механизму электронного перехода, роли растворителя, ионов водорода и исходных форм окислителя, явлениям гидролиза, наряду с результатами проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Из результатов расчета ионного состава растворов Fe (III) и экспериментальных данных, полученных при растворении UO2, следует, что в процессе растворения основную роль играют гидролизованные ионы FeOH2+, Fe(OH)2+ и Fe2(OH)24+, но ионы Fe3+ также обладают некоторой окислительной активностью.
2. Абсолютное большинство реакций окисления - восстановления протекают по одноэлектронному механизму, что для случая поливалентных атомов предопределяет прохождение от исходного до конечного продукта реакции ряда исследовательских валентных соединений.
3. В реакциях окисления - восстановления роль непосредственных окислителей выполняют промежуточные соединения, отличающиеся пониженной устойчивостью и малой энергией активации. Величина нестойкости окислителей (восстановителей) может служить мерой их реакционной способности.
4. Наиболее активными промежуточными формами в реакциях окисления - восстановления проявляют себя соединения, лишенные водорода (оксиды), либо протонированные формы соединений с пероксидными группировками, а в случае катионов-окислителей – гидролизованные формы.
5. Приведенные выводы и положения позволяют дать рекомендации, представляющие практический интерес для более направленного поиска новых активных окислителей, по крайней мере, применительно к гидрометаллургии урана.

Список литературы

1. Спицын В.И. Влияние окислителей на процесс выщелачивания урана / В.И. Спицын, Г.М. Несмеянова, Г.М. Алхазашвили // Атомная энергия. - 1960. – Т. 8. – Вып. 3. – С. 261.
2. Каневский Е.А. Значение ионного состава растворов Fe(III) при растворении диоксида урана / Е.А. Каневский, А.П. Филиппов // Радиохимия. - 1965. – Т. 7. – Вып. 2. – С. 207 - 214.
3. Филиппов А.П. Исследование процессов окисления применительно к технологии переработки урановых и уранмолибденовых руд: дис. … д-ра

техн. наук: 05.17.08: защищена 11.11.78: утв. 05.09.79. – М.: ВНИИХТ, 1979. − 203 с.
4. Hodgman C.D. Handbook of chemistry and physics. – Cleveland: Chemical Rubber Publ. Co., 1951. – P. 1495.
5. Акимов А.М. Вилуговування відвалів уранодобувних шахт /А.М. Акимов // Наукові вісті. − К: НТУУ «КПІ», 2007. − № 3. − С. 138 - 144.
6. Milbern P.M. Spectrophotometric study of the hydrolysis Fe (III) / P.M. Milbern, W.C. Vosburgh // J. Amer. Chem. Soc. – Vena, 1951. – Vol. 73. – № 9. – P. 4270.
7. Depending on the concentration of Fe(OH)2 the hydrogen ion concentration // Teiichi Itoy Norio lui // Sci. Repts Johuku Univ. – 1953. – Vol. 37. – № 1. – P. 19.

References

1. Spitsyn V.I. Influence of oxidants on the process of uranium leaching / V.I. Spitsyn, G.M. Nesmeyanova, G.M. Alkhaza-shvili // Atomic Energy. - 1960. – T. 8. – Issue 3. – p. 261.
2. Kanevsky E.A. The value of the ionic composition of Fe(III) solutions during the dissolution of uranium dioxide / E.A. Kanevsky, A.P. Filippov // Radiochemistry. - 1965. – T. 7. – Issue 2. – pp. 207-214.
3. Filippov A.P. Investigation of oxidation processes in relation to the technology of processing uranium and uranium-molybdenum ores: dis. ... doctor of Technical Sciences: 05.17.08: protected 11.11.78: approved 05.09.79. – M.: VNIIHT, 1979. − 203 p.
4. Hodgman C.D. Handbook of chemis-try and physics. – Cleveland: Chemical Rubber Publ. Co., 1951. – P. 1495.
5. Akimov A.M. Vilugovuvannya vidva-liv uranium mines /A.M. Akimov // Naukovi visti. − To: NTUU "KPI", 2007. − No. 3. − pp. 138 - 144.
6. Milbern P.M. Spectrophotometric study of the hydrolysis Fe (III) / P.M. Milbern, W.S. Vosburgh // J. Amer. Chem. Soc. – Vena, 1951. – Vol. 73. – № 9. – P. 4270.
7. Depending on the concentration of Fe(OH)2 the hydrogen ion concentration // Teiichi Itoy Norio lui // Sci. Repts Johuku Univ. – 1953. – Vol. 37. – № 1. – P. 19.

УДК.66.07

Практика по рекультивации территорий промплощадок и комплексному использованию сырьевых ресурсов уранодобывающих предприятий

С.А. Котельникова
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия, e-mail*: cvetlana.83@inbox.ru*

Статья поступила 01.02.2024 г.; после доработки 02.02.2024 г.

Аннотация
В работе приведен анализ и поиск технологий нейтрализации воздействия отходов уранодобывающих предприятий на окружающую среду.

Ключевые слова: рекультивация территорий, комплекс кучного выщелачивания.

The practice of recultivation of industrial sites and complex use of raw materials of uranium mining enterprises

S.A. Kotelnikova
Sevastopol state University, Sevastopol, 299002 Russiae-mail:cvetlana.83@inbox.ru)

Received 01.02.2024 y.; received in final form 02.02.2024 y.

Abstract
The paper provides an analysis and search for technologies to neutralize the impact of waste from uranium mining enterprises on the environment.

Keywords: reclamation of territories, heap leaching complex.

Введение

Интенсивная разработка урановых месторождений на территории четырех республик бывшего СССР (Республика Казахстан, Кыргызская Республика, Российская Федерация, Республика Таджикистан) была начата в конце 40-х–начале 50-х годов XX века.

За время деятельности предприятий урановой промышленности на территориях этих государств накопилось значительное количество отходов, содержащих повышенные концентрации естественных радионуклидов уран-ториевого ряда, обращение с которыми, включая вопросы безопасного длительного хранения или захоронения, а также рекультивации мест размещения отходов, является сложной и ресурсоемкой задачей.

Мировой опыт показывает, что одним из основных условий, способствующих положительному восприятию планируемой деятельности по развитию атомной энергетики, является выполнение мероприятий по ликвидации негативных последствий, возникших в период формирования уранодобывающей и перерабатывающей отраслей.

С точки зрения потенциальной опасности для населения и окружающей среды наиболее

критическими объектами являются хвостохранилища и места приповерхностного захоронения отходов уранодобывающей отрасли.

Постановка цели и задач научного исследования

Проблема нейтрализации воздействия отходов на окружающую среду актуальна для уранодобывающих предприятий многих стран. Захоронение или иные способы удаления отходов стали одним из самых важных предметов рассмотрения при разработке любого уранового проекта. Перевод хранилищ радиоактивных отходов в экологически безопасные объекты требует больших затрат, но они необходимы, пока ситуация не стала неуправляемой.

Результаты научного исследования

К решению проблемы в разных странах подходят по-разному. Рассматриваются варианты захоронения твердых отходов в подземных хвостохранилищах, в карьерных выемках, а также варианты стабилизации существующих отвалов.

На руднике в Ранстаде (Швеция) твердые отходы укладываются в выработанный карьер, послойно виброуплотняются и, для предотвращения выделения радона, покрываются сверху водоупорным слоем и метровым слоем питательного грунта с добавлением известняка, снижающего кислотность до биологических норм. Сверху создается растительный покров, и ландшафт приводится в естественное состояние [2]. Стабилизация отвалов, означающая их перевод в более безопасное для окружающей среды состояние, имеет целью:

- предотвращение прямого контакта с радиоактивным материалом отвалов, эрозии материалов и сноса пыли, содержащей радионуклиды, радиационного облучения за счёт повышенной по отношению к фоновому значению мощности экспозиционной дозы;
- снижение выделения радона и образования радиоактивно загрязненных фильтрационных вод.

Обоснованно и детально проработаны вопросы стабилизации отвалов для уранодобывающих предприятий восточной части Германии, производивших добычу в течение более 40 лет, вплоть до 1990 г. [3]. На шести предприятиях сформировано 76 отвалов с общим объёмом твердых радиоактивных отходов более 300 млн. м^3. Площадь, занимаемая отвалами, превышает 1500 га в населенных и живописных районах. Наиболее радикальным методом является, где это возможно, снос отвала и перенос материала в сохранившийся карьер с последующей рекультивацией площади отвала (Лихтенберг) или перенос части материала на другую площадку из-за близости населенных пунктов (Шлема-Абельроде).

Большинство отвалов остаются в местах образования и требуют санации, которая заключается в обеспечении устойчивости откосов, покрытии и озеленении поверхности отвалов, ландшафтное оформление контуров, которое соответствует естественной окружающей среде.

Экспериментально установлено, что в атмосферу выделяется радон, образующийся в поверхностном слое отвальной массы толщиной около одного метра. Это обстоятельство учитывается при проектировании и выполнении многофункциональных и, следовательно, многослойных покрытий.

Для Шлема-Абельроде разработана такая структура покрытия (снизу вверх):

- барьер от радона – слой глины не менее 30 см;
- фильтрационный барьер (дренаж) – песок, 15 см;
- биобарьер – камни, 30 см;
- зона роста и защита от мороза – земля, 90 см;
- защита от эрозии – до 30 см.

Покрытию в указанном районе подлежат 280 га площади отвалов. Потребность в материалах составляет 3 млн. м^3 и стоимость проекта составляет 320 млн. евро. В настоящее время в Кыргызской Республике существуют 36 урановых хвостохранилищ и 21 горный отвал, представляющие угрозу для человека и экологии [4]. Остро стоит вопрос о необходимости разработки и внедрения постоянной программы мониторинга и поддержания в порядке всех хвостохранилищ. Республике на их реконструкцию и защиту, перенос части хвостов в безопасное место потребуется примерно 16,5 млн. долларов США и по 500 тыс. долларов ежегодно для проведения мониторинга и содержания всех участков в стабильном состоянии.

Кардинальным решением проблемы твердых отходов может быть только переход на малоотходную технологию, использующую в сочетании с традиционной горной технологией геотехнологические методы.

Результатом должно явиться резкое сокращение объемов отходов от текущей добычи и возможность переработки содержимого отвалов

в полезные продукты, причем переработка касается не только отходов уранодобывающих производств, но и предприятий цветной металлургии.

Примером здесь может служить Учалинский ГОК (Россия), добывающий медно-цинковые руды [5]. Важную роль в системе комплексного освоения месторождений на Учалинском комбинате отводят использованию отходов производства – вскрышных и вмещающих пород, разубоженных руд и хвостов РОФ.

Из пород выделяют диабазовую составляющую с целью получения фракционированного строительного щебня и инертного наполнителя для закладочных смесей. Для этого смонтированы две дробильно-сортировочные установки и дробильно-сепарационный комплекс, обеспечивающий выделение породы из разубоженных и забалансовых руд.

Комплекс оснащен рентгенорадиометрическими сепараторами СРФ4-150 производительностью 55 тыс. т концентрата в год. Внедрение такого обогащения делает экономически выгодным переработку забалансовых руд.

В целом, повышение комплексности использования сырья позволяет улучшить технико-экономические показатели работы комбината и снизить отрицательное воздействие отходов производства на окружающую среду. Рентгенорадиометрическая сепарация (РРС) рассматривается как наиболее перспективная для многих типов полезных ископаемых. Она служит не только повышению качества руд, но и расширению сырьевой базы горнорудных предприятий за счет вовлечения в разработку больших запасов и отвалов бедных и забалансовых руд [6].

В работах [7, 8] для переработки горных отвалов уранодобывающих предприятий предлагается создание технического комплекса в составе:

- сортировочно-сепараторный комплекс для разделения отвальной массы по классам крупности и по содержанию урана;
- технологический комплекс для кучного выщелачивания урана из выделенной урановой руды;
- дробильно-сортировочный комплекс для переработки выделенной слабоактивной породы в строительный материал второго класса необходимых кондиций по крупности.

Первый и второй комплекс должны выполнять основную задачу по обеспечению максимально возможного извлечения урана при использовании новых технологических подходов, опирающихся на современное оборудование. Разделение содержимого отвалов возможно при использовании прецизионных радиометрических сепараторов нового поколения, объединенных в единый модульный комплекс.

Комплекс кучного выщелачивания предусматривает извлечение металла из рудосодержащего минерала, сорбцию урана из продуктивного раствора, десорбцию его и приготовление высококонцентрированного раствора урана для транспортировки.

При таком подходе решаются две проблемы - экологическая и экономическая, выражающаяся в производстве определенных объемов промпродукта концентрата природного урана, строительного материала и наполнителя для закладки выработанных пространств в урановых шахтах.

Заключение

Анализ рекультивации хранилищ радиоактивных отходов и их перевод в экологически безопасное состояние требует больших затрат и комплексного подхода.

Список литературы

1. А. Вейн Клинтон, Р. Дж. Барш, Г.А. Мисфелрт Выводы из эксплуатации: решающий компонент проектов управления урановыми отходами. Материалы Международного симпозиума МАГАТЭ «Производство урана и сырьевых материалов для ядерного топливного цикла – предложения и спрос, экономические показатели, окружающая среда и энергетическая безопасность», т.1. Вена, 2005г.
2. Чесноков Н.И. Уранодобывающая промышленность капиталистических стран / Н.И. Чесноков, Е.А. Котенко., М.В. Грязнов. – М.: Атомиздат, 1979. – 250 с.
3. Ледер Ф. Технические решения санации отходов в уранодобывающей промышленности / Федор Ледер . – М.: Атомиздат, 1982. – 187 с.
4. Жеенбаев Ж.Ж., Орозобаев Т.О. Проблемы радиационного мониторинга законсервированных урановых шахт Кыргызстана. Доклад международного экологического конгресса «Новое в экологии безопасности и жизнедеятельности» С.Птб., 2000 г.
5. Азов Г.Ф. Комплексное использование минерального сырья на Учалинском ГОКе / Григорій Азов // Горный журнал. – 2004. – № 6. – С. 34-38.
6. Шаталов В.В. Совершенствование технологии радиометрического обогащения урановых руд / В.В.Шаталов, В.И. Никонов, А.П. Татаринков// М. «атомная энергия» № 90 (3).2001 г.
7. Татарников А.П. Ядерно-физические методы обогащения полезных ископаемых. – М., Атомиздат, 1974. – 290 с.
8. The Canadian Mining and Metallurical Bulletin *I* Mac.

Cregor R. - 59, 649, 583.-1966.
9. Бодю Р. Опыты по выщелачиванию урановых руд без предварительного измельчения / Р.Бодю [и др.] // Обогащение полезных ископаемых : материалы VIII Междун. конгресса. - Л.: изд. Механобра, 1969. - Т. 2.
10. Harel M. Извлечение урана из урановых руд и других источников / M. Harel, P. Sugier // Доклад Франции на Междун. симп. : пер. с анг. - Сан-Пауло, Бразилия, 1970. - № M 135/4
11. Опыт выщелачивания урана на предприятиях Советско-Германского акционерного общества «Висмут»: отчет о НИР / исполн.: И.Г. Абдульманов [и др.]. - М., 2000. - Т. II. - 310 с. - фонды «ППГХО», инв. № Ф-1504.
12. Depending on the concentration of $Fe(OH)_2$ the hydrogen ion concentration // Teiichi Itoy Norio lui // Sci. Repts Johuku Univ. – 1953. – Vol. 37. – № 1. – P. 19.

References

1. A. Wayne Clinton, R. J. Barsh, G.A. Misfelrt Decommissioning: a crucial component of waste management projects. Proceedings of the IAEA International Symposium "Production of Uranium and Raw Materials for the nuclear Fuel cycle - supply and demand, economic indicators, environment and Energy Security", vol. 1. Vienna, 2005
2. Chesnokov N.I. Uranium mining industry of capitalist countries / N.I. Chesnokov, E.A. Kotenko., M.V. Gryaznov. – M.: Atomizdat, 1979. – 250 p.
3. Leder F. Technical solutions for waste sanitation in the uranium mining industry / Fedor Leder. - M.: Atomizdat, 1982. – 187 p.
4. Jeenbaev Zh.Zh., Orozobaev T.O. Problems of radiation monitoring of the operated uranium mines of Kyrgyzstan. Report of the International Ecological Congress "New in the ecology of safety and vital activity" S.Ptb., 2000
5. Azov G.F. Integrated use of mineral raw materials at Uchalinsky GOK / Grigoriy Azov // Mining Journal. – 2004.
6. Shatalov V.V. Improving the technology of radiometric enrichment of uranium ores / V.V.Shatalov, V.I. Nikonov, A.P. Tatarinkov// M. "atomic energy" No. 90 (3).2001
7. Tatarnikov A.P. Nuclear physical methods of mineral enrichment. – M., Atomizdat, 1974. – 290 p.
8. The Canadian Mining and Metallurical Bulletin I Mac. Cregor R. - 59, 649, 583.-1966.
9. Bodu P. Experiments on the leaching of uranium ores without preliminary grinding / R.Bodu [et al.] // Mineral enrichment : materials of the VIII International Congress. - L.: ed. Mechanobra, 1969. - Vol.
10. Harel M. Extraction of uranium from uranium ores and other sources / M. Harel, P. Sugier // The treasure of France in the International. simp. : trans. from English - Sao Paulo, Brazil, 1970. - No. M 135/4
11. The experience of uranium leaching at the enterprises of the Soviet-German Joint-stock company "Bismuth": research report / executive: I.G. Ab-dulmanov [et al.]. - M., 2000. - Vol. II. - 310 p. - funds "PPGHO", inv. No. F-1504.
12. Depending on the concentration of Fe(OH)2 the hydrogen ion concentration // Teiichi Itoy Norio lui // Sci. Repts Johuku Univ. – 1953. – Vol. 37. – № 1. – P. 19.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ В ЖУРНАЛЕ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ»

Журнал входит в национальную библиографическую базу данных РИНЦ.

В журнале публикуются результаты исследований по следующим направлениям:

- Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами
- Энергетические системы и комплексы
- Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды
- Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопас-ность
- Техносферная безопасность (в энергетике)
- Физическая химия
- Процессы и аппараты химических технологий

Принимаются статьи на русском и английском языках.

Статья должна быть структурирована и содержать:

– постановку проблемы, ее связь с актуальными научными или практическими заданиями;
– анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы;
– выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которой посвящается данная статья;
– формулирование целей статьи (постановка задачи);
– изложение основного материала с полным обоснованием полученных научных результатов;
– выводы по данному исследованию и перспективы дальнейших поисков в данном направлении.

К статье должно прилагаться:

– два экземпляра рукописи статьи, выполненной в соответствии с требованиями, первый экземпляр, подписанный всеми авторами;
– оригинал экспертного заключения о возможности опубликования данной работы в открытой печати;
– рецензия, подписанная доктором наук или кандидатом наук;
– информация об авторах статьи (заголовок статьи, фамилия, имя и отчество (полностью), должность, ученая степень, полный почтовый адрес, контактные телефоны и адреса электронной почты);
– компакт-диск с текстовым файлом.

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ

При подготовке статьи в журнал авторы должны руководствоваться стандартом «Оригиналы авторские и текстовые издательские» (ОСТ 29.115—88). К авторским оригиналам, передаваемым для издания, предъявляются следующие требования.

Статья должна содержать:

– шифр УДК; название статьи; инициалы и фамилии авторов;
– место работы каждого автора с полным почтовым адресом;
– аннотацию на русском языке (4-5 строк), отображающую цель проведенных исследований и основные результаты;
– ключевые слова;
– индекс UDC (УДК для англ. блока);
– заглавие (на английском языке);
– фамилии и инициалы авторов (на английском языке);
– место работы каждого автора с полным почтовым адресом (на английском);
– аннотация на английском языке с заголовком «Abstract»;
– ключевые слова (на английском языке, соответствующие русскоязычному набору);
– статья на языке оригинала;
– список литературных источников на русском языке (6-20 ссылок);

– список литературных источников на латинице: тот же список, что и в статье, но с транслитерацией фамилий и слов, записанных по-русски, и с переводом на английский язык неанглоязычных названий источников).

ОПИСАНИЕ МАКЕТА СТАТЬИ

Статья должна представляться также в электронном виде файлом, подготовленном в текстовом процессоре MS Word в режиме разметки страницы. Файл следует сохранять с расширением *. doc(или *.rtf) без макросов.

Имя файла должно начинаться фамилией контактирующего автора на латинице. Основной текст набирается шрифтом «Times New Roman» (11 пт) через интервал с автоматической расстановкой переносов в две колонки с расстоянием между ними 10 мм.

Ширины верхнего поля – 27 мм, нижнего – 23 мм, левого и правого – 18 мм, первый ряд — отступ 0,75 см.

Название статьи – шрифт 16 пт, ФИО – шрифт 14 пт. Сведения об авторах, аннотация, ключевые слова, список литературы – шрифт 10 пт.

Рисунки выполняются в графических редакторах и (или) процессорах (Paint, PhotoShop, CorelDraw и т.п.) в с разрешением 300dip.

Шаблон статьи и требования по ее оформлению приведены на сайте СевГУ: https://www.sevsu.ru/.

Статьи, не удовлетворяющие шаблону и требованиям к оформлению, рассматриваться не будут.

Более детальную информацию можно получить в редакции журнала:

ИЯЭиП, ул. Курчатова, 7. Севастополь, 299015, Российская Федерация. E-mail nauchnyyzhurnal@mail.ru, телефон. +7(8692) 71-01-64.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал

16+

Выпуск № 1,Том 10 2024 г.

Рубрики в соответствии с номенклатурой научных специальностей:

2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами
2.4.5. Энергетические системы и комплексы
2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды
2.4.9. Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность
2.4.10. Техносферная безопасность (в энергетике)
1.4.4. Физическая химия
2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий

Адрес редакции:
299015, г. Севастополь, ул. Курчатова, 7.
Телефон редакции: 8(692) 710164
https://old.sevsu.ru/nauka/pechat-izdaniya/item/1272-njeut
e-mail: nauchnyyzhurnal@mail.ru
Отпечатано в издательстве СевГУ.

Публикуемые материалы прошли обязательную процедуру рецензирования и экспертного отбора. Авторы опубликованных материалов несут полную ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, данных, имен собственных и прочих сведений.

Редакция не несет ответственности за нарушение авторами исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности третьих лиц. Мнение редакционной коллегии может не совпадать с позицией авторов статей. При перепечатке материалов ссылка на научный журнал «Энергетические установки и технологии» обязательна.

Учредитель и издатель:
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
ул. Университетская, 33. Севастополь, 299053.

№ рег. СМИ: ПИ No ФС 77 – 64120 от 25.12.2015 г.

Главный редактор: Якимович Борис Анатольевич

Подписано к печати 21.03.2024. Заказ 2/24. Дата выхода в свет: . Тираж 65 экз.
Цена: Бесплатно. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Объем усл. печ. л. 21,56.

Севастополь, 2024