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 № 2

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. - № 2. – 160 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

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Уважаемые читатели научного журнала «Энергетические установки и технологии»!

Вы держите в руках второй номер журнала «Энергетические установки и технологии» за 2024 г. Стало уже традицией, что каждый из номеров журнала отражает актуальные проблемы в области энергетики.

В 2023-м году состоялись знаковые события, в которых активное участие принимали учёные и аспиранты Института ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета.

В мае 2023 году в Дамасском университете прошла Вторая международная конференция по инженерным технологиям в биомедицине ICBME 23. Доклад учёных В.В. Кувшинова, Ю.А. Омельчук, Б.А. Якимовича и аспиранта В.А. Березняка отмечен Оргкомитетом конференции. Статьи по данной тематике регулярно публикуются в номерах настоящего журнала.

В сентябре 2023 года Институт ядерной энергии и промышленности успешно провёл Международную научно-практическую конференцию «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2023», в которой участвовало более 100 учёных из 7 стран. Участие ученых Севастопольского государственного университета в Международном семинаре экспертов по экологическим аспектам развития энергетики «Декарбонизация энергетического сектора. Роль кафедры ЮНЕСКО в обмене научными знаниями» позволило включиться Институту ядерной энергии и промышленности в деятельность международной коллаборации по низкоуглеродному развитию электроэнергетики. Материалы о работе круглых столов международного семинара публикуются в настоящем номере.

Надеемся, что статьи, представленные во втором номере журнала, вызовут интерес у научного сообщества, а также журнал станет дискуссионной площадкой в выборе пути развития современной энергетики.

С уважением, главный редактор журнала «Энергетические установки и технологии»
доктор технических наук, профессор,
Заслуженный деятель науки Российской Федерации
Б.А. Якимович

СОДЕРЖАНИЕ

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами **10**

Божек П., Зелник Р. Применение сенсорной инерциальной навигационной системы для управления специализированными эффекторами мобильных роботов 10

Саноцкий В.Я. Разработка прототипа программного обеспечения по формированию политики обработки персональных данных веб-ресурсов в сети Интернет 19

Энергетические системы и комплексы **26**

Бекиров О.Б., Абдурахманов Р.Н., Кувшинов В.В., Бекиров Э.А. Построение новых ветроэлектростанций для увеличения энергетического потенциала Республики Крым 26

Гайдук С.В., Смирнов И.К., Ивченко О.Р. Анализ практической реализации гибридных систем возобновляемой энергетики 33

Канов Л.Н., Конева С.А., Пронина А.К. Повышение эффективности эксплуатации распределительных линий электроэнергетических систем 38

Крастелев О.М. Использование обобщённого критерия энергетической эффективности для перспективного анализа развития энергоустановок 44

Крастелев О.М. Исследование тарифной политики энергетических предприятий с разработкой рекомендаций по снижению стоимости электрической энергии зацией 48

Малюк Е.Г., Нагорный С.Д. Диагностика технического состояния изоляции силовых трансформаторов при аварийном отключении 55

Мола А.Х., Щеклеин С.Е., Дубинин А.М., Алван Н.Т. Экспериментальное исследование солнечного опреснителя воды с греющим пародинамическим контуром и встроенным конденсатором пара 60

Плетнева Е.В., Гурьев В.В., Кувшинов В.В., Косий А.Г., Коломийченко В.П. Влияние выработки генерации СЭС на выбор состава включенного генерирующего оборудования 70

Червинский В.Л., Якимович Б.А., Любчик О.А., Жильцов А.С., Косий А.Г. Декарбонизация энергетического сектора эксперты об экологических аспектах развития энергетики 76

Якимович Б.А., Кувшинов В.В., Березняк В.А., Аль Руфаи Ф.М., Исса Н.А. Использование фотоэлектрических преобразователей для электропитания медицинского оборудования 83

Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды **88**

Егорова А.О., Якимович Б.А. Анализ исследований и правового регулирования систем мониторинга окружающей среды 88

Заблоцкая Е.В. Определение токсичности воды централизованных систем питьевого водоснабжения города Севастополя методом биотестирования 93

Ипатьев Р.А. Акустический канал утечки информации в помещениях офисного типа 98

Лукина Л.И., Ковалев Н.И., Савченко Д.А. Ведение сельского хозяйства на разных типах почв, подвергшихся радиационному загрязнению 104

Шуатаев М.К. , Мельник Г.С. , Губин А.В., Ларионов К.Б. Исследование процессов окисления и горения твердых непищевых бытовых отходов 110

Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность 122

Павлова И.А., Худякова В.А., Губин А.В. Способы организации транспортировки парогенераторов по месту требования 122

Ретунский Д.М., Сакерин А.О., Губин А.В. Анализ возможности замыкания ядерного топливного цикла с помощью проекта "Прорыв" 130

Умаров К.А., Губин В.Е. Обзор существующих решений по совершенствованию и оптимизации подогревателей высокого давления 135

Техносферная безопасность (в энергетике) 140

Егорова А.О., Тырышкин А.А., Беспалова Н.М., Горбунова Л.А. Мир больших данных и конфиденциальной информации в гиперинформационную эпоху 140

Пелись В.В., Ищенко А.И. Организация работы Управления МВД по г. Севастополю в системе противодействия киберпреступлениям 145

Физическая химия 150

Губина Е.Д., Ларионов К.Б. Оценка материального баланса термического преобразования отработанных шин и использования получаемых продуктов 150

Муреева К.В Газографитовый реактор 155

CONTENTS

Automation and control of technological processes processes and productions **10**

Božek P., Zelník R. Inertial Navigation System for Control of Specialized Effectors of Mobile Robots 10

Sanotskiy V.Ya. Development of a software prototype for creating personal data processing policies for web resources on the Internet 19

Energy systems and complexes **26**

Bekirov O.B., Abdurakhmanov R.N., Kuvshinov V.V., Bekirov E.A. Increasing the energy potential of the Republic of Crimea 26

Gaiduk S.V., Smirnov I.K., Ivchenko O.R. Analysis of the practical implementation of hybrid systems renewable energy 33

Kanov L.N., Koneva S.A., Pronina A.K Increase of efficiency of exploitation distributive lines of the electroenergy systems 38

Krastelev O.M Using a generalized energy efficiency criterion for long-term analysis of the development of power plants 44

Krastelev O.M. A study of the tariff policy of power companies with the development of recommendations to reduce the cost of electricity 48

Malyuk E.G., Nagorny S.D. Diagnostics of the technical condition of the insulation of power trans-formers in case of emergency shutdown 55

Mola A.H., Shcheklein S.E., Dubinin A.M., Alvan N.T. Experimental study of a solar water desalination device with a heating aerodynamic circuit and an integrated steam condenser 60

Pletneva E.V., Guryev V.V., Kuvshinov V.V., Kosii A.G., Kolomiychenko V.P. Nfluence of SES generation production on the choice of the composition of included generating equipment 70

Chervinsky V.L., Yakimovich B.A., Lyubchik O.A., Zhiltsov A.S., Kosiy A.G. Decarbonization of the energy sector experts on the environmental aspects of energy development 76

Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V., Bereznyak V.A., Al Rufai F.M., Issa N.A. Use of photovoltaic converters for power supply of medical equipment 83

Methods and devices for monitoring and diagnostics of materials, products, substances and the natural environment **88**

Egorova A.O., Yakimovich B.A. Analysis of research and legal regulation of environmental monitoring systems 88

Zablotskaya E.V. Determination of the toxicity of water from centralized drinking water supply systems in the city of Sevastopol by biotesting 93

Ipatiev R.A. Acoustic information leakage channel in office-type premises 98

Lukina L.I., Kovalev N.I., Savchenko D.A. Farming on different types of soils exposed to radiation contamination 104

Shuataev M.K. , Melnik G.S. , Gubin A.V., Larionov K.B. Study of the processes of oxidation and combustion of solid non-food household waste 110

Nuclear power plants, fuel cycle, radiation safety **122**

Pavlova I.A., Khudyakova V.A., Gubin A.V. Methods of organizing the transportation of steam generators at the place of demand 122

Retunskiy D.M., Sakerin A.O., Gubin A.V. Analysis of the possibility of closing the nuclear fuel cycle using the Proryv project 130

Umarov K.A., Gubin V.E. Overview of existing solutions for improving and optimizing high-pressure heaters 135

Technosphere safety (in the energy sector) **140**

Egorova A.O., Tyryshkin A.A., Bespalova N.M., Gorbunova L.A. The world of big data and confidential information in the hyperinformation era 140

Pelis V.V., Ishchenko A.I. Organization of the work of the Department of the Ministry of Internal Affairs of Sevastopol in the cybercrime counteraction system 145

Physical Chemistry **150**

Gubina E.D., Larionov K.B Assessment of the material balance of the thermal transformation of waste tires and the use of the resulting products 150

Mureeva K.V. Gas graphite reactor 155

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК: 621.865.8

Применение сенсорной инерциальной навигационной системы для управления специализированными эффекторами мобильных роботов

Божек П.[1], Зелник Р.[2]
[1]«Словацкий технологический университет», г. Трнава, 91724, Словацкая Республика,
[1]pavol.bozek@stuba.sk., [2]roman.zelnik@stuba.sk

Статья поступила 16.05.2024 г.; после доработки 17.05.2024 г.

Аннотация

В статье рассматривается роль инерциальных навигационных систем (ИНС) в повышении точности и эффективности управления роботизированными комплексами. Основное внимание уделяется детальному описанию метода регулирования двигателя постоянного тока, который является ключевым для обеспечения точного позиционирования вращающегося рычага. Разработка системы регулирования осуществляется в среде MATLAB/Simulink, обеспечивающей глубокую интеграцию и настройку параметров управления. Анализ движения рычага проводится с использованием как аналитической математической модели, так и виртуальной динамической модели, созданной в MSC.ADAMS, что позволяет комплексно исследовать динамику движения и проверить эффективность применяемых методов регулирования.

Ключевые слова: ИНС, гироскоп, акселерометр, динамическая модель, ПИД-регулятор, MATLAB/SIMULINK.

Inertial Navigation System for Control of Specialized Effectors of Mobile Robots

Božek P. [1], Zelník R.
[1]Slovak University of Technology, Trnava, 91724, Slovak Republic,
[1]pavol.bozek@stuba.sk., [2]roman.zelnik@stuba.sk

Received 16.05.2024 y.; received in final form 17.05.2024 y.

Abstract

The article examines the role of inertial navigation systems (INS) in improving the accuracy and efficiency of controlling robotic systems. The main focus is on a detailed description of the method for regulating a DC motor, which is key to ensuring precise positioning of a rotating arm. The development of the regulation system is carried out in the MATLAB/Simulink environment, providing deep integration and tuning of control parameters. The analysis of the arm's motion is performed using both an analytical mathematical model and a virtual dynamic model created in MSC.ADAMS, which allows for a comprehensive study of the motion dynamics and verification of the effectiveness of the applied regulation methods.

Keywords: INS, gyroscope, accelerometer, dynamic model, PID-controller, MATLAB/SIMULINK.

Введение

Интеграция навигационной информации от разнородных систем является актуальной задачей для повышения точности определения навигационных параметров [1-5]. Инерциальная

навигация представляет собой метод непрерывной оценки положения, ориентации, курса и скорости подвижного объекта без использования внешних источников данных о движении. Этот метод основан на измерениях первичных инерциальных датчиков – гироскопов и акселерометров, жестко связанных с объектом навигации. Навигационные параметры вычисляются навигационным компьютером путем интегрирования показаний этих датчиков с учетом заданных начальных условий и в соответствии с законами классической механики.

Инерциальная навигационная система (ИНС) включает в себя как минимум навигационный компьютер и инерциальный измерительный блок, содержащий акселерометры и гироскопы. По конструктивному исполнению ИНС подразделяются на два основных типа: платформенные (гиростабилизированные) и неплатформенные (бесплатформенные). В платформенных ИНС инерциальные датчики закреплены на карданном подвесе, который обеспечивает сохранение заданной пространственной ориентации с тремя степенями свободы вращения относительно внешнего корпуса системы. В неплатформенных ИНС датчики жестко интегрированы с корпусом объекта навигации, без подвижных механических частей [6-11].

Наличие движущихся механических компонентов в платформенных ИНС обуславливает их относительно низкую надежность по сравнению с бесплатформенными системами. Тем не менее, функционально обе системы содержат одинаковые ключевые элементы: инерциальный измерительный блок и навигационный компьютер.

Настоящее исследование ставит целью разработку новой комбинированной инерциальной навигационной системы (КИНС) на базе электронных гироскопов, магнитометров и барометрических датчиков. Предполагается, что интегрированная КИНС обеспечит точность навигационных решений, удовлетворяющую требованиям калибровки роботизированных производственных комплексов, тем самым минимизировав необходимость участия обслуживающего персонала. Ключевым преимуществом инерциальных навигационных систем является их автономность по сравнению с традиционными методами, что существенно упрощает процедуры калибровки и открывает новые возможности в области управления и контроля, такие как предотвращение столкновений роботов. Основной задачей исследования является достижение требуемого уровня точности навигационных решений. Одним из перспективных путей ее решения выступает комплексирование инерциальных датчиков с дополнительными измерительными модулями различной физической природы в рамках единой интегрированной системы [11].

Исследование направлено на решение актуальной задачи повышения точности навигационных параметров посредством интеграции данных. Основные аспекты работы:

1. Анализ метрологических характеристик акселерометров и гироскопов, моделирование влияния их параметров на точность комбинированной навигационной системы.
2. Оптимизация вычислительной системы для обработки данных датчиков и управления промышленным роботом, разработка алгоритмов комбинированной навигации.
3. Экспериментальная апробация комбинированной инерциальной навигационной системы в условиях эксплуатации промышленного робота [10].

Таким образом, планируется провести комплексное теоретическое и практическое исследование для создания высокоточной интегрированной навигационной системы промышленного назначения.

Характеристика вопроса

Требование автономности навигационных решений, то есть независимости от внешних источников навигационной информации, обусловило внедрение ИНС. Принцип действия ИНС основывается на законах классической механики Ньютона, описывающих изменение движения тела под действием приложенных сил и связывающих ускорение тела с величиной и направлением результирующей силы [12-17].

ИНС состоит из измерительного блока, включающего акселерометры и гироскопы, и навигационного компьютера, выполняющего оценку навигационных параметров на основе данных инерциальных датчиков. В отличие от других навигационных систем, ИНС являются полностью автономными, самодостаточными и не зависят от внешней среды, обладая устойчивостью к воздействию магнитных возмущений, электронных помех и искажений сигналов. Вычислительные алгоритмы ИНС базируются на законах движения Ньютона и реализуют процедуры интегрирования уравнений для определения навигационного решения [18-19].

Для определения полного навигационного решения, то есть траектории движения центра

масс и закона изменения пространственной ориентации твердого тела, необходима регистрация всех шести степеней свободы его движения в инерциальной системе отсчета. Три линейные степени свободы соответствуют поступательному перемещению тела и полностью определяются знанием проекций вектора кажущегося ускорения на оси связанной системы координат. Три угловые степени свободы характеризуют вращательное движение тела относительно его центра масс и могут быть установлены посредством измерения проекций абсолютного вектора угловой скорости (рис. 1).

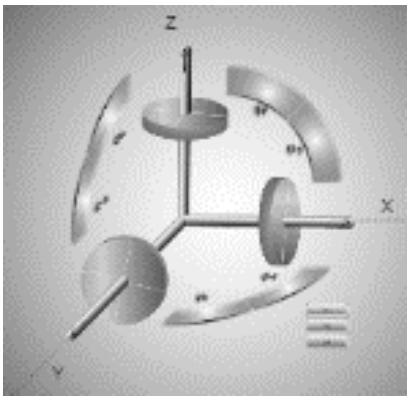


Рис. 1. Основной принцип работы ИНС

ИНС содержит шесть инерциальных датчиков первого порядка: три взаимно-ортогональных акселерометра для регистрации ускорений и три гироскопа для определения угловых скоростей по осям чувствительности. Зная начальные условия движения и интегрируя выходные сигналы инерциальных датчиков, навигационный компьютер способен вычислить мгновенные значения линейных и угловых координат, восстанавливая тем самым пространственно-временное навигационное решение для движущегося объекта.

Принципиальным достоинством ИНС является ее автономность и независимость от внешних источников навигационных данных, обеспечивающая устойчивость к воздействию внешних помех и искажений. Алгоритмы функционирования основаны на строгом применении законов классической механики Ньютона к интегрированию показаний акселерометров и гироскопов [20-26].

Электронные гироскопы представляют собой разновидность гироскопических датчиков, принцип действия которых основан на измерении инерционной силы Кориолиса. Сила Кориолиса возникает при движении тела с некоторой скоростью во вращающейся неинерциальной системе отсчета и направлена перпендикулярно плоскости вращения и вектору скорости тела.

В конструкции электронного гироскопа содержится упруго закрепленная резонирующая масса. При вращении корпуса датчика на колеблющуюся массу действует сила Кориолиса, пропорциональная угловой скорости вращения. Величина этой силы измеряется посредством регистрации индуцируемого ею изменения электрической емкости конденсаторной структуры, одна обкладка которой связана с неподвижным корпусом, а другая – с колеблющейся массой. Таким образом, электронный гироскоп преобразует входную угловую скорость вращения в выходной электрический сигнал, пропорциональный данному кинематическому параметру.

Центральным компонентом любой ИНС является инерциальный измерительный блок (ИИБ), включающий первичные инерциальные датчики – гироскопы и акселерометры, регистрирующие соответственно угловые скорости и кажущиеся ускорения объекта. Погрешности современных инерциальных датчиков составляют около 0,01°/час для гироскопов и 100 мкг для акселерометров. После компенсации гравитационного ускорения и силы Кориолиса сигналы акселерометров интегрируются для определения скорости и положения, а выходы гироскопов – для вычисления пространственной ориентации [27-35].

ИИБ обладает шестью степенями свободы, позволяющими измерять поступательное и вращательное движение по трем взаимно-ортогональным осям. Точность автономной инерциальной навигации критически зависит от метрологических характеристик первичных датчиков. Современной тенденцией является интеграция акселерометров, гироскопов, магнитометров, барометров и микропроцессоров в компактные модули с расчетом выходных навигационных параметров положения, ориентации и высоты. Для компенсации погрешностей инерциальные датчики комплексируются с GPS-приемниками или магнитометрами.

Далее приводится пример моделирования движения манипулятора промышленного робота по одной степени свободы с использованием математической модели в виртуальной среде и программного пакета MATLAB/Simulink.

Динамика вращающегося манипулятора

На рис. 2 представлены математическая и

виртуальная динамическая модели манипулятора. При вращении манипулятора вокруг горизонтальной оси 0, без учета трения платформы, на руку манипулятора действует крутящий момент M_m, момент инерции M_D и момент связанной с ним гравитационной составляющей силы M_G. Уравнение движения, описывающее перемещение руки, выглядит следующим образом:

$$M_m = M_D + M_G \Rightarrow M_m = J_0\ddot{\varphi} + mgLsin\varphi \quad (1)$$

где J_0 – момент инерции руки относительно оси вращения 0, m – масса руки, L – расстояние между осью вращения и центром руки, g – гравиметрическое ускорение, φ – угол поворота и $\ddot{\varphi}$ – угловое ускорение твердого тела.

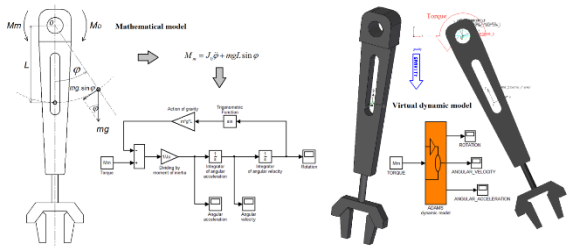


Рис. 2. Математическая (слева) и виртуальная динамическая (справа) модели манипуляторов

Уравнение (1) представляет собой математическую модель манипулятора, а ее решение в программе MATLAB/Simulink (рис. 2), слева. Момент приводного двигателя, изображенный блоком постоянной величины, будет заменен блок-схемой управления электромотором [1,2]. Для этого решения необходимо знать массу, момент инерции и центр рычага относительно оси вращения. Эти параметры могут быть рассчитаны с помощью геометрии, размеров и плотности материала рычага.

Виртуальная динамическая модель манипулятора, разработанная в программе MSC.ADAMS, выгодна тем, что не требуется составлять математическое описание системы, которое может быть достаточно сложным для сложных наборов неподвижных твердых тел [3,5]. Система представляет собой трехмерную геометрическую модель, построенную в произвольной CAD-программе и импортированную в программу MSC.ADAMS (рис. 2). Геометрическая модель соответствующим образом позиционируется, присваивается численное значение плотности материала манипулятора (впоследствии программа автоматически рассчитывает положение центра, вес и моменты инерции к осям центра), затем вращательной геометрической связью она фиксируется в устойчивом пространстве и задается место движущего момента. Кроме того, для нужд управления необходимо разработать датчики угла поворота и угловой скорости рычага. Подготовленная виртуальная модель может быть импортирована в программу MATLAB/Simulink, к которой применяется блок-схема управления электромотором (рис. 2, справа). Параметры манипуляционной руки: масса m = 0,798 кг, момент инерции относительно оси вращения J_0 = 0,013655 кг·м^2, расстояние между осью вращения и центром масс L = 0,096 м. Заданное вращение руки показано на рис. 2 (слева). Путем обратного динамического анализа в программе MSC.ADAMS можно получить соответствующий момент вращения, необходимый для данного движения (рис. 3, справа). Максимальное значение момента вращения составляет 0,7514 Н·м.

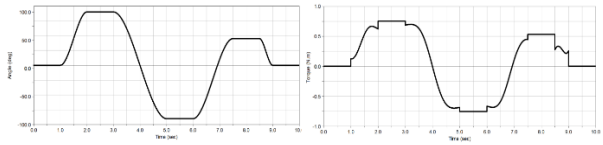


Рис. 3. Предписанное вращение манипулятора (слева), ход крутящего момента (справа)

Модель двигателя постоянного тока

В качестве основного привода управления использовался двигатель постоянного тока Parvex RS110M [7] с редуктором (передаточное число 1:50), обеспечивающий снижение требуемого момента вращения и увеличение рабочих оборотов двигателя. Параметры двигателя приведены в таблице 1.

Модель линейного двигателя постоянного тока с постоянным магнитом в программе MATLAB/Simulink была разработана на основе математических моделей механической (2) и электрической (3) частей двигателя [1,2]:

$$M_m - M_L = J_m \frac{d\omega}{dt} \quad (2) \qquad u = R_m i + L_m \frac{di}{dt} + u_i \quad (3)$$

где M_m – крутящий момент двигателя, M_L – момент нагрузки мощности двигателя, J_m – момент инерции ротора, ω – частота вращения двигателя, u – напряжение питания, R_m – сопротивление якоря двигателя, L_m – индуктивность обмотки якоря двигателя, i – ток, протекающий через обмотку двигателя, t – время, u_i – индуцированное напряжение на обмотке якоря двигателя.

Взаимосвязь механической и электрической частей выражается следующим образом:

$$u_i = C_{u\omega}\omega \quad ; \quad M_m = C_{ut} i$$

где C_{ut} – постоянная момента двигателя; $C_{u\omega}$

– постоянная напряжения двигателя.

Таблица 1. *Параметры серводвигателя постоянного тока Parvex RS110M [7]*

Инерция ротора	Инд-ть обмотки	Сопрот-е обмотки	Пост. крутящ. момент	Пост. напряж-е
J_m [kg.m^2]	L_m [H]	R_m [Ω]	C_{um} [N.m/A]	$C_{u\omega}$ [N.m/A]
2.4.10^{-6}	0.0016	4.5	0.037	0.037
Крутящ. момент	Max напряж-е питания	Пиковый ток	Номинал. ток	Max скорость
M_m [Nm]	U_{max} [V]	I_{max} [A]	I_{nom} [A]	ω_{max} [rpm]
0.05	33	4	1.5	8300

Для моделирования двигателя использовалась упрощенная математическая модель, не учитывающая потери в магнитопроводе. Позиционирование манипулятора осуществлялось посредством применения каскадной системы автоматического регулирования с иерархической структурой контуров (рис. 4). Внутренний, нижний контур реализует регулирование тока якорной цепи двигателя постоянного тока, что эквивалентно управлению вращающим моментом. Следующий, промежуточный контур осуществляет регулирование угловой скорости вращения двигателя. Верхний контур представляет собой контур позиционирования, управляющий угловым перемещением манипулятора. Для контура тока применен пропорциональный (П) регулятор, для контура скорости - пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор, в контуре позиционирования использован пропорциональный (П) регулятор.

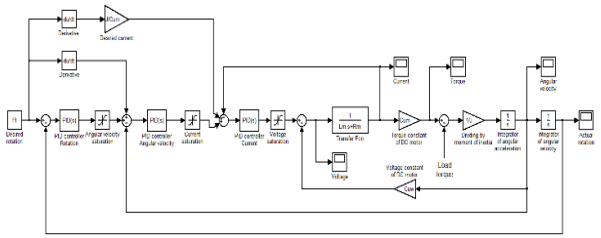


Рис. 4. Схема регулирования двигателя JM

Полученные численные значения коэффициентов регуляторов приведены в таблице 2. При составлении обобщенной математической модели были учтены ограничения, обусловленные применением конкретного исполнительного двигателя, характеристики которого представлены в таблице 1. В используемой модели пренебрегалась динамикой датчиков обратных связей и эффектами сухого трения [36-42].

Таблица 2. *Условия работы индивидуальных контроллеров*

Контроллер	Ток	Угловая скорость	Вращение
P	9.184	1.342	2.398
I	–	2.629	–

Регулирование манипулятора

Структурные схемы систем управления позиционированием манипуляционной руки для математической и виртуальной динамической моделей представлены на рис. 5 и рис. 6 соответственно. В обоих случаях использовались идентичные настройки параметров регуляторов контуров управления приводным двигателем. Однако в случае виртуальной модели отсутствует внешний сигнал обратной связи по угловой скорости нагрузки на входе контура регулирования момента двигателя. Данные о скоростных эффектах и инерционных нагрузках, обусловленных движением манипулятора, автоматически формируются динамическим модулем, разработанным в программном комплексе ADAMS [43-49] (рис. 7).

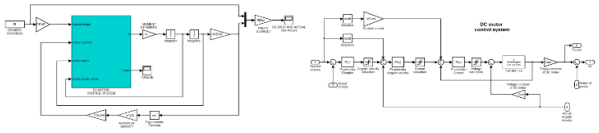


Рис. 5. Математическая модель управления манипулятором

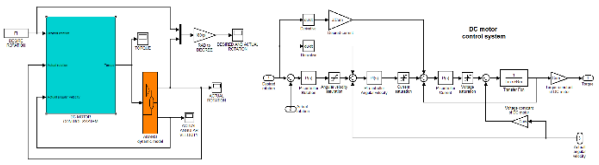


Рис. 6. Виртуальная динамическая модель управления манипулятором

Заключение

Результаты процессов позиционирования манипуляционной руки представлены на рис. 7.

Для математической модели наблюдается высокая точность отслеживания заданного углового перемещения манипулятора. В случае виртуальной динамической модели отмечаются более существенные отклонения (рис. 8), что требует проведения дополнительной процедуры настройки параметров регуляторов.

В целом, приведенный пример иллюстрирует решение задачи регулирования динамической системы на основе виртуальной динамиче-

ской модели, учитывающей влияние инерционных сил, возникающих при движении элементов системы, а также всех внешних сил, действующих на систему. Применение подобных динамических моделей особенно важно для сложных многомассовых механических систем твердых тел, аналитическое описание динамики которых представляет значительную сложность.

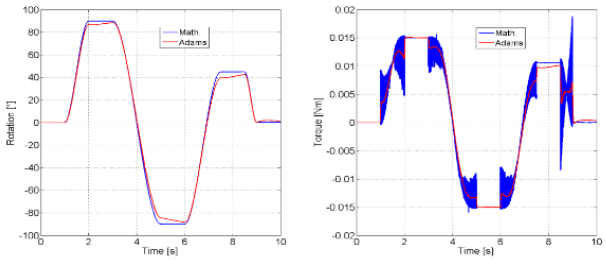


Рис. 7. Курс вращения манипулятора и крутящий момент двигателя для математической модели (Math.) и виртуальной динамической модели (Adams)

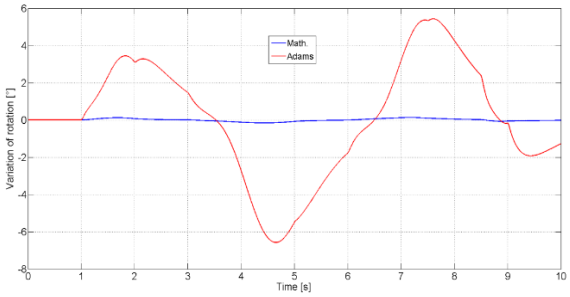


Рис. 8. Отклонение вращения манипулятора от требуемого значения

Выражение благодарности

Вклад спонсируется проектом 015STU-4/2018: Специализированная лаборатория с мультимедийным пособием по предмету "Проектирование и эксплуатация производственных систем" для Технического университета г. Братислава.

Список литературы

1. Žalman, M., “Actuators,” STU Bratislava, 2003, ISBN 80-227-1835-1.
2. Schmid, D., “Management and control for engineering and mechatronics,” Verlag EUROPA, ISBN 80-86706-10-9, 2005.
3. Bishop, H.R., “The Mechatronics Handbook,” CRC Press, 2006 ISBN 0-8493-0066-5.
4. Heimann, B., W. Gerth, and K. Popp, „Mechatronik – Komponenten – Methoden – Beispiele,“ HANSER, 2007, ISBN 978-3-446-40599-8.
5. Weber, W., „Industrieroboter,“ HANSER, 2009, ISBN 978-3-446-41031-2.
6. Barbour, N., J. Elwell, and R. Setterlund, “Inertial instruments: Where to now,” ? <www.media.mit.edu/resenv/classes/.../Inertialnotes/Draper-Overview.pdf>, [cit. 2011-07-15].
7. Nikitin, Y.R., and I.V. Abramov, “Models of information processes of mechatronic systems diagnosis” University Review. – 2011. – V. 5. – № 1. – P. 12–16. – ISSN 1337-6047.
8. Titterton, D.H., and J.L. Weston, “Strapdown inertial navigation technology (2nd Edition), : <http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=1241>, [cit. 2011-07-12].
9. Šípoš, Ľ., Publikácia, “Inertial navigation, Zvolen, 2011.
10. Nikitin, Y.R., “Diagnostic models of mechatronic modules and analysis techniques,” Procceding of 2-d International Conference Advances in Mechatronics, December 2007, Brno, Czech Republic, ISBN 978-80-7231-314-3.
11. Soták, M., “Integration navigation systems, Košice, 2006.
12. Božek P., J. Šuriansky, 2011. Riadenie robota na báze inerciálneho systému. Ostrava: TU v Ostrave, Mechanical Series 1/2011. [cit: 2017-04-20]. KEGA 3-7285-09, no. 1833.
13. Diaz E.M. et. al., 2015. Evaluation of AHRS Algorithms for Inertial Personal Localization in Industrial Environments. Seville [cit: 2017-04-20]. ISBN 978-1-47997800-7.
14. Jizhou Lai, Pin LV, Jianye Liu and Bin Jiang, 2012. Noncommutativity Error Analysis of Strapdown Inertial Navigation System under the Vibration in UAVs. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2012, Vol. 9, 136:2012.
15. LYNXMOTION, 2016. Robotic Arms AL5B. [online] [cit: 2017-04-20]. Dostupné na internete: ‹http://www.lynxmotion.com/c-126-al5b.aspx›.
16. Madgwick, S., 2013. Oscillatory-Motion-Tracking-With-x-IMU. [online] [cit: 2017-0427]. Dostupné na internete: ‹https://github.com/xioTechnologies/Oscillatory-MotionTracking-With-x-IMU›.
17. Mihalík, J., I. Gladišová, 2013. Číslicová filtrácia signálov (Návody na cvičenia). LČSOV FEI TU Košice, 2013, ISBN 978-80-553-1390-0.
18. NOVATEL, 2014. IMU Errors and Their Effects. . [online] [cit: 2017-04-15]. Dostupné na internete: ‹http://www.novatel.com/assets/Documents/Bulletins/APN064.pdf›.
19. POLOLU CORPORATION, 2016. Pololu Maestro Servo Controller User’s Guide. [online] [cit: 2017-04-20]. Dostupné na internete: ‹https://www.pololu.com/docs/0J40›.
20. Quadri, S.A., o. Sidek, 2014. Error and Noise Analysis in an IMU using Kalman Filter. [online] Collaborative Microelectronic Design Excellence Centre (CEDEC), Universiti Sains Malaysia, Engineering Campus, Nibong Tebal 2014. [cit: 2017-03-12].

Dostupné na internete: ‹http://www.sersc.org/journals/IJHIT/vol7_no3_2014/6.pdf›.
21. Qassem, M. A., I. Abuhadrous, H. Elaydi, 2009. Modeling and Simulation of 5 DOF Educational Robot Arm. The 2nd IEEE International Conference on Advanced Computer Control, Shenyang. [online] [cit: 2017-04-20]. Dostupné na internete: ‹http://ieeexplore.ieee.org/document/5487136/›. ISBN 978-1-4244-5848-6.
22. Qazizada M. E., E. Pivarčiová, 2016. Mobile Robot Controlling Possibilities of Inertial Navigation System. Procedia Engineering, Volume 149, 2016, Pages 404–413, doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.685.
23. Soták M., 2008. Application of wavelet analysis to inertial measurements. Scientific papers: Science & Military 2/2008. [cit: 2017-04-20]. SPP–852_08-RO02_RU21-240.
24. Tianmiao Wang, CHaolei Wang, Jianhong Liang, Yang CHen, Yicheng Zhang, 2013. Vision-Aided Inertial Navigation for Small Unmanned Aerial Vehicles in GPS-Denied Environments. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2013, Vol. 10, 276:2013.
25. Turygin Y., Božek P., Nikitin Y. R., Sosnovich E. V., Abramov, A. I., 2016. Enhancing the reliability of mobile robots control process via reverse validation. International Journal of Advanced Robotic Systems, 13. p. 1–8.
26. X-IO TECHNOLOGIES, 2013. x-IMU User Manual 5.2. [online][PDF] Great Britain 2013. [cit: 2017-04-20]. Dostupné na internete: ‹http://x-io.co.uk/downloads/x-IMU-UserManual-v5.2.pdf›.
27. Titterton, D.H., Weston, J.L. (2004) Strapdown Inertial Navigation Technology. Cited 2068 times. Institution of Electrical Engineers, Reston VA.
28. Jekeli, C. (2001) Inertial Navigation Systems with Geodetic Applications. Cited 365 times. Walter de Gruyter GmbH & Co, Berlin.
29. Groves, P.D. (2008) Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems. Cited 1021 times. Artech house remote sensing Library, London.
30. Bar-Itzhack, I.Y., Berman, N. Control theoretic approach to inertial navigation systems (1988) Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 11 (3), pp. 237-245. Cited 211 times. doi: 10.2514/3.20299.
31. Silva, F.O., Hemerly, E.M., Leite Filho, W.C. On the error state selection for stationary sins alignment and calibration kalman filters—Part II: Observability/estimability analysis.
32. Jurkov, A.S., Cloutier, J., Pecht, E., Mintchev, M.P. Experimental feasibility of the in-drilling alignment method for inertial navigation in measurement-while-drilling (2011) IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 60 (3), art. no. 5559446, pp. 1080-1090. Cited 31 times. doi: 10.1109/TIM.2010.2064631.
33. Pecht, E., Mintchev, M.P. Observability analysis for INS alignment in horizontal drilling (2007) IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 56 (5), pp. 1935-1945. doi: 10.1109/TIM.2007.904485.
34. Pecht, E., Mintchev, M.P. Modeling of observability during in-drilling alignment for horizontal directional drilling (2007) IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 56 (5), pp. 1946-1954. Cited 18 times. doi: 10.1109/TIM.2007.903641.
35. Karumuri, S.R. Review on break through mems technology (2011) Arch. Phys. Res., 2 (4), pp. 158-165.
36. Du, S., Sun, W., Gao, Y. MEMS IMU error mitigation using rotation modulation technique (2016) Sensors (Switzerland), 16 (12), art. no. 2017. http://www.mdpi.com/1424-8220/16/12/2017/pdf.
37. Shin, E. (2005) Estimation techniques for low-cost inertial Navigation. Ph.D. Thesis, University of Calgary, Calgary, AB, Canada.
38. Wu, D., Cao, D., Wang, T., Fang, Y., Fei, J. Adaptive Neural LMI-Based H-Infinity Control for MEMS Gyroscope (2016) IEEE Access, 4, art. no. 7593254, pp. 6624-6630.
39. Carrera, J.L. (2016) A real-time indoor tracking system by fusing inertial sensor, radio signal and floor plan, pp. 1-8. Proc 2016 Int Conf on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN).
40. Yazdkhasti, S., Sasiadek, J., Ulrich, S. (2016) Performance enhancement for gps/ins fusion by using a fuzzy adaptive unscented kalman filter Proc. 21st Int. Conf. on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR).
41. Nassar, S., El-Sheimy, N. A combined algorithm of improving INS error modeling and sensor measurements for accurate INS/GPS navigation (2006) GPS Solutions, 10 (1), pp. 29-39.
42. Zhou, Z., Li, Y., Zhang, J., Rizos, C. Integrated navigation system for a low-cost quadrotor aerial vehicle in the presence of rotor influences (2017) Journal of Surveying Engineering, 143 (1), art. no. 05016006.
43. Zhou, Z., Li, Y., Liu, J., Li, G. Equality constrained robust measurement fusion for adaptive kalman-filter-based heterogeneous multi-sensor navigation (2013) IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 49 (4), art. no. 6621807, pp. 2146-2157.
44. Sun, W., Wang, D., Xu, L., Xu, L. MEMS-based rotary strapdown inertial navigation system (2013) Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 46 (8), pp. 2585-2596.
45. Goshen-Meskin, D., Bar-Itzhack, I.Y. Observability Analysis of Piecewise Constant Systems Part II: Application to Inertial Navigation In-Flight Alignment (1992) IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 28 (4), pp. 1068-1075.
46. Kang, T., Fang, J., Wang, W. Quaternion-optimization-based in-flight alignment approach for airborne POS (2012) IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 61 (11), art. no. 6246704, pp.

2916-2923.
47. Yu, M.-J., Lee, J.G., Park, C.G. Nonlinear robust observer design for strapdown INS in-flight alignment (2004) IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 40 (3), pp. 797-807.
48. Jiang, Y.F., Un, Y.P. Error Estimation of INS Ground Alignment through observability Analysis (1992) IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 28 (1), pp. 92-97.
49. Ramanandan, A., Chen, A., Farrell, J.A. Inertial navigation aiding by stationary updates (2012) IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 13 (1), art. no. 6060912, pp. 235-248.

References

1. Žalman, M., "Actuators," STU Bratislava, 2003, ISBN 80-227-1835-1.
2. Schmid, D., "Management and control for engineering and mechatronics," Verlag EUROPA, ISBN 80-86706-10-9, 2005.
3. Bishop, H.R., "The Mechatronics Handbook," CRC Press, 2006 ISBN 0-8493-0066-5.
4. Heimann, B., W. Gerth, and K. Popp, „Mechatronik – Komponenten – Methoden – Beispiele," HANSER, 2007, ISBN 978-3-446-40599-8.
5. Weber, W., „Industrieroboter," HANSER, 2009, ISBN 978-3-446-41031-2.
6. Barbour, N., J. Elwell, and R. Setterlund, "Inertial instruments: Where to now," ? <www.media.mit.edu/resenv/classes/.../Inertialnotes/Draper-Overview.pdf>, [cit. 2011-07-15].
7. Nikitin, Y.R., and I.V. Abramov, "Models of information processes of mechatronic systems diagnosis" University Review. – 2011. – V. 5. – № 1. – P. 12–16. – ISSN 1337-6047.
8. Titterton, D.H., and J.L. Weston, "Strapdown inertial navigation technology (2nd Edition), : <http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=1241>, [cit. 2011-07-12].
9. Šípoš, Ľ., Publikácia, "Inertial navigation, Zvolen, 2011.
10. Nikitin, Y.R., "Diagnostic models of mechatronic modules and analysis techniques," Procceding of 2-d International Conference Advances in Mechatronics, December 2007, Brno, Czech Republic, ISBN 978-80-7231-314-3.
11. Soták, M., "Integration navigation systems, Košice, 2006.
12. Božek P., J. Šuriansky, 2011. Riadenie robota na báze inerciálneho systému. Ostrava: TU v Ostrave, Mechanical Series 1/2011. [cit: 2017-04-20]. KEGA 3-7285-09, no. 1833.
13. Diaz E.M. et. al., 2015. Evaluation of AHRS Algorithms for Inertial Personal Localization in Industrial Environments. Seville [cit: 2017-04-20]. ISBN 978-1-47997800-7.
14. Jizhou Lai, Pin LV, Jianye Liu and Bin Jiang, 2012. Noncommutativity Error Analysis of Strapdown Inertial Navigation System under the Vibration in UAVs. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2012, Vol. 9, 136:2012.
15. LYNXMOTION, 2016. Robotic Arms AL5B. [online] [cit: 2017-04-20]. Dostupné na internete: ‹http://www.lynxmotion.com/c-126-al5b.aspx›.
16. Madgwick, S., 2013. Oscillatory-Motion-Tracking-With-x-IMU. [online] [cit: 2017-0427]. Dostupné na internete: ‹https://github.com/xioTechnologies/Oscillatory-MotionTracking-With-x-IMU›.
17. Mihalík, J., I. Gladišová, 2013. Číslicová filtrácia signálov (Návody na cvičenia). LČSOV FEI TU Košice, 2013, ISBN 978-80-553-1390-0.
18. NOVATEL, 2014. IMU Errors and Their Effects. . [online] [cit: 2017-04-15]. Dostupné na internete: ‹http://www.novatel.com/assets/Documents/Bulletins/APN064.pdf›.
19. POLOLU CORPORATION, 2016. Pololu Maestro Servo Controller User's Guide. [online] [cit: 2017-04-20]. Dostupné na internete: ‹https://www.pololu.com/docs/0J40›.
20. Quadri, S.A., o. Sidek, 2014. Error and Noise Analysis in an IMU using Kalman Filter. [online] Collaborative Microelectronic Design Excellence Centre (CEDEC), Universiti Sains Malaysia, Engineering Campus, Nibong Tebal 2014. [cit: 2017-03-12]. Dostupné na internete: ‹http://www.sersc.org/journals/IJHIT/vol7_no3_2014/6.pdf›.
21. Qassem, M. A., I. Abuhadrous, H. Elaydi, 2009. Modeling and Simulation of 5 DOF Educational Robot Arm. The 2nd IEEE International Conference on Advanced Computer Control, Shenyang. [online] [cit: 2017-04-20]. Dostupné na internete: ‹http://ieeexplore.ieee.org/document/5487136/›. ISBN 978-1-4244-5848-6.
22. Qazizada M. E., E. Pivarčiová, 2016. Mobile Robot Controlling Possibilities of Inertial Navigation System. Procedia Engineering, Volume 149, 2016, Pages 404–413, doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.685.
23. Soták M., 2008. Application of wavelet analysis to inertial measurements. Scientific papers: Science & Military 2/2008. [cit: 2017-04-20]. SPP–852_08-RO02_RU21-240.
24. Tianmiao Wang, CHaolei Wang, Jianhong Liang, Yang CHen, Yicheng Zhang, 2013. Vision-Aided Inertial Navigation for Small Unmanned Aerial Vehicles in GPS-Denied Environments. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2013, Vol. 10, 276:2013.
25. Turygin Y., Božek P., Nikitin Y. R., Sosnovich E. V., Abramov, A. I., 2016. Enhancing the reliability of mobile robots control process via reverse validation. International Journal of Advanced Robotic Systems, 13. p. 1–8.
26. X-IO TECHNOLOGIES, 2013. x-IMU User Manual 5.2. [online][PDF] Great Britain 2013. [cit: 2017-04-20]. Dostupné na internete: ‹http://x-io.co.uk/downloads/x-IMU-UserManual-v5.2.pdf›.
27. Titterton, D.H., Weston, J.L. (2004) Strapdown In-

ertial Navigation Technology. Cited 2068 times. Institution of Electrical Engineers, Reston VA.
28. Jekeli, C. (2001) Inertial Navigation Systems with Geodetic Applications. Cited 365 times. Walter de Gruyter GmbH & Co, Berlin.
29. Groves, P.D. (2008) Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems. Cited 1021 times. Artech house remote sensing Library, London.
30. Bar-Itzhack, I.Y., Berman, N. Control theoretic approach to inertial navigation systems (1988) Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 11 (3), pp. 237-245. Cited 211 times. doi: 10.2514/3.20299.
31. Silva, F.O., Hemerly, E.M., Leite Filho, W.C. On the error state selection for stationary sins alignment and calibration kalman filters—Part II: Observability/estimability analysis.
32. Jurkov, A.S., Cloutier, J., Pecht, E., Mintchev, M.P. Experimental feasibility of the in-drilling alignment method for inertial navigation in measurement-while-drilling (2011) IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 60 (3), art. no. 5559446, pp. 1080-1090. Cited 31 times. doi: 10.1109/TIM.2010.2064631.
33. Pecht, E., Mintchev, M.P. Observability analysis for INS alignment in horizontal drilling (2007) IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 56 (5), pp. 1935-1945. doi: 10.1109/TIM.2007.904485.
34. Pecht, E., Mintchev, M.P. Modeling of observability during in-drilling alignment for horizontal directional drilling (2007) IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 56 (5), pp. 1946-1954. Cited 18 times. doi: 10.1109/TIM.2007.903641.
35. Karumuri, S.R. Review on break through mems technology (2011) Arch. Phys. Res., 2 (4), pp. 158-165.
36. Du, S., Sun, W., Gao, Y. MEMS IMU error mitigation using rotation modulation technique (2016) Sensors (Switzerland), 16 (12), art. no. 2017. http://www.mdpi.com/1424-8220/16/12/2017/pdf.
37. Shin, E. (2005) Estimation techniques for low-cost inertial Navigation. Ph.D. Thesis, University of Calgary, Calgary, AB, Canada.
38. Wu, D., Cao, D., Wang, T., Fang, Y., Fei, J. Adaptive Neural LMI-Based H-Infinity Control for MEMS Gyroscope (2016) IEEE Access, 4, art. no. 7593254, pp. 6624-6630.
39. Carrera, J.L. (2016) A real-time indoor tracking system by fusing inertial sensor, radio signal and floor plan, pp. 1-8. Proc 2016 Int Conf on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN).
40. Yazdkhasti, S., Sasiadek, J., Ulrich, S. (2016) Performance enhancement for gps/ins fusion by using a fuzzy adaptive unscented kalman filter Proc. 21st Int. Conf. on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR).
41. Nassar, S., El-Sheimy, N. A combined algorithm of improving INS error modeling and sensor measurements for accurate INS/GPS navigation (2006) GPS Solutions, 10 (1), pp. 29-39.
42. Zhou, Z., Li, Y., Zhang, J., Rizos, C. Integrated navigation system for a low-cost quadrotor aerial vehicle in the presence of rotor influences (2017) Journal of Surveying Engineering, 143 (1), art. no. 05016006.
43. Zhou, Z., Li, Y., Liu, J., Li, G. Equality constrained robust measurement fusion for adaptive kalman-filter-based heterogeneous multi-sensor navigation (2013) IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 49 (4), art. no. 6621807, pp. 2146-2157.
44. Sun, W., Wang, D., Xu, L., Xu, L. MEMS-based rotary strapdown inertial navigation system (2013) Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 46 (8), pp. 2585-2596.
45. Goshen-Meskin, D., Bar-Itzhack, I.Y. Observability Analysis of Piecewise Constant Systems Part II: Application to Inertial Navigation In-Flight Alignment (1992) IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 28 (4), pp. 1068-1075.
46. Kang, T., Fang, J., Wang, W. Quaternion-optimization-based in-flight alignment approach for airborne POS (2012) IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 61 (11), art. no. 6246704, pp. 2916-2923.
47. Yu, M.-J., Lee, J.G., Park, C.G. Nonlinear robust observer design for strapdown INS in-flight alignment (2004) IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 40 (3), pp. 797-807.
48. Jiang, Y.F., Un, Y.P. Error Estimation of INS Ground Alignment through observability Analysis (1992) IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 28 (1), pp. 92-97.
49. Ramanandan, A., Chen, A., Farrell, J.A. Inertial navigation aiding by stationary updates (2012) IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 13 (1), art. no. 6060912, pp. 235-248.

УДК 004.422.81

Разработка прототипа программного обеспечения по формированию политики обработки персональных данных веб-ресурсов в сети Интернет

В.Я. Саноцкий
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33,г. Севастополь, 299053, Россия, vladlumarki13@yandex.ru

Статья поступила 22.05.2024 г.; после доработки 23.05.2024 г.

Аннотация

В статье проведен анализ современной ситуации, связанной с нарушениями в области соблюдения требований Федерального закона № 152 по части использования политики обработки персональных данных. В связи с чем изучены существующие методы формированию политики конфиденциальности для веб-ресурсов, а также предложено решение по автоматизации формирования политики конфиденциальности данных в виде разработанной структуры и алгоритма функционирования программного обеспечения. В статье также обсуждается положительное влияние внедрения автоматических методов формирования политики конфиденциальности на деятельность небольших компаний и веб-ресурсов, а также их роль в снижении нарушений в области персональных данных.

Ключевые слова: политика конфиденциальности, веб-ресурс, программное обеспечение, защита персональных данных, автоматизация.

Development of a software prototype for creating personal data processing policies for web resources on the Internet

V.Ya. Sanotskiy
Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, vladlumarki13@yandex.ru

Received 22.05.2024 y.; received in final form 23.05.2024 y.

Abstract

The article analyzes the current situation regarding violations of compliance with the requirements of Federal Law N 152 concerning the use of personal data processing policies. Consequently, existing methods for forming privacy policies for web resources are examined, and a solution is proposed for automating the creation of privacy policies in the form of a developed structure and software functioning algorithm. The article also discusses the positive impact of implementing automatic methods for generating privacy policies on the operations of small companies and web resources, as well as their role in reducing personal data violations.

Keywords: privacy policy, web resource, software, personal data protection, automation.

Введение

В условиях современного информационного общества, пользователями которого являются 66% населения (5,35 млрд), вопросы сохранности данных и оценка ущерба неизменно остаются во внимании многих исследований [1,2,3].

Согласно Федеральному закону от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных», персональные данные – это любая информация, относящаяся прямо или косвенно к определенному или определяемому физическому лицу

(субъекту персональных данных). В этом контексте политика конфиденциальности веб-ресурсов играет ключевую роль в обеспечении защиты таких данных, регламентируя порядок их сбора, хранения и обработки. [4]

Необходимость разработки программного обеспечения для автоматизации данного процесса объясняется стремлением к повышению точности и адаптивности создаваемых документов в соответствии с изменяющимися законодательными нормами и потребностями пользователей.

Цели и задачи

Цель данной статьи заключается в обосновании положения о том, что для обеспечения надежной конфиденциальности и защиты персональных данных на веб-ресурсах необходимо создание специализированного программного обеспечения. Данное программное обеспечение должно учитывать разнообразие законодательных требований и индивидуальные потребности конкретных веб-ресурсов. В статье описано функционирование разрабатываемого программного модуля, который автоматизирует процесс формирования политики конфиденциальности.

Для достижения поставленной цели, были выделены следующие задачи:

- проанализировать роль политики конфиденциальности в области обеспечения конфиденциальности данных пользователей в сети интернет;
- проанализировать проблему отсутствия политики обработки персональных данных на веб-ресурсах;
- изучить существующие методы для создания политик конфиденциальности, выявить их сильные и слабые стороны;
- разработать структуру и алгоритм функционирования программного обеспечения по формированию политики конфиденциальности.

Политика конфиденциальности как механизм защиты персональных данных

Политика конфиденциальности является важнейшим инструментом обеспечения законодательного регулирования в области персональных данных.

В первую очередь, политика конфиденциальности описывает виды собираемой информации. Включая идентифицирующую информацию, такую как ФИО, дата рождения, адрес проживания, контактные данные субъекта и т.д. Организация должна точно указать, какие данные будут собираться и в каком объеме, чтобы у субъекта была полная ясность относительно использования его информации.

Ключевым элементом политики конфиденциальности является определение целей обработки персональных данных. Закон обязывает, чтобы эти цели были законными, конкретными и определенными заранее. Организация обязана четко сформулировать, для чего собираются данные – будь то выполнение договорных обязательств, оказание услуг, соблюдение законодательных требований или другие цели. Это предотвращает неопределенность и возможные злоупотребления в использовании персональных данных.

Крайне важно учитывать необходимость объяснения прав субъекта на доступ к своим данным, их корректировку, удаление, ограничение обработки, а также право возражать против обработки и право на перенос данных. Организация обязана проинформировать субъекта о том, как он может реализовать эти права, к кому обратиться и какие процедуры для этого необходимо выполнить.

Политика конфиденциальности должна также содержать описание мер защиты данных, которые применяет организация. Эти меры могут быть как организационными, так и техническими. Стоит учитывать, что организация обязана обеспечивать безопасность данных на всех этапах обработки.

Процедуры обработки данных, включая сбор, хранение, использование, передачу и уничтожение данных, должны быть подробно регламентированы в политике конфиденциальности. Это необходимо для минимизации рисков утечки и злоупотребления персональными данными. Каждая стадия обработки должна быть четко описана, чтобы обеспечить прозрачность и подотчетность процессов.

В политике конфиденциальности указываются ответственные лица или подразделения, отвечающие за соблюдение правил конфиденциальности. Контактные данные этих лиц должны быть предоставлены субъектам данных, чтобы они могли обратиться за информацией или для реализации своих прав.

Согласно российскому законодательству, организация обязана уведомлять Роскомнадзор о

своей деятельности, связанной с обработкой персональных данных.

Политика конфиденциальности должна быть доступна для ознакомления субъектам данных, через публикацию на официальном вебсайте организации на каждой странице, где осуществляется сбор данных пользователя.

Помимо сбора непосредственных данных пользователей, нельзя забывать о cookie-файлах, которые создаются при посещении пользователем сайта и содержат информацию о пользователе и его действиях на веб-сайте, включая логин, настройки сайта и т.д.

Так как данные файлы непосредственно связаны с сбором, хранением и обработкой персональных данных пользователей, политика конфиденциальности должна четко описывать, как и для чего используются файлы cookie, чтобы обеспечить прозрачность и соответствие законодательным требованиям.

Рассмотрим основные аспекты, которые следует учитывать при разработке политики конфиденциальности в контексте использования файлов cookie.

Политика конфиденциальности должна включать четкое определение файлов cookie и объяснение их назначения:

- cookie помогают распознавать пользователя при повторных посещениях и обеспечивать доступ к персонализированным услугам.
- используются для сбора данных о поведении пользователей на сайте, что помогает улучшить функциональность и пользовательский опыт.
- позволяют отслеживать предпочтения пользователей и предоставлять им таргетированную рекламу.

Важно классифицировать файлы cookie по их назначению и сроку действия. Политика конфиденциальности должна различать следующие типы файлов cookie:

- необходимые эти файлы cookie необходимы для корректной работы сайта и не могут быть отключены в системах сайта.
- функциональные позволяют улучшить функциональность сайта, предоставляя персонализированные функции.
- аналитические служат для сбора информации о том, как пользователи взаимодействуют с сайтом, чтобы улучшить его работу.
- рекламные эти файлы cookie используются для создания профиля интересов пользователя и предоставления рекламы, соответствующей этим интересам.

Один из ключевых аспектов политики конфиденциальности — это получение согласия пользователя на использование файлов cookie. Политика должна описывать механизмы получения согласия, такие как всплывающие окна или баннеры, и объяснять, как пользователи могут управлять своими предпочтениями относительно файлов cookie.

Пользователь должен дать явное согласие на использование файлов cookie, особенно если речь идет о рекламных или аналитических cookie. Также, политика должна предусматривать возможность для пользователей отозвать свое согласие и удалить файлы cookie в любое время.

Предоставление пользователям права на доступ, исправление или удаление своих данных, а также право на возражение против их обработки. закреплены в ФЗ № 152.

Файлы cookie являются важным элементом политики конфиденциальности, так как они влияют на сбор и обработку персональных данных. Для обеспечения эффективности политики конфиденциальности организации должны также включать в неё процедуры по регулярному обновлению её положений, в зависимости от изменений в законодательстве.

Эти действия помогут поддерживать высокий уровень защиты данных и доверия со стороны субъектов данных.

Стоит упомянуть пользовательское соглашение так как оно устанавливает правовые рамки и условия использования сайта пользователем.

Соглашение должно эффективно информировать пользователей о их правах и обязанностях и предусматривать возможность изменения политики конфиденциальности и условия, при которых такие изменения могут быть внесены.

Проблематика отсутствия политики обработки персональных данных на веб-ресурсах

В соответствии с законодательными нормами, оператор, осуществляющий сбор персональных данных через информационно-телекоммуникационные сети, обязан опубликовать документ, устанавливающий политику обработки персональных данных.

В части 1 статьи 19 Федерального Закона «О персональных данных», закреплено, что опера-

тор при обработке данных должен принимать соответствующие меры (правовые, организационные и технические), либо обеспечивать их принятие для защиты персональных данных от неправомерного или случайного доступа к ним, уничтожения, изменения, блокирования, копирования, предоставления, распространения, а также от иных неправомерных действий в отношении персональных данных [4]

Отсутствие политики обработки персональных данных на веб-ресурсах в российском юридическом контексте представляет собой серьезную проблему, касающуюся как защиты прав пользователей, так и соблюдения требований российского законодательства. Организации, которые собирают и обрабатывают персональные данные, обязаны информировать пользователей о целях, способах и условиях обработки их данных, а также получать их явное согласие на такие действия. Нарушение этих требований может привести к значительным юридическим последствиям для организации.

Кроме того, нарушение законодательства о защите персональных данных может привести к административной ответственности для организации. Роскомнадзор, как надзорный орган, регулярно проводит проверки и в случае выявления нарушений может наложить административные штрафы. В случае значительных нарушений возможны серьезные санкции, вплоть до блокировки веб-ресурса на территории Российской Федерации.

Большая часть нарушенийв сфере защиты прав субъектов персональных данных вызвана несоблюдением операторами требований по обеспечению свободного доступа к политике обработки персональных данных, что отражено в отчете Роскомнадзора за 2023 год [6], где данные нарушения составили 22,5% от общего числа. Стоит отметить, что регуляторы предпринимают действия по усиления ответственности за нарушения в области обработки персональных данных, отражением которых являются, как многократное увеличение штрафов с 23.12.2023, так и возросший объём возлагаемой ответственности на операторов персональных данных. Данная политика позитивно способствует более осознанному отношению со стороны компаний, что можно заметить в настоящий момент, изучив отчет Роскомнадзора за первый квартал 2024 года [7]. Согласно отчету, главными нарушениями сталинесоответствие политики конфиденциальности требованиям Федерального закона (16%) и обработка персональных данных без указания сроков из обработки (13%). Как можно заметить, компании стали уделять больше внимания внедрению политики конфиденциальности, однако, весьма точное замечание было высказано руководителем направления центра компетенций по информационной безопасности «Т1 Интеграция» Валерием Степановым: «Многие владельцы сайтов, действительно, игнорируют требование иметь корректную политику конфиденциальности и размещать ее. Чаще всего владельцы используют шаблоны данной политики из интернета, неадаптированные под конкретную организацию. Делается это для формального наличия политики, но не для практической пользы с точки зрения информационной безопасности. Почему это происходит? Это может быть связано с недостаточным пониманием законодательства по защите персональных данных или чаще с нежеланием заниматься этим вопросом» [8].

Согласно отчету Роскомнадзора, множество владельцев веб-ресурсов формально внедряют политику конфиденциальности, не внося существенных изменений для обеспечения реальной защиты персональных данных. Это свидетельствует о том, что операторы часто ограничиваются поверхностным выполнением законодательных требований, не обеспечивая должный уровень безопасности пользовательской информации. Недостаточное внимание к соблюдению требований обработки персональных данных создает серьезные риски для частной информации и подрывает доверие пользователей к веб-ресурсам. Исходя из этого, необходимо усилить контроль и ответственность за несоблюдение требований законодательства, чтобы повысить уровень доверия и безопасности в информационно-телекоммуникационных сетях.

Кроме того, юридические риски сопровождаются репутационными потерями. Современные пользователи все лучше осведомлены о своих правах на защиту персональных данных и предпочитают работать с организациями, которые демонстрируют высокий уровень ответственности и прозрачности. Веб-ресурсы, не имеющие четкой политики обработки данных, рискуют утратить доверие пользователей, что негативно сказывается на их деловой репутации и конкурентоспособности на рынке.

Не менее важным аспектом является необходимость соблюдения принципа минимизации данных и обеспечения безопасности при их обработке. Российское законодательство требует от организаций принимать необходимые организационные и технические меры для защиты персональных данных от неправомерного доступа,

изменения, раскрытия или уничтожения. Политика обработки данных позволяет систематизировать эти меры, устанавливая четкие правила и процедуры, что способствует улучшению общей безопасности данных и снижению рисков их утечки.

Таким образом, отсутствие политики обработки персональных данных на веб-ресурсах в российском юридическом контексте является значительным нарушением законодательства, которое влечет за собой юридические и репутационные риски. Для обеспечения соответствия требованиям законодательства и защиты прав пользователей, веб-ресурсы должны разрабатывать, внедрять и регулярно обновлять свои политики обработки данных, обеспечивая их доступность и понятность для пользователей.

Существующие подходы к формированию политики конфиденциальности

Пользователи веб-ресурсов ожидают, что их данные будут защищены и обработаны в соответствии с законодательством и лучшими практиками безопасности. На сегодняшний день существует несколько основных подходов к формированию политик конфиденциальности:

1. Ручное создание и обновление политик.

Большинство владельцев веб-ресурсов формируют политики конфиденциальности вручную, основываясь на шаблонах и рекомендация, представленных в законодательстве и отраслевых стандартах. Однако данный метод обладает рядом недостатков:

- высокая трудоемкость и временные затраты;
- ошибки и неточности, вызванные человеческим фактором;
- необходимость в юридической экспертизе.

2. Использование онлайн-шаблонов или конструкторов.

Онлайн-сервисы, предоставляющие шаблоны и автоматические конструкторы, упрощают процесс создания политик конфиденциальности. Преимущества такого подхода включают:

- ускорение процесса создания документа;
- снижение риска ошибок за счет стандартизированного подхода;
- доступность для пользователей без юридического образования.

Тем не менее, эти инструменты часто страдают от недостатка индивидуализации и не всегда могут полностью соответствовать специфическим требованиям конкретного веб-ресурса или регионального законодательства.

3. Юридическая помощь.

Формирование политики конфиденциальности с помощью юриста является одним из наиболее надежных способов обеспечить соответствие всем юридическим требованиям и защитить бизнес от потенциальных правовых рисков. Этот процесс включает несколько ключевых этапов, каждый из которых играет важную роль в создании детализированного и соответствующего законодательства документа. Недостатками такого подхода является:

- высокая стоимость: услуги квалифицированных юристов могут быть дорогими, что представляет значительный барьер для небольших компаний;
- продолжительность процесса: разработка политики конфиденциальности юристов занимает больше времени по сравнению с другими методами;
- влияние человеческого фактора может привести к ошибкам, что может повлечь негативные последствия.

Обращение к юристу для разработки политики конфиденциальности является наиболее надежным способом обеспечить юридическую защиту и соответствие всем применимым требованиям, несмотря на возможные затраты и временные издержки.

Разработка структуры и алгоритма функционирования программного обеспечения по формированию политики конфиденциальности

Разработка программного обеспечения для формирования политики конфиденциальности требует продуманной структуры, включающей несколько ключевых компонентов.

Архитектура системы:

- модуль ввода данных;
- модуль генерации текста;
- модуль управления пользователями;
- модуль хранения данных;
- модуль управления версиями;
- модуль соответствия нормативным требованиям.

Алгоритм функционирования программного обеспечения включает несколько ключевых этапов.

- Инициализация и сбор данных.
- Анализ законодательства.
- Настройка параметров конфиденциальности.

- Генерация политики конфиденциальности.
- Предоставление политики для редактирования.
- Сохранение и обновление политики.

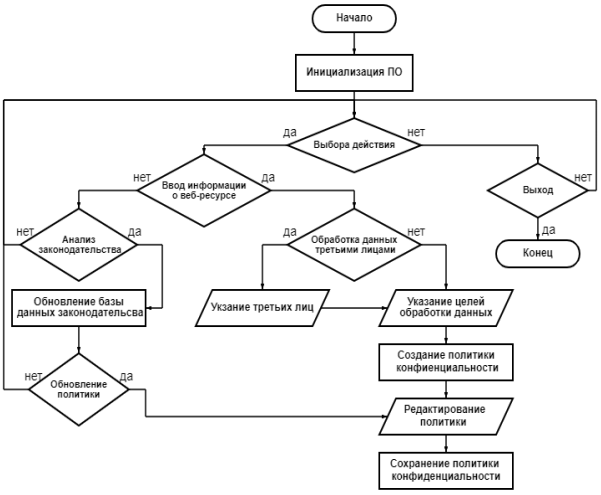


Рис. 1. Алгоритм функционирования программного обеспечения по формированию политики конфиденциальности

На первом этапе происходит инициализация программы. При запуске программного обеспечения отображается главное меню, предоставляющее пользователю доступ ко всем основным функциям программы. Также запрашиваются сведения о видах данных, собираемых на веб-ресурсе. На втором этапе проводится анализ действующего законодательства по защите персональных данных и требованиям к политике конфиденциальности. Программа автоматически обновляет базу данных нормативных актов и регулирующих документов.

На третьем этапе осуществляется настройка параметров конфиденциальности. Пользователь может выбрать настройки, касающиеся использования файлов cookie, обработки персональных данных, прав пользователей и других аспектов политики конфиденциальности.

Четвертый этап представляет собой автоматическое генерацию текста политики конфиденциальности. Программа анализирует введенные данные и настройки, структурирует информацию и автоматически генерирует текст документа.

Пятый этап включает редактирование и завершение документа. Возможность просмотреть сгенерированный текст политики конфиденциальности, внести необходимые изменения и дополнения. Программа предоставляет интерфейс для редактирования, что позволяет адаптировать документ под конкретные запросы пользователя.

На шестом этапе осуществляется сохранение и экспорт готового документа. Политика конфиденциальности может быть сохранена в различных форматах, что обеспечивает удобство её интеграции на веб-ресурс. Программа также позволяет сохранить шаблоны для последующего использования и обновления политики.

Заключение

В работе разработан прототип программного обеспечения по формированию политики обработки персональных данных веб-ресурсов в сети Интернет. Система будет способствовать созданию детализированных документов, соответствующих нормативным требованиям, что упростит разработку политики конфиденциальности для малых предприятий и веб-ресурсов, обеспечивая при этом соответствие законодательным нормам, тем самым повышая доверие пользователей. Для реализации поставленной цели была разработана структура системы, включающая модули для ввода данных о веб-ресурсе, настройки параметров конфиденциальности, автоматического генерирования текста политики и её последующего редактирования. Отличительной особенностью продукта является высокая степень автоматизации и пользовательская гибкость, что позволяет минимизировать время без понижения качества для формирования политики конфиденциальности.

Список литературы

1. Ожиганова М.И. Применение машинного обучения в защите веб-приложений / Ожиганова М.И., Куртаметов Э.С. //НБИ технологии, 2020. Т. 14. № 2. С. 16-20.
2. Люльченко А.Н. Метод количественной оценки ущерба от воздействия угроз безопасности информации/ Люльченко А.Н., Швед В.Г., Ожиганова М.И., Костюков А.Д. //Защита информации. Инсайд. 2021. № 5 (101). С. 11-15.
3. Петренко А.С. Модель угроз безопасности по аналитике зарубежных национальных квантовых программ /Петренко А.С., Петренко С.А., Ожиганова М.И.// Защита информации. Инсайд. 2021. № 4 (100). С. 50-59.
4. Федеральный закон от 27.07.2006 (ред. от 06.02.2023) N 152-ФЗ «О персональных данных». [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ст.: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801 / (дата обращения 15.03.2024 г.).
5. Рекомендации по составлению документа, определяющего политику оператора в отношении обработки персональных данных от 29.08.2017

[Электронный ресурс]. – Режим доступа к ст.: https://24.rkn.gov.ru/directions/p5987/p22406 / (дата обращения 15.03.2024 г.).
6. Типовые нарушения за 2023 год [Электронный ресурс] – Режим доступа к ст.: https://56.rkn.gov.ru/docs/56/sm6770/Tipovye_narushenija__2023.docx/ (дата обращения 25.03.2024 г.).
7. Типовые нарушения за 1 квартал 2024 года [Электронный ресурс] – Режим доступа к ст.: https://56.rkn.gov.ru/docs/56/sm6770/Tipovye_narushenija_1_kvartal_2024_1.docx/ (дата обращения 25.03.2024 г.)
8. Статья «Российские сайты забыли про политики конфиденциальности» от 20.02.2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ст.: https://www.comnews.ru/content/231651/2024-02-20/2024-w08/1008/rossiyskie-sayty-zabyli-pro-politiki-konfidencialnosti / (дата обращения 21.04.2024 г.).

References

1. Ozhiganova M.I. Application of machine learning in web application security/ Ozhiganova M.I., Kurtametov E.S. // NBI Technologies. 2020. Vol. 14. No. 2. pp. 16-20.
2. Lyulchenko A.N.Method for quantitative assessment of damage from the impact of information security threats/ Lyulchenko A.N., Shved V.G., Ozhiganova M.I., Kostyukov A.D. // Information Security. Inside. 2021. No. 5 (101). pp. 11-15.
3. Petrenko A.S.Threat model based on analytics of foreign national quantum programs /Petrenko A.S., Petrenko S.A., Ozhiganova M.I. // Information Security. Inside. 2021. No. 4 (100). pp. 50-59.
4. Federal Law of July 27, 2006 (as amended on 06.02.2023) No. 152-FZ «On Personal Data». [Electronic resource]. – Mode of access to the article: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801 (date of access 15.03.2024).
5. Recommendations for drafting a document defining the operator's policy regarding the processing of personal data dated August 29, 2017 [Electronic resource]. – Mode of access to the article: https://24.rkn.gov.ru/directions/p5987/p22406 (date of access 15.03.2024).
6. Typical violations for 2023 [Electronic resource] – Mode of access to the article: https://56.rkn.gov.ru/docs/56/sm6770/Tipovye_narushenija__2023.docx (date of access 25.03.2024).
7. Typical violations for the 1st quarter of 2024 [Electronic resource] – Mode of access to the article: https://56.rkn.gov.ru/docs/56/sm6770/Tipovye_narushenija_1_kvartal_2024_1.docx (date of access 25.03.2024).
8. Article «Russian websites forgot about privacy policies» dated February 20, 2024 [Electronic resource]. – Mode of access to the article: https://www.comnews.ru/content/231651/2024-02-20/2024-w08/1008/rossiyskie-sayty-zabyli-pro-politiki-konfidencialnosti (date of access 21.04.2024).

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 621.311.24

Построение новых ветроэлектростанций для увеличения энергетического потенциала Республики Крым

О.Б. Бекиров [1], Р.Н. Абдурахманов [2], В.В. Кувшинов [3], Э.А. Бекиров [4]
[1] *ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», Физико-технический институт, г. Симферополь, osman_bekirov@list.ru*
[2] *ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», Физико-технический институт, г. Симферополь*
[3] *ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053*
[4] *ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», Физико-технический институт, г. Симферополь*

Статья поступила 06.05.2024 г.; после доработки 07.05.2024 г.

Аннотация.
Направлением является оценка эффективности применения ветроэнергетических установок на территории полуострова Чонгар, и повышение энергетического потенциала Республики Крым, обеспечение электроэнергией жителей Республики Крым.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, ветрогенератор, мощность, трансформатор.

Increasing the energy potential of the Republic of Crimea

O.B. Bekirov [1], R.N. Abdurakhmanov [2], V.V. Kuvshinov [3], E.A. Bekirov [4]
[1] V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute of Physics and Technology, Simferopol, *osman_bekirov@list.ru*
[2] V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute of Physics and Technology, Simferopol
[3] *Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053*
[4] V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute of Physics and Technology, Simferopol

Received 06.05.2024 y.; received in final form 07.05.2024 y.

Abstract
The purpose is to assess the effectiveness of the use of wind power plants on the territory of the Chongar Peninsula, and to increase the energy potential of the Republic of Crimea, providing electricity to residents of the Republic of Crimea.

Key words: wind power plant, wind generator, power, transformer.

Введение

Для расчета выбраны выпускаемые зарубежные ветрогенераторы Bonus B82 /2300 и Vestas-v47, при выпускаемой отечественной промышленностью ВЭУ, зарубежные могут быть заменены отечественными ветрогенераторами, имеющие такие же мощности, как и полученные при расчете.

Ветростанция по проекту строится на несельскохозяйственных угодьях, а там, где преобладающими являются солончаки и береговая зона имеет болотистость.

Общая площадь по протяженности побережья

полуострова Чонгар, на котором будет проектироваться ВЭС составляет 12 километров в длину и 3 километра в ширину, соответственно площадь выбранного участка равна 36 километров. На данной территории с учетом безопасного расстояния, в шахматном порядке возможна установка десяти ветрогенераторов типа Bonus B82 /2300 с номинальной мощностью - 2,3 МВт, и двенадцати ветрогенераторов типа Vestas-v47 с номинальной мощностью - 660 кВт, которые показаны на рис. 1.

Рис. 1 Расположение ветрогенераторов на побережье Чонгар

Для расчета и проектирования приведены технические и энергетические параметры ветроэлектрических установок планируемых для постройки ВЭС

Таблица 1. *Данные ВЭС:*

№	Наименование	
1	Тип ВЭУ – обозначение и номинальная мощность – Рном, кВт	Bonus B82/2300 Vestas-v47
2	Расположение ВЭУ по типу 1,2,3	РШ-2
3	Коэффициент Хеллмана К – таблица 2	0,2
4	Высота башни ВЭУ h, м	100;65
5	*Характеристики ВЭУ*	*Таблица 1/2*

Для выбора ориентации ветрогенератора необходим анализ розы ветров полуострова Чонгар, для этого были взяты данные почасовых скоростей ветра и направления за год.

Из полученных данных можно наблюдать, что наиболее продолжительный и полезный ветряной поток направлен с юго-восточного направления.

Таблица 2. *Параметры ветрогенератора Bonus B82 /2300*

Параметры ВЭУ	
Номинальная мощность	2300 кВт
Минимальная скорость ветра	3,5 м/с
Номинальная скорость ветра	15 м/с
Максимальная скорость ветра	25 м/с
Диаметр ротора	82 м
Тип генератора	Асинхронный
Максимальная частота вращения	1500 об/мин
Напряжение	690 В
Частота	50 Гц
Высота ступицы	100 м
Тип башни	коническая

Таблица 3. *Параметры ветрогенератора Vestas-v47*

Параметры ВЭУ	
Номинальная мощность	660 кВт
Минимальная скорость ветра	4 м/с
Номинальная скорость ветра	15 м/с
Максимальная скорость ветра	25 м/с
Диаметр ротора	47 м
Тип генератора	Асинхронный
Максимальная частота вращения	1650 об/мин
Напряжение	690 В
Частота	50 Гц
Высота ступицы	65 м
Тип башни	коническая

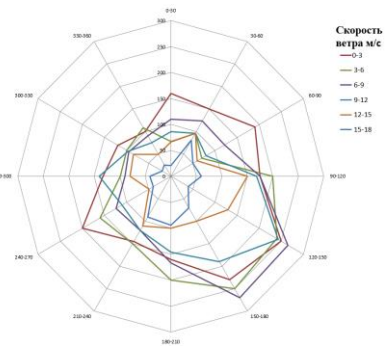


Рис. 2 Роза ветров полуострова Чонгар

Расчет фактически реализуемой мощности и выработки электроэнергии на одной одиночно стоящей ВЭУ на площадке ВЭС. [1]:

$$P = A * C_p * p * \frac{v^3}{2}, \quad (1)$$

где A – площадь ометания ветроколеса, м^2

C_p – коэффициент

ρ- плотность воздуха

v – скорость ветра, м/с

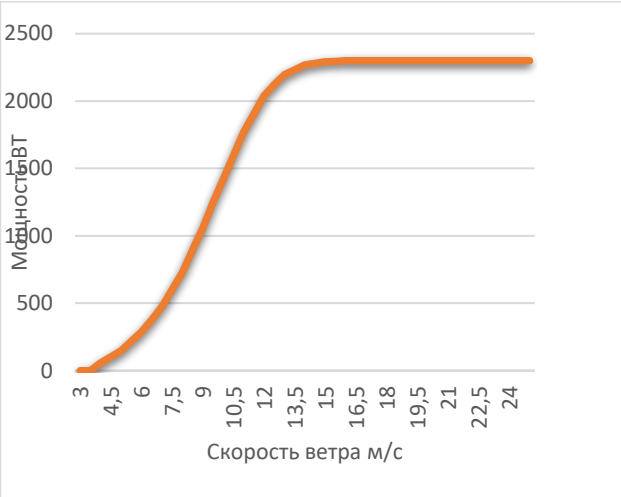


Рис.3. Кривая мощности ветрогенератора Bonus B82/2300

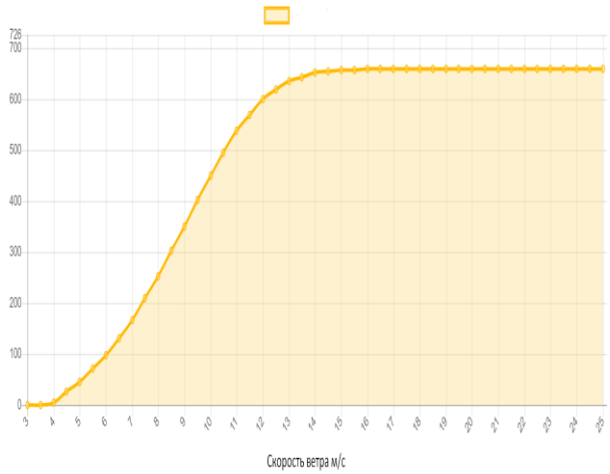


Рис.4. Кривая мощности ветрогенератора Vestas-v47

Скорость ветра V_{ji} на высоте оси ротора ВТ – на высоте башни H_j для j- той ВЭУ по формуле [2]:

$$V_{ji} = \left(V_j * \frac{H_j}{H_0}\right)^k, \quad (2)$$

где: V_i – Среднегодовая скорость ветра, м/с; *H0* – высота, на которой снимали результаты метеостанции, *H0* = 10м; *k*- коэффициент Хеллмана

Объем годовой выработки электроэнергии одной одиночно стоящей ВЭУ без учета взаимного затенения другими ВЭУ по формуле [3]:

$$W_{\text{одна ВЭУ}} = K_r * \sum_i^N P_i(V_{ji}) * T, \quad (3)$$

где: $V_{\Phi i}$ – по принятым данным ветропотенциала на площадке ВЭС;

V_{ji} – по расчету согласно (1) для принятых значений $V_{\Phi i}$;

T – число часов в году скорости ветра на площадке ВЭС, час;

K_r- коэффициент готовности ВЭУ, принимается 0,95

Взаимное затенение ВЭУ на площадке ВЭС.

Расположение ВЭУ: РШ-2- в два ряда в щахматном порядке

a_{cp}	0,235
Величина $\Delta a_j = \Delta a_{cp}$	0,05
Сумма (a_{cp}+Δa_{cp})	0,285

Определение мощности, реализуемой групповой ВЭУ на данной площадке ВЭС находится по формуле [4]:

$$P_{\sum \text{ВЭУ}} = P_j(V_{hi})*N*[1-(a_{cp}+\Delta a_{cp})], \quad (4)$$

где: $P_j(V_{hi})$ - мощность, вырабатываемая ВЭУ на высоте H_j, кВт;

N – количество ВЭУ на площадке ВЭС;

a_{cp} – средний коэффициент затенения ВЭУ;

Δa_{cp} – дополнительный коэффициент затенения, зависимый от ландшафта расположение ВЭУ

Расчет среднегодовой выработки электроэнергии ВЭС производится по формуле [5]:

$$W_{\sum \text{ВЭС}} = K_r * K_M * P_j(V_{hji}) * T * N * \left[1 - \left(a_{cp}+\Delta a_{cp}\right)\right], \quad (5)$$

где K_r – коэффициент готовности ВЭУ, принимается 0,95

K_M – коэффициент мощности ВЭУ

$P_j(V_{hi})$ – мощность вырабатываемая ВЭУ на высоте H_j, кВт;

N – количество ВЭУ на площадке ВЭС;

При выработке электроэнергии и передаче её в сеть, каждая ВЭС потребляет небольшую часть электроэнергии для своей работы на собственные нужды для работы обородования ВЭУ систем автоматики, для функционирования метеопостов, освещения и обогрева помещений

станции. Потребление электрической энергии на собственные нужды основного оборудования ВЭС:

Потребление элетрической энергии на собственные нужды основного оборудования ВЭС - $W_{\text{сн}}$. Принимается в размере (2,2…2,5)% от $W_{\sum \text{ВЭС}}$.Потери электроэнергии приведены в таблице 8.

Расчет проектного годового отпуска товарной электрической энергии ВЭС производится по формуле: [6]

$$W_{\text{Т}} = W_{\sum \text{ВЭС}} - W\,, \qquad (6)$$

где: $W_{\sum \text{ВЭС}}$ −выработка элетрической энергии ВЭУ

W- потери электроэнергии

Определение среднегодового коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) ВЭС

Этот показатель рассчитывается исходя из фактически полученного значения проектного годового отпуска электроэнергии и расчетного значения, полученного из предложения, что все ВЭУ в составе ВЭС реализуют номинальную мощность в течении всего года по формуле [7]

$$\text{КИУМ} = \frac{W_{\text{Т}}}{W_{\text{Трас}}}\,, \qquad (7)$$

Размещение ВЭУ на площадке ВЭС

Для построения ветроэлектростанции необходимо расположить ветрогенераторы на свободной местности побережья Чонгар. Расстояние между ветрогенераторами принимаем – Н, рассчитываем по формуле [8]:

$$H = H_r * k\,, \qquad (8)$$

где: Н- расстояние между опорами ветрогенератора м;

Hr -диаметр лопастей м;

k-коэффициент безопасной зоны, принимается от 8 до 13.

Так как диаметр ротора составляет 82 метра, коэффициент безопасной зоны принимаем 12, чтобы снизить коэффициент затенения к минимуму.

Расстояние между ВЭУ принимается 12D.

После размещения ВЭУ на площадке ВЭС, необходимо определить площадь S [км^2], затем рассчитать удельные показатели суммарной реализуемой мощности $\text{P}_{\sum \text{ВЭУ}}$ и суммарной выработки электроэнергии $W_{\sum \text{ВЭУ}}$ по отношению к площади площадки ВЭС согласно по формулам [8]:

$$P_s = \frac{\text{P}_{\sum \text{ВЭУ}}}{s}\,, \qquad (8)$$

где: P_s −плотность мощности, МВт/км^2

Разработка электрической схемы ВЭС

Внутренняя схема ВЭС (ПВЭМ)

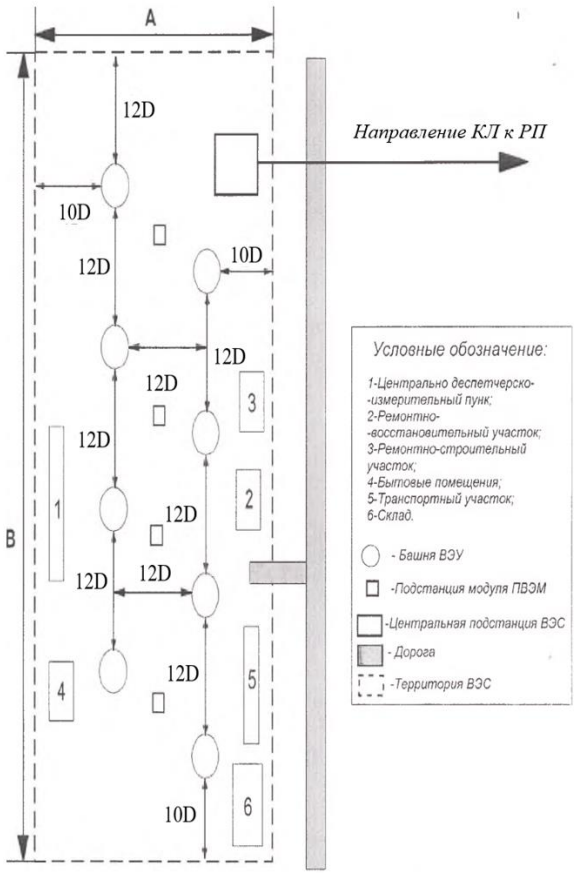


Рис 5. Схема площадки ВЭС с расположением ВЭУ в два ряда в шахматном порядке (РШ-2)

Номинальная мощность ТР ПВЭМ определяется по формуле [9]:

$$S_{\text{ном ПВЭМ}} = \frac{\sum P_{\text{ном ВЭУ}}}{1{,}2 * \cos\varphi}\,, \qquad (9)$$

где: $\sum P_{\text{ном ВЭУ}}$ − суммарная номинальная мощность ВЭУ, которая соеденяется в модуль кВт.

$\cos\varphi$ − коэффициент мощности на стороне низкого напряжения ТР на стороне режима отдачи установленной мощности всех ВЭУ модуля. $\cos\varphi$ = 0,95

Выбираем силовой трансформатор типа: ТМ 2500/35 для ветрогенератора Bonus B82 /2300 в количестве 10 шт., и 4 шт. для Vestas-v47 с

характеристиками указанными в таблице 7.

Таблица 7. *Характеристики трансформатора*

Тип трансформатора	Верхний предел номинальных значений, кВ		Потери, Вт				Напряжение короткого замыкания (Uk), %	Ток холостого хода (Ixx), %
	ВН	НН	Холостого хода, Вт	Короткого замыкания, Вт	Активные, КВт	Реактивные, КВАр		
ТМ-2500/35	35	0,69	3,9	23,5	5,1	27,5	6,5	1

Общие потери в трансформаторах рассчитывается по формулам:[10] и [11]

$$\Delta P_t = \Delta P_i * m\ ; \quad (10)$$

$$\Delta Q_t = \Delta Q_i * m\ , \quad (11)$$

где: ΔP_t-суммарные активные потери в трансформаторах;

ΔP_i- активные потери в трансформаторе, ΔQ_t- суммарные реактивные потери в трансформаторах;

ΔQ_i- реактивные потери в трансформаторе, m-количество трансформаторов

Результаты потерь приведены в таблице 8

Номинальная мощность электростанции рассчитывается по формуле [12]:

$$P = P_n * n\ , \quad (12)$$

где: P- номинальная мощность электростанции МВт;

P_n – номинальная мощность ветрогенератора МВт;

n- количество установок.

Номинальная мощность электростанции составляет 30,92 МВт.

Выбор ориентации ветрогенераторов по направлению ветра.

Выбор линий электропередач.

Номинальный ток генерируемый одним ветрогенератором рассчитывается по формуле [13]:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}*U}\ , \quad (13)$$

Для оптимизации транспортировки электроэнергии группируем ветрогенераторы в 2 группы по 11 получаем кабельные линии с номинальным током в 287 А. Выбираем кабель трехжильный с отдельно освинцованными и алюминиевыми жилами с сечением 150 мм^2. Расстояния кабельных линий соответственно l_1= 27 км; l_2= 23км;

Подключение электростанции осуществляется к проходной подстанции 35кВ находящаяся в с. Медведевка.

Расчет активных и реактивных потерь в линии производится по формулам [14] и [15]

$$\Delta P_l = \frac{P^2}{U^2} * R; \quad (14)$$

$$\Delta Q_l = \frac{Q^2}{U^2} * X, \quad (15)$$

где: ΔP_l- активные потери в линии;

ΔQ_l- реактивные потери в линии;

U- напряжение в лини.

Активное сопротивление провода и индуктивное сопротивление провода находятся по формулам [16] и [17]

$$R = \sum r * l_i\ ; \quad (16)$$

$$X = \sum x * l_i\ , \quad (17)$$

где: r - активное сопротивление провода (Ом/км);

X - индуктивное сопротивление провода (Ом/км);

l_i -длина линии.

В таблице 8 приведены расчетные значения потерь электроэнергии.

Таблица 8. *Потери электроэнергии*

	Bonus B82 /2300	Vestas-v47	Итого
Потери в трансформаторах кВт	40800	16320	57120
Потери в линиях кВт	35200		35200
Потери на собственные нужды кВт	55600	14200	69800
			162120

Выводы

В статье был проведен анализ работы ВЭУ разных мощностей расположенных в шахматном порядке и определены значения генерируемой электроэнергии. Произведена оценка эффективности применения ветроэнергетических установок на территории полуострова Чонгар, для повышение энергетического потенциала Республики Крым, расчетные значения показывают, что генерация проектируемой ВЭС составляет 3.2% от потребляемой электроэнергии в Республике Крым и городе Севастополь.

Список литературы

1. Танашева Н.К., Бахтыбекова А.Р., Шуюшбаева Н.Н., Тусупбекова А.К., Тлеубергенова А.Ж. Расчет аэродинамических характеристик ветроэнергетической установки с лопастями в виде

вращающихся цилиндров // Письма в журнал технической физики. 2021. №20 (47). С. 52-54.
2. Ушкац Т.Д., Гринченко Д.Р. Проблемы и перспективы развития ветроэнергетики в северных регионах России // Экономика и предпринимательство. 2019. № 7 (108). С. 559-563.
3. Обухов С.Г., Давыдов Д.Ю. Методика оптимизации компоновки ветроэлектростанций морского базирования с учетом затрат на электрическую систему сбора мощности // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2022. Т. 65. № 4. С. 301-316.
4. Филькин М.Е. Обзор и анализ развития ветроэнергетики России в региональной энергосистеме (на материалах Ростовской области) // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. 2022. 3 (71).
5. Фатеев Е.М. Методика определения параметров ветроэнергетических расчетов ветросиловых установок [Текст]. М: Издательство АН СССР. 1957-87.
6. Зубова Н.В., Костырева А.В., Митрофанов С.В. Прогнозирование вырабатываемой мощности ветроэнергетической установки на основе нейронных сетей // Энергобезопасность и энергосбережение. 2017. № 6. С. 29-31.
7. Зубакин В.А., Величко А.И. Прогнозирование выработки ветряных электростанций и оценка влияния климатических параметров на кривую мощности ветрогенератора // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. 2022. № 1 (306). С. 120-131.
8. Тучинский Б.Г. Средние скорости ветра в ветроэнергетике. Відновлювана енергетика. №3 (30). 2012. С. 45 – 57.
9. Совмещение методов математической статистики и вейвлет-преобразований для обработки экспериментальных данных Айказян М.Э., Стакян Ю.М., Стакян М.Г.
В сборнике: детали машин и теория механизмов. Сборник международной конференции в рамках 74 научно-методической и научно- исследовательской конференции Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. 2016. С. 5-15.
10. Возможности пакета Matlab в использовании удаленных вычислений для решений задач по численных методам Нгуен Зуи Тхаи. Программные продукты и системы. 2012. № 3. С. 43.
11. Анализ энергетических характеристик ветроэлектрических установок Бельский А.А., Замятин А.И. Омский научный вестник. 2023. № 1 (185). С. 58-64.
12. Белобородов С.С., Гашо Е.Г., Ненашев А.В. возобновляемые источники энергии и водород в энергосистеме: проблемы и преимущества Гухман Г.А.Энергия: экономика, техника, экология. 2022. № 9 (453). С. 60-66

References

1. Tanasheva N.K., Bakhtybekova A.R., Shuyushbaeva N.N., Tusupbekova A.K., Tleubergenova A.J. Calculation of aerodynamic characteristics of a wind power plant with blades in the form of rotating cylinders // Letters to the Journal of Technical Physics. 2021. No.20 (47). pp. 52-54.
2. Ushkats T.D., Grinchenko D.R. Problems and prospects of wind energy development in the northern regions of Russia // Economics and entrepreneurship. 2019. No. 7 (108). pp. 559-563.
3. Obukhov S.G., Davydov D.Yu. Methodology for optimizing the layout of offshore wind farms, taking into account the costs of an electric power collection system // Energy. Izvestia of higher educational institutions and energy associations of the CIS. 2022. Vol. 65. No. 4. pp. 301-316.
4. Filkin M.E. Review and analysis of the development of wind energy in Russia in the regional energy system (based on materials from the Rostov region) // Regional Economics and Management: electronic scientific journal. 2022. 3 (71).
5. Fateev E.M. Methodology for determining the parameters of wind power calculations of wind power plants [Text]. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. 1957-87.
6. Zubova N.V., Kostyreva A.V., Mitrofanov S.V. Forecasting the generated power of a wind power plant based on neural networks // Energy security and energy conservation. 2017. No. 6. pp. 29-31.
7. Zubakin V.A., Velichko A.I. Forecasting the production of wind power plants and assessing the influence of climatic parameters on the power curve of a wind generator // Proceedings of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas. 2022. No. 1 (306). pp. 120-131.
8. Tuchinsky B.G. Average wind speeds in wind energy. Vydnovluvan energetics. No.3 (30). 2012. pp. 45-57.
9. Combining methods of mathematical statistics and wavelet transformations for processing experimental data Haykazyan M.E., Stakyan Yu.M., Stakyan M.G. In the collection: machine parts and theory of mechanisms. Collection of the international conference within the framework of the 74th scientific, methodological and research conference of the Moscow Automobile and Road State Technical University. 2016. pp. 5-15.
10. Possibilities of the Matlab package in the use of remote computing for solving problems using numerical methods of Nguyen Zui Thai. Software products and systems. 2012. No. 3. p. 43.
11. Analysis of energy characteristics of wind power plants Belsky A.A., Zamyatin A.I. Omsk Scientific Bulletin. 2023. No. 1 (185). pp. 58-64.
12. Beloborodov S.S., Gasho E.G., Nenashev A.V. renewable energy sources and hydrogen in the energy

system: problems and advantages Gukhman G.A.Energy: economics, technology, ecology. 2022. No. 9 (453). pp. 60-66.

УДК 621.311.243

Анализ практической реализации гибридных систем возобновляемой энергетики

Гайдук С.В.[1], И.К. Смирнов[2], О.Р. Ивченко[3]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия.
[1] svgaidyk@mail.sevsu.ru, [2]35ivan115s@mail.ru, [3]oleg.ivchenko.00@mail.ru

Статья поступила 05.05.2024 г.; после доработки 20.05.2024 г.

Аннотация
Современное развитие технологий в области возобновляемых источников энергии ставит перед научным сообществом и промышленностью задачу эффективного использования энергии, производимой солнечными электрическими станциями. Одним из направлений в этой области является совмещение накопителей электроэнергии, использующихся для сглаживания колебаний и тепловой генерации. В данной статье рассматривается такой проект на примере гибридной станции на территории ОСПРИЙ в Крыму, а также его оптимизация и развитие.

Ключевые слова: гибридные системы генерации электроэнергии, солнечные электрические станции, единая энергетическая система, системы накопления электрической энергии, системный оператор, стабильное энергоснабжение.

Analysis of the practical implementation of hybrid systems renewable energy

S.V. Gaiduk [1], I.K. Smirnov[2], O.R. Ivchenko[3]
FAEI HE «Sevastopol State University», 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia.
[1] svgaidyk@mail.sevsu.ru, [2]35ivan115s@mail.ru [3]oleg.ivchenko.00@mail.ru

Received 05.05.2024 y.; received in final form 20.05.2024 y.

Abstract
The modern development of technologies in the field of renewable energy sources poses to the scientific community and industry the task of efficient use of energy produced by solar power plants. One of the directions in this area is the combination of electric power storage devices used for smoothing fluctuations and thermal generation. This article discusses such a project using the example of a hybrid station on the territory of OSPREY in the Crimea, as well as its optimization and development.

Keywords: hybrid power generation systems, solar power plants, unified energy system, electric energy storage systems, system operator, stable energy supply.

Введение

Солнечные электрические станции являются одним из самых многообещающих источников возобновляемой энергии. Однако их основным недостатком является нестабильность выработки энергии в зависимости от времени суток, погодных условий и сезонных изменений. Для решения этой проблемы все чаще применяются накопители электроэнергии, которые позволяют сохранять избыточно произведенную энергию для использования в периоды пониженной солнечной активности. Тема применения накопителей в составе солнечных электрических станций - «СЭС» и других возобновляемых источников энергии - «ВИЭ», является одним из актуальных направлений исследований и разра-

боток для системного оператора единой энергетической системы.

Цель исследования

Доля вырабатываемой энергии от ВИЭ на СЭС, расположенных на Крымском полуострове, достигает примерно 18% и известно, что энергия СЭС отличается нестабильным, нерегулируемым характером выработки. Поэтому считается, что солнечные электростанции не могут обеспечивать стабильное энергоснабжение, а увеличение доли такой «спонтанной» генерации в энергосистеме до неких высоких уровней приводит к нарушениям в работе сетевого хозяйства, высоким потерям производимой электроэнергии и прочим издержкам.

Возможным решением этих вопросов является проект гибридной станции на территории ОСПРИЙ, целью которого является:

- возможность покрытия пиков максимального выработанного потребления электрической энергии,
- выравнивание графика нагрузки, действующей СЭС,
- регулирование частоты и напряжения,
- возможность электроснабжения потребителей электрической энергией в энергорайоне, выделившимся на изолированную от энергосети работу,
- необходимость отдельно локализованного размещения потребителя вне доступности подключения к энергосистеме.

Основной целью данной работы является анализ способа реализации проекта гибридной станции и его рассмотрение перспектив его развития.

Особенности реализации проекта

В с. Охотниково, Сакского района Крыма, на территории солнечной электрической станции (СЭС) ОСПРИЙ, на базе инверторной станции №39, предприятием ООО «СИГМА» согласно проекту по техническому перевооружению реализована и введена в эксплуатацию - гибридная солнечная электростанция.

Гибридная СЭС включает в себя:

- инверторная станция в составе сборки фотоэлектрических модулей суммарной мощностью 250 кВт, локализованной системой управления с подключенной к ней через звено постоянного тока;
- дизель-генераторная установка (ДГУ) с синхронным трехфазным генератором мощностью 100 кВт, подключенную через статический
- статический выпрямитель;
- система накопления электрической энергии (СНЭЭ), состоящая из аккумуляторных батарей OPzS-1200C суммарной установленной мощностью 1200 А*ч, напряжением 220В, подключением связана с инверторной станцией через двунаправленный DC/DC преобразователь мощностью 250 кВт, с собственной системой контроля функцией управления заряда/разряда и состоянием накопителя.

Гибридная СЭС предназначена для подключения к энергосети генерации электроэнергии от (визуализация различных режимов работы представлены на рис.1-3):

- фотоэлектрических модулей, (ФЭМ);
- накопителей электроэнергии на базе АКБ (СНЭЭ);
- дизель генераторной установки ДГУ.
- возможно подключение и других источников энергии в звено постоянного тока станции.

В рабочие дни ИС «ОСПРИЙ №39» в момент вечернего максимума потребления электроэнергии, осуществляет выгрузку в энергосеть.

При подключении вышеуказанных источников электроэнергии инвертор может работать в изолированном режиме на выделенную нагрузку с поддержанием и контролем сетевой частоты 50 Гц.

По заданным программным алгоритмам управления гибридной СЭС в зависимости от условий, в автоматическом режиме осуществляются различные коммутационные операции и режимы совместной или разъединённой работы между СНЭЭ, ДГУ и солнечным инвертором.

В дневное время при максимальной солнечной инсоляции и отсутствие нагрузки в энергосети, невостребованная энергия от фотоэлектрических модулей накапливается в накопителей электроэнергии (рис.1).

При колебаниях солнечной инсоляции параллельно с ФЭМ, при разряде СНЭЭ или работой ДГУ возможно поддержание перепадов мощности и стабильной работы инвертора станции. (рис.2).

В часы вечернего максимума энергия, запасенная в накопителе или энергия от ДГУ, обеспечивает работу СЭС при отсутствии солнечной инсоляции (рис.3).

Рис. 1. Режим работы СЭС при генерации мощности от ФЭМ и накопителей СНЭЭ.

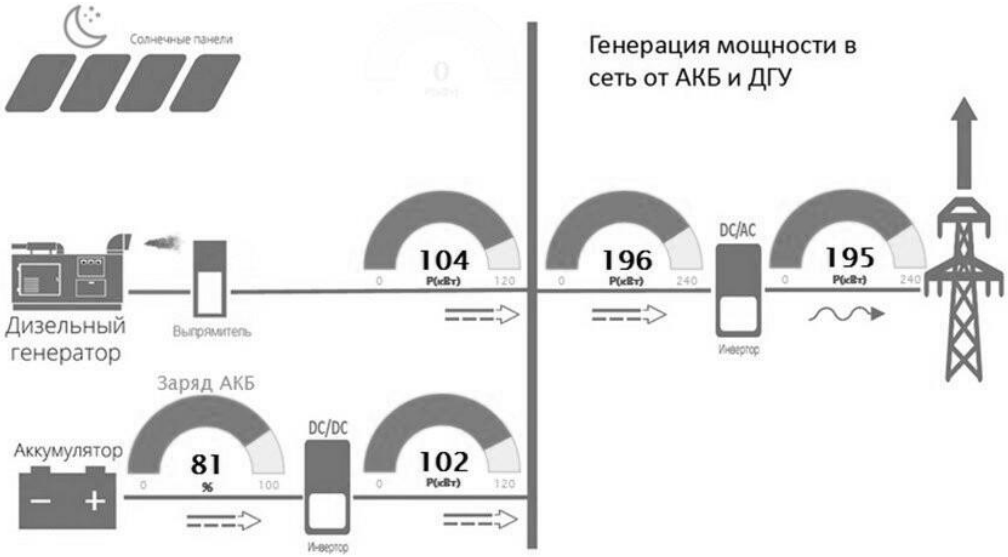


Рис. 2. Режим работы СЭС при генерации СЭС мощности в сеть от СНЭЭ и ДГУ.

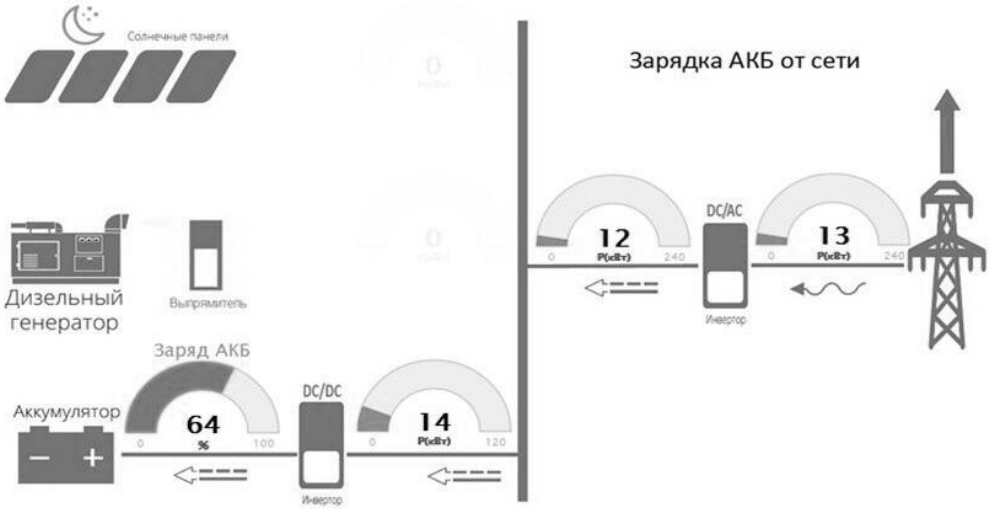


Рис. 3. Режим работы СЭС при заряде СНЭЭ от сети.

ДГУ является постоянно гарантированным источником энергии и может вводится в работу в любой интервал времени, осуществляя выдачу своей мощности на заряд СНЭЭ или на сетевую нагрузку.

В 2022 году совместно с филиалом АО “СО ЕЭС” “Объединенное диспетчерское управление энергосистемы Юга” и филиалом АО “СО ЕЭС” “Региональное диспетчерское управление энергосистемы Республики Крым и г. Севастополя” (Черноморское РДУ)” были проведены его испытания при работе параллельно энергосистеме в изолированном режиме.

В процессе испытаний были проверены следующие режимы:

- режим выдачи активной/реактивной мощности в сеть;
- режим потребления активной/реактивной мощности из сети;
- режим общего первичного регулирования частоты;
- выдача мощности с поддержанием параметров сети в изолированном режиме работы на выделенную нагрузку.

Для этих целей использовался испытательный стенд механических тормозных усилий на базе асинхронного двигателя мощностью 30 кВт, подключенного через комплектную трансформаторную подстанцию 63 кВА/10-0,4 кВ к ИС-39 для имитации переменной нагрузки в изолированном режиме.

По результатам работ совместной комиссией филиала АО “СО ЕЭС” Черноморское РДУ и ООО “Сигма” были подписаны акты о проведении испытаний.

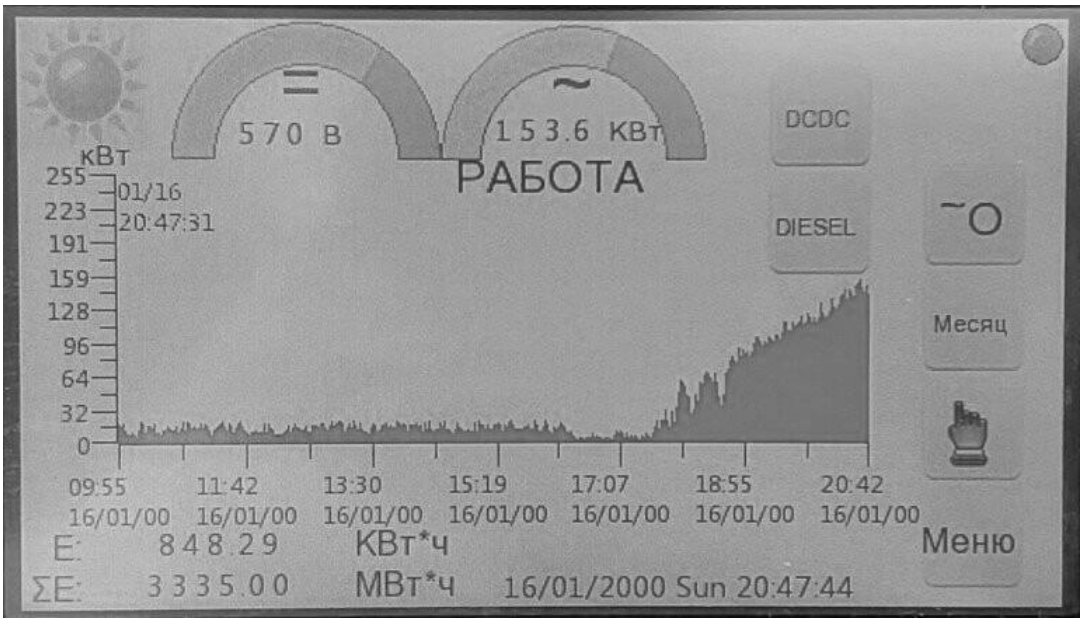


Рис. 4. Информационная панель стенда механических тормозных усилий.

На 2024 год запланировано проведение регулярных испытаний работы оборудования без подключения к электрической сети, по результатам которых будет подтверждена готовность к энергоснабжению удаленных объектов параллельно с энергосистемой в островном режиме.

Планы по улучшению и перспективах развития

Система автоматического управления проходит постоянную оптимизацию и тестирование инженерами предприятия в различных условиях сетевой нагрузки для максимальной эффективности работы гибридной солнечной электрической станции вне зависимости от внешних климатических факторов, влияющих на стабильность системы в целом.

Ведётся подготовка реализации проекта, по техническому перевооружению ещё нескольких инверторных станций СЭС «ОСПРИЙ» с присоединением накопителей и генераторных установок для увеличения доли генерации от гибридной схемы СЭС и сглаживания пиков потребления в вечернее время. Так же в рамках модернизации был установлен инвертор «Protect PV.250» имеющий показатели эффективности - 98.7%,

некоторые платы контроля и управления заменены на отечественные аналоги.

Также производится испытание и тестирование генераторной установки мощностью 60кВт работающей на бензине и газе «метан».

Группой инженеров, на отдельном полигоне, проводится изыскательская работа по созданию установки производства водорода и использовании метан-водородной смеси в двигателях внутреннего сгорания. Производство водорода можно осуществлять от избыточной дневной электроэнергии СЭС и накапливать его. Но это уже, следующий инновационный шаг и интересная работа в этом направлении. Изучение особенностей использования систем накопления для компенсации неравномерной нагрузки ВИЭ будет продолжено.

Заключение

Проект интеграции дизельной генерации в систему накопительной солнечной электрической станции является важным шагом в развитии возобновляемой энергетики. Оптимизация работы солнечных электростанций с использованием дополнительной традиционной генерации позволит эффективно использовать возобновляемые источники энергии и обеспечить стабильное энергоснабжение как в изолированных, так и в сетевых режимах.

Список литературы

1. Велькин В.И., Щелоков Я.М. Возобновляемая энергетика и энергосбережение // Издательство Урал. ун-та, 2020.
2. Лукутин Б.В., Муравлёв И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями // Издательство Томского политехнического ун-та, 2020.
3. Кашкаров А. П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции // М.: ДМК Пресс, 2019.
4. Голицын М. В., Голицын А. М., Пронина Н. В. Альтернативные энергоносители // М.: Наука. 2004.
5. Павлов Н. Солнечная энергия - энергия будущего // Электроника: наука, технология, бизнес. 2019.
6. Удалов С. Н. Возобновляемые источники энергии // Новосибирск: Издательство НГТУ 2014.
7. Садчиков А. В., Соколов В. Ю., Митрофанов С. В. Энергосбережение в системах жизнеобеспечения // Новосибирск. Издательство АНС «СибАК», 2016.

References

1. Velkin V.I., Shchelokov Ya.M. Renewable energy and energy saving // Ural Publishing House. University, 2020.
2. S Lukutin B.V., Muravlev I.O., Plotnikov I.A. Power supply systems with wind and solar power plants // Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2020.
3. Kashkarov A. P. Wind generators, solar panels and other useful structures // Moscow: DMK Press, 2019.
4. Golitsyn M. V., Golitsyn A.M., Pronina N. V. Alternative energy carriers // M.: Nauka. 2004.
5. Pavlov N. Solar energy - energy of the future // Electronics: science, technology, business. 2019.
6. Udalov S. N. Renewable energy sources // Novosibirsk: NSTU Publishing House 2014.
7. Sadchikov A.V., Sokolov V. Yu., Mitrofanov S. V. Energy saving in life support systems // Novosibirsk. ANS SibAK Publishing House, 2016.

УДК 620.92

Повышение эффективности эксплуатации распределительных линий электроэнергетических систем

Л.Н. Канов, С.А. Конева, А.К. Пронина
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, lnkanov48@mail.ru

Статья поступила 22.04.2024 г.; после доработки 24.04.2024 г.

Аннотация

Представлена возможность численного моделирования режима распределительной линии электроэнергетической системы, состоящей из двух пунктов питания и нагрузки. Построена математическая модель линии с повреждением на основе теории электрических цепей с распределенными параметрами. Показано, что определение места и степени повреждения линии сводится к решению системы нелинейных комплексных уравнений. Описан алгоритм составления уравнений модели, приведен примеры расчета типичных режимов.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, участки распределительной линии, распределенные параметры, место и степень повреждения, комплексные постоянные, математическое моделирование, напряжение, ток, нагрузка.

Increase of efficiency of exploitation distributive lines of the electroenergy systems

L.N. Kanov, S.A. Koneva, A.K. Pronina
Sevastopol State University, 33, Universitetskaua st., Sevastopol, 299053, Russia, lnkanov48@mail.ru

The article acted 22.04.2024 y.; after a revision 24.04.2024 y.

Abstract

Possibility of numeral design of the mode of distributive line of the electroenergy system, consisting of two points of feed and loading is presented. The mathematical model of line is built with a damage on the basis of theory of electric chains with the up-diffused parameters. It is showed that a location and degree of damage of line is taken to the decision of the system of nonlinear complex equalizations. The algorithm of drafting of equalizations of model is described, resulted examples of calculation of the typical modes.

Keywords: electroenergy system, areas of distributive line, up-diffused parameters, place and degree of damage, complex permanents, mathematical design, tension, current, loading.

Введение

Длинные линии электропередач и связи являются неотъемлемой частью современных электроэнергетических систем. Эффективная их эксплуатация способствует улучшению качества электроснабжения, повышению его надежности и является актуальной задачей [1 – 6]. Преимущественным направлением решения этой задачи является секционирование линий передач, определение фрагмента, участка линии, на котором произошла неисправность, повреждение изоляции [3 – 5]. Поврежденный участок представляется аномальным звеном, четырехполюсником, и далее анализ выполняется построением амплитудно-фазовых координатных характеристик [5]. Однако для увеличения точности определения места повреждения количество участков линии

становится чрезмерно большим.

Целью статьи является построение математической модели поврежденной электрической линии на основе теории цепей с распределенными параметрами [7]. Такая модель позволит точно находить место аварии, её особенности, сопротивление поврежденной изоляции.

Математическое описание распределительной линии системы электроснабжения с повреждением

Предлагаемую идею представим на примере определения места повреждения магистральной распределительной линии с двумя центрами питания $\dot{E}_1, \underline{Z}_1$ и $\dot{E}_2, \underline{Z}_2$, с одним ответвлением – нагрузкой с сопротивлением $\underline{Z}_H$ в точке d на расстоянии x_H от центра питания $\dot{E}_1$ и повреждения в точке c, рис.1.

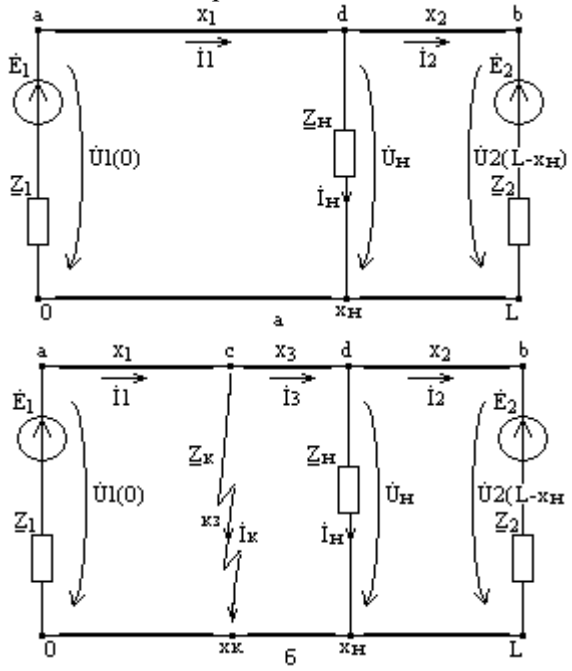


Рис.1. Распределительная линия с двумя центами питания:
а) линия в штатном режиме под нагрузкой;
б) линия с повреждением

Линия состоит, таким образом, из двух больших участков ad и db с длинами x_H и $L - x_H$ и с волновыми параметрами $\underline{Z}_{B1} = \underline{Z}_{B3}, \underline{\gamma}_1 = \underline{\gamma}_3$; $\underline{Z}_{B2}, \underline{\gamma}_2$. На рис.1 обозначена точка c повреждения с сопротивлением утечки $\underline{Z}_K$. Обе эти величины подлежат определению. Отсчет расстояний по линиям слева направо: в точке a $x_1 = 0$; в точке c $x_1 = x_K = ?$, $x_3 = 0$; в точке d $x_3 = x_H$, $x_2 = 0$; в точке b $x_2 = L - x_H$.

Штатный синхронизированный режим магистральной линии до повреждения характеризуется значениями электродвижущих сил $\dot{E}_1$ и $\dot{E}_2$. После повреждения напряжение в начале первого участка $\dot{U}_1(0)$ изменяется и доступно измерению; аналогично доступно измерению напряжение в конце линии 2: $\dot{U}_2(L - x_H)$.

Каждый из трех участков системы электроснабжения описывается двумя комплексными дифференциальными уравнениями в нормальной форме [7]:

$$-\frac{d\dot{U}}{dx} = (r + j\omega L)\dot{I} \quad ; \quad -\frac{d\dot{I}}{dx} = (g + j\omega C)\dot{U},$$

которые сводятся к уравнениям второго порядка

$$-\frac{d^2\dot{U}}{dx^2} = \underline{\gamma}^2\dot{U} \quad ; \quad -\frac{d^2\dot{I}}{dx^2} = \underline{\gamma}^2\dot{I}$$

с решениями:

$$\dot{U}(x) = \underline{A}_1 e^{-\underline{\gamma}x} + \underline{A}_2 e^{\underline{\gamma}x};$$

$$\dot{I}(x) = \frac{\underline{A}_1 e^{-\underline{\gamma}x} - \underline{A}_2 e^{\underline{\gamma}x}}{\underline{Z}_B}.$$

В этих формулах r, g, L, C – первичные параметры линий, $\underline{\gamma} = \sqrt{(r + j\omega L)(g + j\omega C)}$ – коэффициент распространения;

$\underline{Z}_B = \sqrt{\dfrac{r + j\omega L}{g + j\omega C}}$ – волновое сопротивление; $\underline{A}_1, \underline{A}_2$ – комплексные постоянные интегрирования, подлежащие определению. После нахождения этих постоянных определяется напряжение и ток в любой точке линии.

В рассматриваемом случае подобные пары решений следует записать для каждого из трёх получившихся после повреждения участков линии:

$$\left.\begin{aligned} \dot{U}_1(x_1) &= \underline{A}_{11} e^{-\underline{\gamma}_1 x_1} + \underline{A}_{12} e^{\underline{\gamma}_1 x_1}; \\ \dot{I}_1(x_1) &= \frac{\underline{A}_{11} e^{-\underline{\gamma}_1 x_1} - \underline{A}_{12} e^{\underline{\gamma}_1 x_1}}{\underline{Z}_{B1}} \end{aligned}\right\};$$

$$\left.\begin{aligned} \dot{U}_2(x_2) &= \underline{A}_{21} e^{-\underline{\gamma}_2 x_2} + \underline{A}_{22} e^{\underline{\gamma}_2 x_2}; \\ \dot{I}_2(x_2) &= \frac{\underline{A}_{21} e^{-\underline{\gamma}_2 x_2} - \underline{A}_{22} e^{\underline{\gamma}_2 x_2}}{\underline{Z}_{B2}} \end{aligned}\right\}; \qquad (1)$$

$$\left.\begin{aligned}\dot{U}_3(x_3) &= \underline{A}_{31}e^{-\underline{\gamma}_1 x_3} + \underline{A}_{32}e^{\underline{\gamma}_1 x_3};\\ \dot{I}_3(x_3) &= \frac{\underline{A}_{31}e^{-\underline{\gamma}_1 x_3} - \underline{A}_{32}e^{\underline{\gamma}_1 x_3}}{\underline{Z}_{B1}}\end{aligned}\right\};$$

здесь учтено $\underline{Z}_{B1} = \underline{Z}_{B3}$, $\underline{\gamma}_1 = \underline{\gamma}_3$. Аргументы токов и напряжений по линиям изменяются в следующих пределах – $x_1 : 0...x_K$; $x_3 : 0...x_H - x_K$; $x_2 : 0...L - x_H$.

Для решения задачи диагностики следует найти величину расстояния x_K и сопротивление утечки $\underline{Z}_K$ при условии, что напряжение в начале первого участка $\dot{U}_1(0)$ и в конце второго участка $\dot{U}_2(L - x_H)$ хотя и изменятся по сравнению со штатным режимом, но остаются доступными измерению.

Определение параметров повреждения линии

Для получения решения уравнений (1) вначале определяем вторичные параметры линии: волновое сопротивление

$$\underline{Z}_B = \sqrt{\underline{Z}_{XX}\underline{Z}_{K3}};\ th\,\underline{\gamma}l = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{K3}}{\underline{Z}_{XX}}},$$

где l – длина линии; $\underline{Z}_{XX}, \underline{Z}_{K3}$ – входные сопротивления линии, определяемые по результатам предварительного измерения напряжения, тока и мощности линии в режиме холостого хода и короткого замыкания в условиях полного отсоединения от энергосистемы.

При штатной эксплуатации непрерывно измеряются напряжения на входе линии 1: $\dot{U}_1(0)$ и в точке b линии 2: $\dot{U}_2(L - x_H)$. Возникшие отклонения этих напряжений от их обычных значений свидетельствует о появившемся повреждении линии. Определение точки и величины повреждения выполним по результатам решения уравнений линии (1).

Для получения конкретного решения уравнений (1) определим граничные условия трех участков линии. В начале участка 1 известно измеренное напряжение $\dot{U}_1(0)$. Тогда в точке a получаем $\dot{E}_1 = \dot{U}_1(0) + \dot{I}_1(0)\underline{Z}_1$. Система уравнений для нахождения $\underline{A}_{11}, \underline{A}_{12}$ принимает вид

$$\left.\begin{aligned}\dot{E}_1 &= \dot{U}_1(0) + (\underline{A}_{11} - \underline{A}_{12})\frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_{B1}};\\ \dot{U}_1(0) &= \underline{A}_{11} + \underline{A}_{12}.\end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Отсюда получаем

$$\underline{A}_{12} = 0{,}5\left[\dot{U}_1(0)\cdot\left(\frac{\underline{Z}_{B1}}{\underline{Z}_1}+1\right) - \frac{\underline{Z}_{B1}\cdot\dot{E}_1}{\underline{Z}_1}\right];$$

$$\underline{A}_{11} = \dot{U}_1(0) - \underline{A}_{12}.$$

Аналогично (2), в конце линии 2 при известном напряжении $\dot{U}_2(L - x_H)$ имеем

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2(L - x_H) - \dot{I}_2(L - x_H)\underline{Z}_2.$$

Тогда система уравнений для $\underline{A}_{21}, \underline{A}_{22}$ принимает вид

$$\left.\begin{aligned}\left[\dot{E}_2 - \dot{U}_2(L - x_H)\right]\frac{\underline{Z}_{B2}}{\underline{Z}_2} &= ...\\ ... &= -\underline{A}_{21}e^{-\underline{\gamma}_2(L-x_H)} + \underline{A}_{22}e^{\underline{\gamma}_2(L-x_H)};\\ \dot{U}_2(L - x_H) &= \underline{A}_{21}e^{-\underline{\gamma}_2(L-x_H)} + \underline{A}_{22}e^{\underline{\gamma}_2(L-x_H)}.\end{aligned}\right\} \quad (3)$$

Отсюда получаем

$$\underline{A}_{22} = 0{,}5\left[\dot{E}_2\frac{\underline{Z}_{B2}}{\underline{Z}_2} + \dot{U}_2(L - x_H)\left(1 - \frac{\underline{Z}_{B2}}{\underline{Z}_2}\right)\right]\times ...$$

$$...\times e^{-\underline{\gamma}_2(L-x_H)};$$

$$\underline{A}_{21} = -0{,}5\left[\dot{E}_2\frac{\underline{Z}_{B2}}{\underline{Z}_2} - \dot{U}_2(L - x_H)\left(1 + \frac{\underline{Z}_{B2}}{\underline{Z}_2}\right)\right]\times ...$$

$$...\times e^{\underline{\gamma}_2(L-x_H)}.$$

В узле d равны напряжения в конце участка 3 и в начале участка 2, а ток в конце участка 3 разветвляется на ток в нагрузке и ток в начале участка 2:

$$\dot{U}_3(x_H - x_K) = \dot{U}_2(0);$$

$$\dot{I}_3(x_H - x_K) = \frac{\dot{U}_2(0)}{\underline{Z}_H} + \dot{I}_2(0).$$

Система уравнений для $\underline{A}_{31}, \underline{A}_{32}$ принимает вид

$$\left.\begin{aligned}&\underline{A}_{31}e^{-\underline{\gamma}_3(x_H-x_K)} + \underline{A}_{32}e^{\underline{\gamma}_3(x_H-x_K)} = \underline{A}_{21} + \underline{A}_{22};\\ &\underline{A}_{31}e^{-\underline{\gamma}_3(x_H-x_K)} - \underline{A}_{32}e^{\underline{\gamma}_3(x_H-x_K)} = ...\\ &... = \underline{A}_{21}\cdot\left(\frac{\underline{Z}_{B3}}{\underline{Z}_H} + \frac{\underline{Z}_{B3}}{\underline{Z}_{B2}}\right) + \underline{A}_{22}\cdot\left(\frac{\underline{Z}_{B3}}{\underline{Z}_H} - \frac{\underline{Z}_{B3}}{\underline{Z}_{B2}}\right).\end{aligned}\right\}$$

(4)

Отсюда получаем

$$\underline{A}_{31} = 0{,}5e^{\gamma_3(x_H - x_K)}\left(\underline{A}_{21}\underline{B}_1 + \underline{A}_{22}\underline{B}_2\right);$$

$$\underline{A}_{32} = 0{,}5e^{-\gamma_3(x_H - x_K)}\left(\underline{A}_{21}\underline{B}_3 + \underline{A}_{22}\underline{B}_4\right),$$

где обозначены

$$\underline{B}_1 = 1 + \frac{\underline{Z}_{B3}}{\underline{Z}_H} + \frac{\underline{Z}_{B3}}{\underline{Z}_{B2}};$$

$$\underline{B}_2 = 1 + \frac{\underline{Z}_{B3}}{\underline{Z}_H} - \frac{\underline{Z}_{B3}}{\underline{Z}_{B2}};$$

$$\underline{B}_3 = 1 - \frac{\underline{Z}_{B3}}{\underline{Z}_H} - \frac{\underline{Z}_{B3}}{\underline{Z}_{B2}};$$

$$\underline{B}_4 = 1 - \frac{\underline{Z}_{B3}}{\underline{Z}_H} + \frac{\underline{Z}_{B3}}{\underline{Z}_{B2}}.$$

Таким образом, по (2) – (4) все комплексные постоянные интегрирования определены. Далее из граничных условий в точке c определим место повреждения x_K и величину сопротивления $\underline{Z}_K$.

В узле c равны напряжения в конце участка 1 и в начале участка 3, а ток в конце участка 1 разветвляется на ток в повреждении и на ток в начале участка 3:

$$\dot{U}_1(x_K) = \dot{U}_3(0);\ \dot{I}_1(x_K) = \frac{\dot{U}_3(0)}{\underline{Z}_K} + \dot{I}_3(0).$$

Уравнения для определения x_K и $\underline{Z}_K$ имеют теперь вид:

$$\underline{A}_{11}e^{-\gamma_1 x_K} + \underline{A}_{12}e^{\gamma_1 x_K} = \underline{A}_{31} + \underline{A}_{32}; \qquad (5)$$

$$(\underline{A}_{11}e^{-\gamma_1 x_K} - \underline{A}_{12}e^{\gamma_1 x_K}) \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{B1}} = (\underline{A}_{31} + \underline{A}_{32}) \cdot \frac{1}{\underline{Z}_K} + \ldots$$

$$\ldots + (\underline{A}_{31} - \underline{A}_{32}) \cdot \frac{1}{\underline{Z}_{B3}}. \qquad (6)$$

Подставив $\underline{A}_{31}$, $\underline{A}_{32}$ в уравнение (5), получаем выражение для координаты x_K:

$$x_K = \frac{1}{\gamma_1} \ln \underline{y},$$

где обозначено

$$\underline{y}^2 = \frac{\underline{A}_{11} - 0{,}5e^{\gamma_1 x_H} \cdot \left(\underline{A}_{21}\underline{B}_1 + \underline{A}_{22}\underline{B}_2\right)}{-\underline{A}_{12} + 0{,}5e^{-\gamma_1 x_H} \cdot \left(\underline{A}_{21}\underline{B}_3 + \underline{A}_{22}\underline{B}_4\right)}.$$

Подставив $\underline{A}_{31}$, $\underline{A}_{32}$ в уравнение (6), получаем выражение для поврежденного сопротивления изоляции

$$\underline{Z}_K = \underline{Z}_{B1} \frac{\underline{A}_{31} + \underline{A}_{32}}{\frac{\underline{A}_{11}}{\underline{y}} - \underline{A}_{12} \cdot \underline{y} - \underline{A}_{31} + \underline{A}_{32}}.$$

Полученные выражения для постоянных $\underline{A}_{11}, \ldots, \underline{A}_{32}, x_K$ и $\underline{Z}_K$ на основании измерения напряжений в начале участка 1 и в конце участка 2 позволяют оперативно, в режиме текущего времени получить координату возможного повреждения изоляции и оценить степень повреждения.

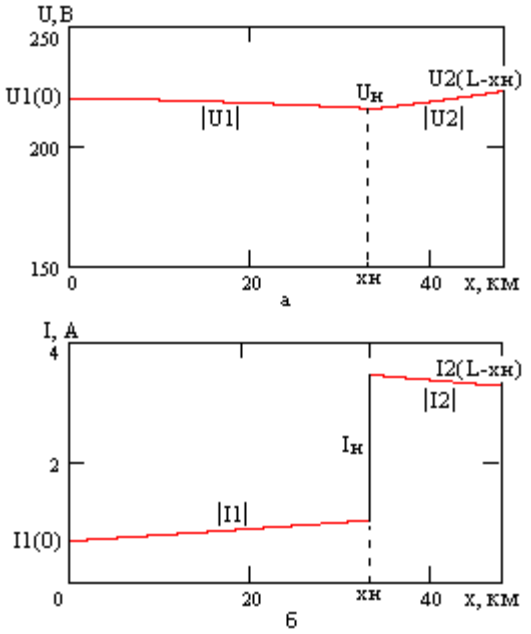


Рис.2. Штатный режим работы линии: а) напряжения вдоль линии; б) токи

Для иллюстрации на рис.2 приведем результаты определения места и степени повреждения для распределительной линии длиной $L = 50$ км с центрами питания: $\dot{E}_1 = 220$ В, $\dot{E}_2 = 225e^{j0,1}$ В; $\underline{Z}_1 = 0{,}5 + j3$ Ом, $\underline{Z}_2 = 0{,}4 + j2{,}5$ Ом и с вторичными параметрами: $\underline{Z}_{B1} = 77{,}13 - j61{,}11$ Ом, $\underline{Z}_{B2} = 80{,}12 - j60{,}1$ Ом; $\underline{\gamma}_1 = 5{,}335e^{j1{,}894} \cdot 10^{-3}$, $\underline{\gamma}_2 = 6{,}34e^{j1{,}99} \cdot 10^{-3}$. Нагрузка $\underline{Z}_H = 48$ Ом подключена в точке $\underline{x}_H = 35$ км. Напряжение на нагрузке $\dot{U}_H = 214{,}71e^{-j0{,}077}$ В, ток нагрузки $\dot{I}_H = 4{,}473e^{-j0{,}077}$ А. Штатные напряжения на центрах питания: $\dot{U}_1 = 219{,}93e^{-j0{,}00945}$ В, $\dot{U}_2 = 222{,}8e^{j0{,}064}$ В.

Аварийный режим линии показан на рис.3.

После повреждения изоляции измерения на центрах питания показали: $\dot{U}_1 = 190{,}07e^{-j0{,}112}$ В, $\dot{U}_2 = 204{,}2e^{j0{,}03}$ В. Расчеты по выражениям (2) – (6) дали значения: $\underline{A}_{11} = 151{,}69 - j617{,}35$, $\underline{A}_{12} = 37{,}19 + j59611$, $\underline{A}_{21} = -44{,}2 + j478{,}91$, $\underline{A}_{22} = 196{,}78 - j530{,}35$, $\underline{A}_{31} = 11{,}92 + j344{,}43$, $\underline{A}_{32} = 57{,}26 - j418{,}71$; $\underline{Z}_K = 4{,}98$ Ом, $x_K = 20{,}017$ км, $\dot{I}_K = 20{,}3e^{-j0{,}82}$ А, $\dot{U}_K = 101{,}51e^{-j0{,}82}$ В, $\dot{U}_H = 135{,}7e^{-j0{,}39}$ В, $\dot{I}_H = 2{,}827e^{-j0{,}39}$ А.

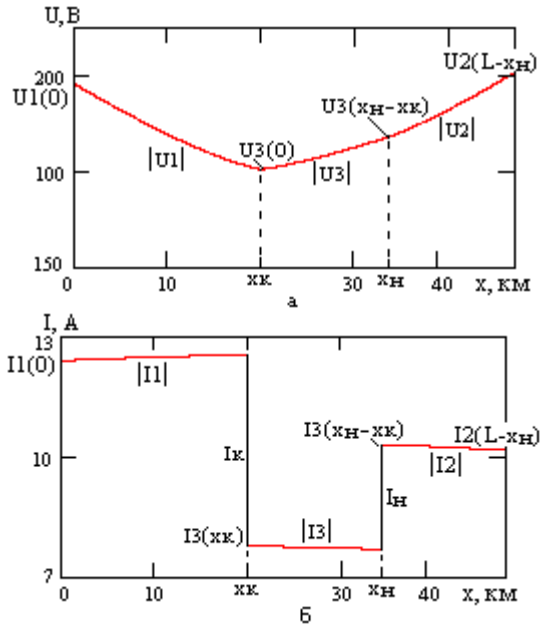


Рис.3. Аварийный режим линии:
а) напряжения вдоль линии; б) токи

Рисунки показывают существенное снижение напряжения в точке повреждения и на нагрузке, а также снижения напряжений на центрах питания, что и является признаком появления рассматриваемой аварии.

Для оценки повреждения на участке между нагрузкой и вторым центром питания могут быть получены по аналогичным выражениям.

Заключение

Предложенный способ расчета режима распределительной линии электроэнергетической системы переменного тока позволяет в оперативном режиме отслеживать появление повреждений или несанкционированное подключение нагрузки с целью отбора мощности. Методика пригодна и для анализа линии с единственным центром питания при $\dot{E}_2 = 0$, $\underline{Z}_2 = \underline{Z}_{H2}$. Методика позволяет также оперативно регулировать напряжение источников для управления мощностью нагрузки на необходимом уровне.

Перспективным направлением дальнейших исследований может быть распространение методики на разветвленные линии с несколькими ответвлениями нагрузок и центрами питания.

Список литературы

1. Куликов А.Л., Лукичева И.А. Определение места повреждения на линиях электропередачи по мгновенным значениям осциллограмм аварийных событий // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2016. № 5. С.16 – 21. DOI: 10.17588/2072-2672. 2016.5.016-021.
2. Качесов В.Е., Лавров В.Ю., Черепанов А.Б. Параметрический метод определения расстояния до места повреждения в распределительных сетях // Электрические станции. 2003. № 8.С.37–43
3. Авдеева К.В. Елизарова Ю.М. Анализ топографических методов определения мест повреждения изоляции кабеля // Приднепровский научный вестник. 2019. Т.7. № 2. С. 37 – 40.
4. Патент РФ № 2733825. Способ определения места повреждения кабельных и воздушных линий электропередач / Кучерявенков А.А., Рукавицин А.А., Феоктистов А.В., Бондаренко А.А. 2020. Бюл. № 28.
5. Логунов А.В., Шлык Ю.К. Разработка модели кабельной линии с повреждением на основе теории четырехполюсников с переменной топологией // Известия ВУЗов. Электромеханика. 2023. Т.66. № 3. С. 48 – 54. DOI: 10.17213/01136-3360-2023-3-48-54.
6. Долецкая Л.И., Кавченков В.П., Солопов Р.В. Оценка эффективности методов повышения надежности распределительных электрических сетей / Интернет – журнал Науковедение. 2015. Т.7. № 6(31). С. 1-10. DOI: 10.15862/98TVN 615.
7. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Т.2. / К.С.Демирчан, Л.Р.Нейман, Н.В.Коровкин, В.А.Чечурин. Спб.: Питер, 2003. 576 с.

References

1. Kulikov A.L., Lukicheva I.A. *Opredelenie mesta povrezhdeniya na liniyakh elektroperedachi po mgnovennym znacheniyam osctillogramm avariinych sobytii* [Determining the Location of Damage to a Power Line by Instantaneous Values of Oscillograms of Emergency Events]. Bulletin of the Ivanovo State Power Engineering University/. – 2016. No. 5. – PP.16-21. DOI: 10.17588/2072-2672. 2016.5.016-021.
2. Kachesov V.E., Lavrov V/Yu., Cherepanov A.B. *Parametricheskii metod opredeleniya rasstoyaniya*

do mesta povrezhdeniya v raspredelitelnykh setyakx [Parametric Method for Determining the Distance in Distribution Networks]. Electrical stations/. – 2003. No. 8. – PP.37-43

3. Avdeeva K.V., Elizarova Yu.M. *Analiz topograficheskikh metodov opredeleniya mest povrezhdeniya izolyatsii kabelya* [Analysis of Topographic Methods for Determining Cable Insulation Damage Sites]. Pridneprovsky Scientific Bulletin/. – 2019. No. 7. – PP. 37-40.
4. Kucheryavenkov A.A., Rukavitsyn A.A., Feok-Bondarenko A.A. *Sposob opredeleniya mesta povrezhdeniya kabel'nykh I vozdushhnykh linii elektroperedach* [Method for Determining the Location of Damage to Cable and Overhead Power Lines]. Patent RF. No.2733825. 2020.
5. Logunov A.V., Shlyk Yu.K. *Razrabotka modeli kabel'noi linii s povrezhdeniem na osnove teorii chetyrekhpolyusnikov s peremennoi topologiei* [Developing a Cable line model with a Fault based on the Theory of four-poles with variable Topology]. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Elektromekhanika = Russian Electromechanics/. – 2023. V. 66. No. 3. – PP. 48-54. DOI: 10.17213/01136-3360-2023-3-48-54.
6. Doletskaya L.I., Kavchenkov V.P., Solopov R.V. *Otsenka effektivnosti metodov povyshenia nadezhnosti raspredelitel'nykh electricheskikh setei* [Evaluation of the Effectiveness of Methods for Improving the Reliability of Distribution Electrical Networks]. Internet – zgurnal Naukovedenie/. – 2015. V.7. No. 6(31). PP.1-10.DOI: 10.15862/98TVN 615.
7. Demirchyan K.S. Neyman L.R., Korovkin N.V., Chechurin V.L. *Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki: V 3 tomakh. Tom 2* [Theoretical Foundation of Electrical Engineering: In 3 v. Textbook for Universities. Volume 2. Saint-Petersburg: Piter Publ. 2003. 576 p.

УДК 620.9

Использование обобщённого критерия энергетической эффективности для перспективного анализа развития энергоустановок

О.М. Крастелев[1]

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

Статья поступила 29.05.2024 г.; после доработки 30.05.2024 г.

Аннотация

В статье проводится сравнительный анализ использования критериев энергетической эффективности энергоустановок для возможности перспективного планирования их использования

Ключевые слова: энергоустановка, коэффициент полезного действия, источник энергии, вторичный источник энергии, преобразователь энергии, накопитель энергии, потребитель энергии

Using a generalized energy efficiency criterion for long-term analysis of the development of power plants

O.M. Krastelev[1]

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

Received 29.05.2024 г.; received in final form 30.05.2024 y.

Annotation

The article provides a comparative analysis of the use of energy efficiency criteria for power plants to enable long-term planning of their use.

Keywords: power plant, efficiency, energy source, secondary energy source, energy converter, energy storage, energy consumer

Введение в проблему сравнительного анализа путей развития энергоустановок

В настоящее время количество изобретённых энергоустановок насчитывает сотни возможных вариантов. И только единицы из них доходят до промышленных испытаний и производства. Причин можно назвать много, но одна из них будет рассмотрена в данной статье – это необходимость перспективного анализа развития энергоустановок (ЭУ), позволяющего назвать возможные способы применения тех ЭУ, которые в настоящее время рассматриваются лишь на уровне физического принципа действия.

Основоположником данного подхода необходимо назвать российского и советского учёного – Алексеева Георгия Николаевича, посвятившему классификации и прогнозам развития энергоустановок несколько книг и монографий [1,4,5].

При прогнозировании ЭУ особенно плодотворен системный подход, который позволяет рассматривать энергоустановку как систему, то есть целостный комплекс взаимосвязанных элементов, объединённых общей целью.

Цель системного исследования заключается

в обнаружении основных закономерностей поведения энергоустановки. При этом широко используются принципы термодинамики, так как до настоящего времени нет более общего метода описания теории энергетических установок, чем ***термодинамический метод.***

При анализе ЭУ необходимо раздельно рассматривать их основные составляющие :

1) Источники энергии (ИЭ);
2) Вторичный источник энергии (ВИЭ) – генератор;
3) Преобразователи энергии (ПЭ);
4) Накопители энергии (НЭ);
5) Потребитель энергии (ПотрЭ);

Ценность источников энергии для практического использования весьма различна и она определяется:

- наличием и величиной их ресурсов на Земле;
- способностью к возобновлению этих ресурсов;
- возможность непосредственного использования;
- возможностью накапливаться и сохраняться;
- возможностью экономно передаваться на дальние расстояния;
- способностью превращаться в другие виды энергии;
- концентрацией;
- упорядоченностью.

Только пять видов энергии могут быть первичными, то есть содержаться в природе в естественном виде (в виде энергоресурсов): ядерная, химическая, тепловая, механическая и электромагнитная.

При исследовании каждой из разновидностей ЭУ она должна классифицироваться по энергетическим признакам, то есть по виду источника энергии и её носителя, по виду получаемой энергии, по видам энергии участвующим в промежуточном процессе.

Для удобства классификации ЭУ они группируются по характеристическим параметрам в четыре группы:

1) ИЭ;
2) Энергетический тип ПЭ;
3) Основные особенности рабочего процесса или конструкции ЭУ;
4) Тип приёмника – ПотрЭ;

Эти характеристические параметры отражаются на морфорлогической карте [2], соединяющей весь процесс преобразования энергии (рис.1).

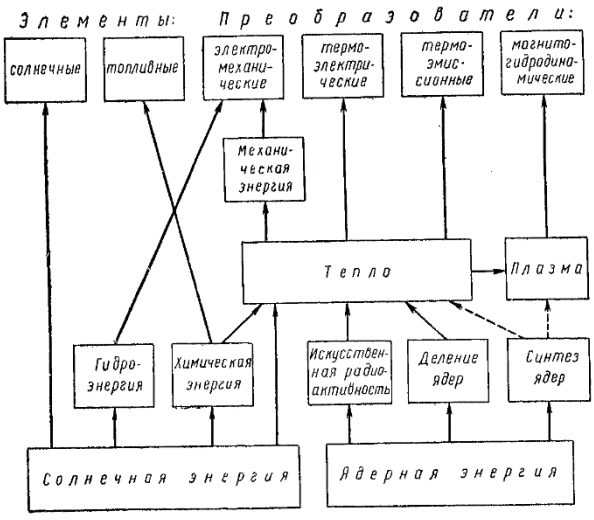


Рис.1 Пример упрощённой морфологической карты преобразования видов энергии

Не все из перечисленных параметров возможно отобразить на морфологической карте. Так например для для учёта только основных параметров ядерных реакторов получается более 4300 вариантов [3].

Таким образом трудности перебора всех возможных вариантов ЭУ породили необходимость других вариантов сравнения энергетической эффективности перспективных энергоустановок.

Обобщённый критерий энергетической эффективности

В общем случае под ЭУ понимается устройство, состоящее из источников и преобразователей энергии, ЭУ = ИЭ + ПЭ и вырабатывающую какой-либо полезный вид энергии – механическую, тепловую, электрическую и т.д.

В любом ПЭ исходный вид энергии, связанный с одной системой – ИЭ с помощью другой системы – «рабочего тела» - превращается в требующийся или в промежуточный вид энергии и передаётся третьей системе – потребителю. Общим условием действия всех ПЭ является наличие разности потенциалов в двух точках пространства, представляющей собой движущую силу:

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \qquad (1)$$

Как правило, низший потенциал определяется параметрами окружающей среды, поэтому расход ИЭ обеспечивает поддержание высшего потенциала, но бывает, что потенциал окружающей среды выполняет роль высшего потенциала, тогда ИЭ расходуется на поддержание низшего

потенциала.

Обобщённая работа, совершаемая рабочим телом в ПЭ равна :

$$dW = \Delta\varphi \cdot dX \quad (2)$$

Где dX – количество переносимой или изменяющейся субстанции (масса, электрический заряд, элементарный объём).

Исходя из соображений о роли ИЭ как источника разности потенциалов, можно записать:

$$dE_1 = \varphi_1 \cdot dX \quad (3)$$

Где dE_1 – количество энергии, соответствующее потенциалу φ_1.

Так как dX обычно не меняется, можно получить выражение КПД ПЭ в самом общем виде:

$$\xi_{ПЭ} = \frac{dW}{dE} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi_1} \cdot \frac{dX}{dX} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi_1} = 1 - \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \quad (4)$$

При самых общих представлениях о свойствах потенциалов φ1 и φ2 , КПД ПЭ может принимать значения:

$$\xi_{ПЭ} < 1 \quad и \quad \xi_{ПЭ} > 1 \quad (5)$$

Сущность рабочего процесса ЭУ выражается уравнениями:

$$dW_e = \xi_{ЭУ} \cdot dE \quad (6)$$

$$W_e = \int_{E_1}^{E_2} \xi_{ЭУ} \cdot dE \quad (7)$$

Где: E = Eз + Eос – полное количество первичной энергии, теоретически используемое в ЭУ;

Eз – энергия запасаемых или транспортируемых ИЭ;

Eос – энергия, поступающая из окружающей среды;

We – эффективное (действительное) количество работы, совершаемой ЭУ (количество энергии вырабатываемой ЭУ);

$\xi_{ЭУ}$ - коэффициент использования энергии (КИЭ) в ЭУ.

При этом КИЭ может быть рассчитано:

$$\xi_{ЭУ} = \xi_{ИЭ} \cdot \xi_{ПЭ} \quad (8)$$

Где $\xi_{ИЭ}$ - КИЭ источника энергии;

$\xi_{ПЭ}$ - КИЭ преобразователя;

При этом:

$$\xi_{ПЭ} = \frac{E'}{E} = \eta_{ИЭ} \cdot \xi'_{ИЭ} \quad (9)$$

Где: E′ = E′з + Eос - количество действительно поступающей к ПЭ энергии;

$\eta_{ИЭ} = \frac{E'_з}{E_з} < 1$ - КИЭ запасаемого ИЭ;

$\xi'_{ИЭ} = \frac{E'}{E'_з} \geq 1$ - КИЭ окружающей среды;

Поэтому $\xi_{ПЭ} = \frac{W_e}{E'} < 1$ и $\xi_{ПЭ} = \frac{W_e}{E'} > 1$

Следует отметить, что η – означает КПД, величина которого не может превышать 1, а ξ - КИЭ, принимающий значения >1 и <1.

Для сравнения эффективности ЭУ с различными ИЭ можно применять коэффициент относительной энергоёмкости единицы массы (КОЭ) – отношение 1 г данного ИЭ e к максимальной возможной энергоёмкости 1 г вещества:

$$e_0 = m \cdot c^2 \approx 9 \cdot 10^{13}(Дж) \approx 25 \cdot 10^6(кВт \cdot ч)$$

$$\eta_{ОЭ} = \frac{e}{e_0} = \frac{e}{9 \cdot 10^{13}} \quad (10)$$

Объединяя два коэффициента получим относительный КИЭ:

$$\xi_{0КИЭ} = \eta_{ОЭ} \cdot \xi_{ЭУ} = \eta_{ОЭ} \cdot \xi_{ИЭ} \cdot \xi_{ПЭ} \quad (11)$$

При этом эффективная (действительная) мощность ЭУ равна:

$$N_e = \frac{dW_e}{d\tau} = \xi_{ПЭ} \cdot \frac{dE'}{d\tau} \quad (12)$$

Эффективность различных видов тепловых и нетепловых ПЭ в настоящее время оценивается множеством различных КПД: «теоретических», «индикаторных», «относительных», «внутренних», «эффективных» и так далее.

Можно использовать единый обобщённый критерий эффективности для всех ПЭ. Если обозначить q1 – тепло, получаемое 1 кг рабочего тела от теплоотдатчика, а q2 – тепло отдаваемое 1 кг рабочего тела теплоприёмнику, то в соответствии с законами термодинамики, термический КПД тепловых ПЭ будет иметь вид:

$$\eta_{tn} = \frac{w}{q} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (13)$$

Максимальное значение термического КПД в заданном интервале температур при T2 > T1 при работе по идеальному циклу Карно равно:

$$\eta_{tK} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (14)$$

Максимальная работа (единичная мощность) может быть определена:

$$w = T_1 \cdot \eta_{tK} \quad (15)$$

Термический КПД теоретических циклов реальных ПЭ – политропных процессов (обратимых циклов с постоянной теплоёмкостью рабочего тела) будет $\eta_{tn.O} < \eta_{tK}$. Для учёта соответствующих потерь можно ввести коэффициент полноты обратимого превращения тепловой энергии в ПЭ:

$$\eta_{0.ПЭ} = \frac{\eta_{tn.o}}{\eta_{tK}} = \frac{q_1 - q_2}{T_1 - T_2} \Big/ \frac{q_1}{T_1} \quad (16)$$

Вследствие потерь из-за необратимости, действительные (рабочие) циклы имеют КПД $\eta_{tn.O} > \eta_{tH}$. Этот КПД может учитывать и расход энергии на собственные нужды. Для учёта этих потерь можно ввести коэффициент необратимых потерь энергии:

$$\eta_{H.ПЭ} = \frac{\eta_{tn.H}}{\eta_{tn.O}} = \frac{\eta_{tn.H}}{\eta_{O.ПЭ} \cdot \eta_{tK}} \quad (17)$$

Тогда КПД тепловых ПЭ можно представить в виде произведения трёх сомножителей:

$$\eta_{ПЭ}^{T} = \eta_{н.ПЭ} \cdot \eta_{о.ПЭ} \cdot \eta_{tK} \quad (18)$$

Если ввести коэффициент полноты превращения первичной энергии в тепловую:

$$\eta_{ПТ} = \frac{q_1}{E} \quad (19)$$

То полный эффективный КПД тепловых ПЭ по отношению к первичной энергии можно представить как произведение четырёх сомножителей:

$$\eta_{ПЭ}^{ПТ} = \eta_{ПТ} \cdot \eta_{н.ПЭ} \cdot \eta_{о.ПЭ} \cdot \eta_{tK} \quad (20)$$

Заключение

Таким образом полученный обобщённый КПД энергетической эффективности преобразователей тепловой энергии позволяет производить сравнительный анализ энергетических установок самой различной морфологической структуры при условии, что производится преобразование именно тепловой энергии.

Подобными рассуждениями возможно вывести обобщённый КПД энергетической эффективности и для преобразователей нетепловой энергии. Очевидно, что обобщённый КПД позволит сравнивать всю виды энергоустановок самых различных конструкций и конфигураций, тем самым позволяя делать первичные предварительные прогнозы относительно использования предлагаемой энергоустановки.

Список литературы

1. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника: Учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1980. - 552 с., ил.
2. Чанг Ш. Преобразование энергии: - М.: Атомиздат, 1965. – 312 с., ил.
3. Капустян В.М., Махотенко Ю.А. Конструктору о конструировании атомной техники: - М.: Атомиздат, 1981. – 190 с., ил.
4. Алексеев Г.Н. Прогнозное ориентирование развития энергоустановок. – М.: Наука. 1978, 200 с.
5. Алексеев Г.Н. Основы теории энергетических установок подводных подвижных аппаратов. – М.: Наука. 1974, 295 с., ил.

References

1. Alekseev G.N. General heating engineering: Textbook. allowance. – M.: Higher School, 1980. - 552 p., ill.
2. Chang S. Energy conversion: - M.: Atomizdat, 1965. – 312 p., ill.
3. Kapustyan V.M., Makhotenko Yu.A. To the designer about the design of nuclear technology: - M.: Atomizdat, 1981. – 190 pp., ill.
4. Alekseev G.N. Forecast guidance for the development of power plants. – M.: Science. 1978, 200 p.
5. Alekseev G.N. Fundamentals of the theory of power plants of underwater mobile vehicles. – M.: Science. 1974, 295 pp., ill.

УДК 620.92

Исследование тарифной политики энергетических предприятий с разработкой рекомендаций по снижению стоимости электрической энергии

О.М. Крастелев[1]

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

Статья поступила 29.05.2024 г.; после доработки 30.05.2024 г.

Аннотация

В статье исследуется тарифная политика Государственного унитарного предприятия Республики Крым «Крымэнерго» и предложены рекомендации по снижению стоимости электрической энергии.

Ключевые слова: тарифная политика, выработка электроэнергии, баланс электрической энергии, баланс электрической мощности, потребление, сбытовая надбавка гарантирующего поставщика, услуги по передаче электрической энергии, инфраструктурные платежи.

A study of the tariff policy of power companies with the development of recommendations to reduce the cost of electricity

O.M. Krastelev1

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

Received 29.05.2024 y.; received in final form 30.05.2024 y.

Abstract

The article examines the tariff policy of the State Unitary Enterprise of the Republic of Crimea "Krymenergo" and offers recommendations to reduce the cost of electricity.

Keywords: tariff policy, electric power generation, electric power balance, electric power balance, consumption, guarantee supplier's sales markup, electric power transmission services, infrastructure payments.

Введение

Тарифная политика в электроэнергетике касается каждого человека. Без электричества невозможно себе представить современную цивилизацию. Счета за электроэнергию приходят всем.

Целью работы является исследование тарифной политики энергетического предприятия с разработкой рекомендаций по снижению стоимости электрической энергии.

Развитие электроэнергетики как отрасли характеризуется сложностями определения тарифной политики.

Процесс определения экономически обоснованных затрат является достаточно сложным делом. Ввиду явного конфликта интересов между производителями и потребителями электрическая энергии. Производители заинтересованы продать по дороже, а потребители купить как можно дешевле. Чтобы система работала стабильно и не было коллапса за ней в той или иной степени приглядывает государство. Не утихают дебаты по поводу экономически обоснованных затрат. Встает вопрос. Какие затраты считать экономически обоснованными? На этот вопрос нет единого ответа среди экспертов.

Рост потребления электроэнергии неразрывно связан с экономическим ростом. При недостатке электроэнергии экономический рост замедляется, что ведет к ухудшению состояния экономики в целом.

Целью работы является исследование тарифной политики энергетических предприятий. Предметом исследования сами энергетические предприятия. Объектом ситуации в целом.

В работе будут изучаться теоретические аспекты тарифной политики. Будет исследоваться сама тарифная политика И разработаны рекомендации по снижению стоимости электрической энергии.

Тарифная политика включает в себя взаимосвязь. экономических, правовых, организационных интересов участников. Участниками являются: потребители, предприятия, государство. Какая в любой области деятельности здесь возникает конфликт интересов меж-ду участниками.

Описание исследования

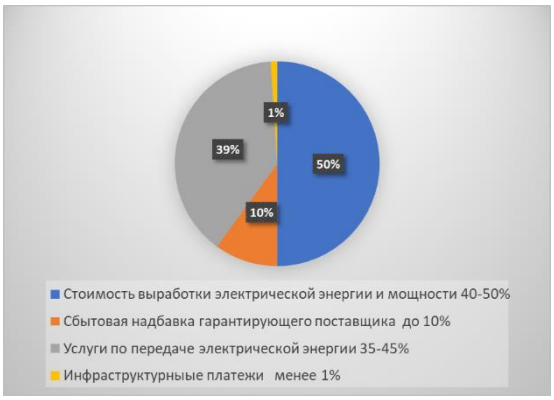


Рис. 1. Структура цены на электроэнергию

Под структурой понимается соотношение частей в целом. В структуре стоимость выработки электрической энергии и мощности составляет от 40 до 50 процента. Сбытовая надбавка гарантирующего поставщика до 10%. Услуги по передаче электрической энергии 35-45 процента инфраструктурные платежи менее одного процента.

Существует два вида тарифной политики. Это первое, когда тарифы регулируются государством и второе рыночная свободная система ценообразования при, которой цена определяется на бирже путем соотношения спроса и предложения. Цену определяют покупатели и продавцы самостоятельно. Первая используется в Российской Федерации. Вторая получила распространение в Соединенных Штатах и в странах Запада.

Было выяснено, что стоимость электрической энергии электрической мощности определяется на оптовом рынке электрической энергии и мощности. Поступления идут генерирующим компаниям оптового рынка. Критерии отнесения производителей и покупателей электрической энергии к категории крупных производителей и крупных покупателей устанавливаются Правительством Российской Федерации (ст.3 35-ФЗ «Об электроэнергетике») [4].

Сбытовая надбавка гарантирующего поставщика устанавливается региональными регулирующими органами. Сбытовую надбавку регулирует Федеральная антимонопольная служба России. Используется метод сравнения аналогов. При использовании данного метода сравниваются ценовые надбавки в разных регионах Российской Федерации. Это позволяет более объективно. определять истинную стоимость ценовой надбавки. Денежные поступления идут гарантирующему поставщику [8].

Услуги по передаче устанавливается региональными регулирующими органами. Платежи идут сетевым организациям. Инфраструктурные платежи устанавливаются федеральными регулирующими органами платежи идут администратору торговой системы и системному оператору. Осуществляться с учетом особенностей, установленных пунктом 11 статьи Федерального закона от 06.11.2013 N 308-ФЗ. Услуги по передаче электрической энергии регулируются государством [9].

Инфраструктурные платежи- – это плата за иные услуги, оказание которых является неотъемлемой частью процесса энергоснабжения, в них входят платежи коммерческому оператору (ОАО «АТС»), Системному оператору, Центру Финансовых Расчетов. В конечной цене электроэнергии составляет менее процента [10].

Также было выяснено, что существует три вида рынков электроэнергии: рынок долгосрочных двусторонних договоров; рынок на сутки вперед и балансирующий рынок. Наибольшие объемы заключаются на рынке долгосрочных двусторонних договоров и на рынке на сутки вперед. И балансирующий рынок призван устранить дисбаланс.

Все эти рынки регулирует Системный оператор Единой энергетической системы. Он следит за тем, чтобы система работала исправно и постоянно поддерживался постоянный баланс выработки и расхода электрической энергии

[33].

На территории Республики Крым перекрестное субсидирование в электросетевом комплексе отсутствует. Республика Крым является получателем субсидии из федерального бюджета на возмещение территориальным сетевым организациям недополученных доходов, вызванных установлением тарифов на услуги по передаче электрической энергии ниже экономически обоснованных в связи с ограничением роста цен (тарифов) на электрическую энергию (услуги по ее передаче) для конечных потребителей.

Блочная система применения «социальной нормы потребления» значительно проще по сравнению с той, которая установлена постановлением № 614, так как не требует организации документооборота, связанного с изменениями количества зарегистрированных граждан по каждому лицевому счету. Также такой подход учитывает интересы социально незащищенных слоев населения. По сведениям ГУП РК «Крыэнерго», основного поставщика электрической энергии населению, в ежемесячное потребление до 150 кВт·ч укладывается 46% потребителей категории население и приравненных к ним, 51% потребителей расходуют в диапазоне 150-800 кВт·ч электроэнергии и лишь 2% превышают порог потребления в 800 кВт·ч [29].

Тарифная политика в электроэнергетике основывается в первую очередь на Федеральный закон от 26.03.2003 г. № 35-ФЗ «Об электроэнергетике», а также актах Правительства РФ и ведомственных актов. Отрасль достаточно жестко регулируется. Вольности здесь недопустимы. Все тарифы рассчитываются в строгом соответствии с методическими указаниями и проверяются Федеральной антимонопольной службой РФ.

Доступ к электроэнергетике для предприятий и для населения. В Республике Крым осуществляет предприятием ГУП РК «Крымэнерго» Данное предприятие является монополистом на рынке.

В соответствии с действующими законодательными актами тарифы для населения делятся на три подгруппы по объемам потребления: первое за объем потребления до 150 кВт•ч в месяц включительно; второе за объем потребления от 150 ноль до 800 киловатт часов в месяц включительно. Чем меньше электропотребления, тем меньше цена.

Такая тарифная политика провоцирует потребителей в категории населения потреблять меньше и экономить электрическую энергию так как меньше 150 кВт•ч в месяц самые дешевые тарифы.

Также тарифы для населения подразделяются на одноставочные тарифы и одноставочные тарифы, дифференцированный по зонам суток. Одноставочные дифференцируются по двум и по трем уровням. Тарифы распределены по зонам: ночная зона; пиковая зона; полупиковая зона. Таким образом, для большинства населения наиболее предпочтителен двух вставочный тариф с ночной зоной и пиковой дневной зоной. Ночью стоимость меньше, чем днем соответственно, можно планировать затратное энергопотребление на ночь и таким образом экономить.

Одноставочный тариф, дифференцированный по трем зонам суток, характеризуется дешевой электрической энергия в ночной зоне. В пиковой зоне цены завышены. Этот тариф выгоден потребителям, который занимаются майнингом или заряжают электромобили. Переход данной активности ночное время позволяет значительно экономить. Но таких пока не очень много. Кроме того, в тарифе следует отметить, что особое внимание уделяется льготным категориям населения. Для них стоимость тарифа ниже. Тарифы для населения наиболее жестко регулируются. Повышение тарифов воспринимается населением крайне болезненно. В связи с этим данная область является под пристальным контролем Федеральной антимонопольной службы РФ.

Тарифы для юридических лиц нерегулируемые, плавающие в большинстве своем определяются на рынке электрической энергии и мощности. Там также есть разделение. По уровню потребления менее 670 кВт; от 670 кВт до 10 МВт;от 10 МВт и выше. Разделение по категориям потребителей, а также существует разделение по уровням напряжения. Напряжение делится по 4 уровням от высокого к низкому. Соответственно, чем ниже напряжение, тем больше стоимость. Стоимость цены на бирже нестабильна и меняется в определенном диапазоне. Стоимость электроэнергии для юридических лиц выше, чем ее стоимость для населения.

Государственный комитет по ценам и тарифам Республики Крым определяет плановые показатели. В частности, ставку на содержание электрических сетей; ставку на оплату технологических расходов потерь, а также общая доставочный тариф [21;24;25;26;27;28].

Как видно из таблицы 1 чистый убыток составил -2 076 496 тыс. рублей. С таким финансовым результатом говорить о снижении стоимости электрической энергии не приходится. Со-

хранить бы тарифы на текущем уровне, без повышений.

Рентабельность продаж -величина прибыли от продаж в каждом рубле выручки -22,1%. Нормальное значение для данной отрасли от +9 процентов и более.

Таблица 1. *Основные показатели деятельности организаций, относящихся к субъектам естественных монополий, а также коммерческого оператора оптового рынка электрической энергии (мощности) передача электрической электроэнергии электрическими сетями ГУП РК "Крымэнерго"на 2023 год Республики Крым [31].*

Наименование показателей	Единица измерения	Фактические показатели за 2021 год	Показатели, утвержденные на базовый 2022 год	Предложения на расчетный 2023 год
Выручка	тыс. рублей	8 707 841	9 856 806	15 299 244
Прибыль (убыток) от продаж	тыс. рублей	-1 925 848	0	0
Чистая прибыль (убыток)	тыс. рублей	-2 076 496	0	0
Рентабельность продаж (величина прибыли от продаж в каждом рубле выручки). Нормальное значение для данной отрасли от 9 процентов и более	процент	-22,1%	0,0	0,0
Норматив потерь электрической энергии (с указанием реквизитов приказа Минэнерго России, которым утверждены нормативы)	процент	13,47%	13,47%	13,47%

Норматив потерь электрической энергии 13,47%. Показатель достаточно высок. С целью уменьшения потерь необходимо обратить пристальное внимание на потери. в линиях электропередач. Повышение напряжения в линиях со 110 кВ до 220 кВ и с 10 кВ до 20 кВ могло бы уменьшить потери электрической энергии. Также с целью уменьшения потерь необходимо обратить пристальное внимание на трансформаторы.

Свести к минимуму потери холостого хода, зазоры в стыках, потери в стали. Уделить более пристальное внимание настройке трансформаторов на параллельную работу [34]. Внедрение более прогрессивных методов сокращения коммерческих потерь (умные системы учета-автоматически отправляют показания). Выравнивание графиков нагрузок за счет более активного внедрения двух и трехставочного тарифа для населения. Это потребует дополнительных затрат, но с течением времени все затраты окупятся за счет уменьшения потерь.

Среди опрошенных мной экспертов нет однозначного мнения с чем связанны такие результаты. Одни говорят, что причина в массовом износе сетей и оборудования, а также в специфике региона. Другие же утверждают, что имеет место массовое завышение затрат и служебная халатность. Разобраться без проведения детализированного аудита достаточно сложно и не всегда возможно

Потери тоже достаточно велики-это результат износа сетей или результат неучтенных договоров на отпуск электроэнергии. Вопрос остается открытым.

Контролем тарифов и экономическими расчетами занимаются антимонопольная служба, министерство энергетики, внешние аудиторы, отделы текущего предприятия. Однако с позиции анализа документов тонкие технические моменты не всегда видны.

Например, определить рыночную стоимость эксплуатации и реконструкции того или иного узкоспециализированного электрического оборудования крайне сложно.

Анализом работы данного предприятия на предмет уменьшения затрат и, как следствие тарифов занимаются десятки людей, а поиском путей личного обогащения тысячи. В связи с вышесказанным предлагаю ввести на предприятии «вознаграждение за информацию».

Суть «вознаграждения за информацию» состоит в том, что сотрудники предприятия, которые предоставят информацию, которая приведет к уменьшению затрат предприятия будут получать денежное вознаграждение в виде денежных средств исходя из размера 30% от суммы фактической экономии предприятия.

Таким образом предприятие будет получать 70%, а инициативный сотрудник 30%. Выгода очевидна всем.

Предприятие будет работать более эффективно, что позволит удерживать тарифы на текущем уровне. Инициативный сотрудник будет материально премирован, что значительно добавит ему энтузиазма.

Заявки на получение выплат будет рассматривать специальная комиссия. Также для реализации данной инициативы потребуется внести некоторые дополнения к действующему законодательству.

Вознаграждения за информацию (фактическая сумма затрат-минус установленные рыночные затраты) *0.3= вознаграждение сотрудника.

Пример. Сотрудник предприятия проинформировал о завышении затрат на приобретение оборудования. Поставка оборудования началась. Стоимость контракта на поставку 100 тыс. рублей (цена указана для примера). Комиссия согласилась с информацией сотрудника, что среднерыночная цена контракта 70 тыс рублей. На 50тыс.руб. оборудование уже поставлено. На следующие 50тыс. контракт расторгнут. Закуплено оборудование на 35 тыс руб.

(50-35)*0,3=4.5тысяч рублей вознаграждение информатора.

Вознаграждения за информацию = фактические затраты по какому-то виду деятельности в прошлый период-(минус) затраты поэтому же виду деятельности в текущий период*(умножить) на 30%. При этом в текущем периоде применены наработки и предложения сотрудника информатора.

Пример 2. Сотрудник предложил комплекс мероприятий по снижению потерь. Текущие потери ГУП РК «Крымэнерго» 13,47% (818.240 млн. кВтч [32]).

Благодаря введению предложений сотрудника-информатора удалось снизить потери до 8% или 485,96 млн. кВтч (данные выдуманы для примера). Вознаграждение информатора составит 13,47%-8%=5,47% (332,27 млн. кВтч) - далее проценты переводятся в денежное выражение. И от полученной суммы отнимаются затраты на сокращение потерь. Полученная сумма умножается на 30% и выплачивается сотруднику-информатору. Пример с потерями является излишне оптимистичным, но он как нельзя лучше объясняет суть предложения.

Предложение поможет решить проблему того, что рядовые сотрудники видят проблемы на местах, но доносить свои предложения до руководства нет никакой выгоды. Материальное вознаграждение решит эту проблему.

***Таблица 2**. «Вознаграждение за информацию».*

«Вознаграждение за информацию».	
30% от суммы предполагаемой экономии предприятия	Суть «вознаграждения за информацию» состоит в том, что сотрудники предприятия которые предоставят информацию, которая приведет к уменьшению затрат предприятия будут получать денежное вознаграждение в виде денежных средств исходя из размера 30% от суммы фактической экономии предприятия.

Заключение

Предложения по уменьшению стоимости электрической энергии:

1. Уменьшение потерь. в линиях электропередач путем повышения напряжения в линиях с 110 кВ до 220 кВ и с 10 кВ до 20 кВ.

2. Свести к минимуму потери холостого хода трансформаторов, зазоры в стыках, потери в стали. Уделить более пристальное внимание настройке трансформаторов на параллельную работу.

3. Внедрение более прогрессивных методов сокращения коммерческих потерь (умные системы учета).

4. Выравнивание графиков нагрузок за счет более активного внедрения двух и трех-ставочного тарифа для населения.

5.Введение так называемого «двуставочного» тарифа», Включающего в себя плату за мощность и плату за фактическое потребление электрической энергии. Должно касаться только промышленных потребителей. Теоретически плата за мощность может покрывать постоянные издержки, а плата за потребление переменные. Данное предложение требует смягчения правил выхода на оптовый рынок электроэнергии и мощности для предприятий. Для выхода на оптовый рынок присоединенная мощность в каждой точке поставки должна быть не менее 750 кВА [30]. Необходимо смягчить данное требование, а также провести дополнительное обсуждение по данному вопросу. Плата за мощность будет составлять фиксированную сумму, а плата за потребление переменную.

6.Повышение эффективности использования распределительной сетевой мощности (потребителей, которые постоянно используют менее 60 % максимальной заявленной мощности, обяжут больше платить за передачу электроэнергии)

7. Возможность прямых отношений для всех

потребителей с поставщиками на оптовом рынке при минимальных затратах потребителей (прямые поставки, прямые платежи).

Теоретически можно понижение стоимости может составлять до10%

8. Упрощение процедуры смены поставщика по розничным и оптовому рынкам, конкуренция за потребителя.

9. Снижение доли гарантирующего поставщика.

10. Создание стимулов к развитию долгосрочных договоров

11. Сертификаты от производителей и энергосбытовых компаний

12. Закупочные торги для гарантирующих поставщиков которые проводятся инфраструктурой

13. Распределения необходимой валовой выручки по уровням напряжения с учетом степени загрузки оборудования и категорий надежности энергоснабжения.

14.Стоимость электрической энергии для потребителя зависит от объема потребления и не зависит от уровня напряжения.

15. Введение «вознаграждения за информацию». Суть «вознаграждения за информацию» состоит в том, что сотрудники пред-приятия, которые предоставят информацию, которая приведет к уменьшению затрат пред-приятия будут получать денежное вознаграждение.

Список литературы

1. «Методические рекомендации по расчету эффектов от реализации мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности» Анали-тический центр при Правительстве Российской Феде-рации август 2016;
2. https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=4649
3. https://www.youtube.com/watch?v=D9J9lZxAU9M&t=56s ;
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Оптовый_рынок_электроэнергии_и_мощности_России ;
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Системный_оператор_Единой_энергетической_системы ;
6. https://www.so-ups.ru/functioning/markets/ ;
7. https://neftegaz.ru/tech-library/normativno-spravochnaya-informatsiya/142124-sbytovaya-nadbavka/
8. https://docs.cntd.ru/document/555730080 ;
9. 9.https://www.mos.ru/upload/documents/oiv/35_fz_ob_elektroenergetike.pdf ;
10. https://encost.com/publikacii/cenoobrazovanie-na-roznichnom-rynke-elektroenergii/ ;
11. https://peretok.ru/references/affiliate/1487/ ;
12. http://komitet2-13.km.duma.gov.ru/Rabota/Rekomendacii-po-itogam-meropriyatij/item/16707591/ ;
13. https://www.youtube.com/watch?v=uD8j1Mmc3W ;
14. https://riarating.ru/infografika/20220606/630223471.html ;
15. https://www.electricchoice.com/electricity-prices-by-state/ ;
16. https://www.businessjuice.co.uk/energy-guides/what-makes-up-your-electricity-price/ ;
17. https://adilet.zan.kz/rus/docs/P990000384_ ;
18. http://www.cm-ok.ru/services/elektroenergiya/ ;
19. https://www.youtube.com/watch?v=kcxaQIf41HE ;
20. https://crimea-energy.ru/about ;
21. https://crimea-energy.ru/consumers/price/tariful-2 ;
22. https://www.glavbukh.ru/art/91490-prosto-o-nds-izmeneniya-stavki-raschet;
23. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_130498/ad6f16559cf50d99f8899cd48d3556d1e7017583/
24. https://crimea-energy.ru/consumers/price/tariful ;
25. https://crimea-energy.ru/consumers/price/tariful ;
26. https://crimea-energy.ru/consumers/price/tariful ;
27. https://crimea-energy.ru/consumers/price/tariful ;
28. https://gkz.rk.gov.ru/ru/document/show/4692 ;
29. http://komitet2-13.km.duma.gov.ru/Rabota/Rekomendacii-po-itogam-meropriyatij/item/20920266/ ;
30. https://www.kes-krd.ru/spravochnaya-informatsiya/21/ ;
31. https://crimea-energy.ru/infodiscl/apptar
32. https://crimea-energy.ru/consumers/powtrans/ptexp?template=tpl_krgo_spec
33. https://www.so-ups.ru/
34. Лыкин А. В. Электрические системы и сети - Издательство: Юрайт год: 2019 страниц: 362

References

1. "Methodical recommendations for calculating the effects of the implementation of measures to save energy and improve energy efficiency" Analytical Center under the Government of the Russian Federation August 2016;
2. https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=4649
3. https://www.youtube.com/watch?v=D9J9lZxAU9M&t=56s ;
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Оптовый_рынок_электроэнергии_и_мощности_России ;
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Системный_оператор_Единой_энергетической_системы ;
6. https://www.so-ups.ru/functioning/markets/ ;
7. https://neftegaz.ru/tech-library/normativno-

spravochnaya-informatsiya/142124-sbytovaya-nadbavka/
8. https://docs.cntd.ru/document/555730080 ;
9. https://www.mos.ru/upload/documents/oiv/35_fz_ob_elektroenergetike.pdf ;
10. https://encost.com/publikacii/cenoobrazovanie-na-roznichnom-rynke-elektroenergii/ ;
11. https://peretok.ru/references/affiliate/1487/ ;
12. http://komitet2-13.km.duma.gov.ru/Rabota/Rekomendacii-po-itogam-meropriyatij/item/16707591/ ;
13. https://www.youtube.com/watch?v=uD8j1Mmc3Ws ;
14. https://riarating.ru/infografika/20220606/630223471.html ;
15. https://www.electricchoice.com/electricity-prices-by-state/ ;
16. https://www.businessjuice.co.uk/energy-guides/what-makes-up-your-electricity-price/ ;
17. https://adilet.zan.kz/rus/docs/P990000384_;
18. http://www.cm-ok.ru/services/elektroenergiya/ ;
19. https://www.youtube.com/watch?v=kcxaQIf41HE ;
20. https://crimea-energy.ru/about ;
21. https://crimea-energy.ru/consumers/price/tariful-2
22. https://www.glavbukh.ru/art/91490-prosto-o-nds-izmeneniya-stavki-raschet;
23. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_130498/ad6f16559cf50d99f8899cd48d3556d1e7017583/
24. https://crimea-energy.ru/consumers/price/tariful ;
25. https://crimea-energy.ru/consumers/price/tariful ;
26. https://crimea-energy.ru/consumers/price/tariful ;
27. https://crimea-energy.ru/consumers/price/tariful ;
28. https://gkz.rk.gov.ru/ru/document/show/4692 ;
29. http://komitet2-13.km.duma.gov.ru/Rabota/Rekomendacii-po-itogam-meropriyatij/item/20920266/ ;
30. https://www.kes-krd.ru/spravochnaya-informatsiya/21/ ;
31. https://crimea-energy.ru/infodiscl/apptar
32. https://crimea-energy.ru/consumers/powtrans/ptexp?template=tpl_krgo_spec
33. https://www.so-ups.ru/
34. Electrical systems and networks - Lykin A. V. Publish-ing house: Yurait year: 2019 pages: 362

УДК621.31.613.5

Диагностика технического состояния изоляции силовых трансформаторов при аварийном отключении

Е.Г. Малюк, С.Д. Нагорный
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, evmalyuk@mail.ru; sergey1.nagorny@yandex.ru.

Статья поступила 26.04.2024 г.; после доработки 06.05.2024 г.

Аннотация

В статье рассматривается методика определения технического состояния изоляции силовых трансформаторов после аварийного отключения их системой защиты при неочевидных причинах отключения. Показано, что изменение тока в обмотках силовых трансформаторов при плавном увеличении напряжения позволяет выявить дефекты в главной и продольной изоляции.

Ключевые слова: силовой трансформатор, главная и продольная изоляции, ток в обмотках, анализ величины тока в обмотках методом сравнения.

Diagnostics of the technical condition of the insulation of power transformers in case of emergency shutdown

E.G. Malyuk, S.D. Nagorny
Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, evmalyuk@mail.ru;sergey1. nagorny@yandex.ru.

Received 26.04.2024 y.; received in final form 06.05.2024 y.

Abstract

The article discusses the method for determining the technical condition of the insulation of power transformers after an emergency shutdown by their protection system in case of non-obvious reasons for disconnection. It is shown that the change in the current in the windings of power transformers with a smooth increase in voltage makes it possible to identify defects in the main and longitudinal insulation.

Keywords: power transformer, main and longitudinal insulation, current in the windings, analysis of the current value in the windings by the comparison method.

Введение

Трансформатор это статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанныех обмоток и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем переменного тока в одну или несколько других систем переменного тока.

Трансформатор, предназначенный для преобразования электрической энергии в электрических сетях и в установках, предназначенных для приема и использования электрической энергии называется силовым трансформатором [1].

К силовым трансформаторам относятся трансформаторы трехфазные и многофазные

мощностью 6,3 кВА и более, однофазные мощностью 5 кВА и более.

Силовой трансформатор конструктивно состоит из трех основных частей: магнитопровода, который является также несущей конструкцией, на которой крепятся все остальные конструктивные элементы, обмоток и изоляции. Наибольшее влияние на надежность работы силового трансформатора оказывает именно изоляция, поскольку из всех конструктивных элементов силового трансформатора именно изоляция подвержена старению.

В представленной работе предлагается методика сравнительной оценки технического состояния продольной изоляции силовых трансформаторов мощностью от 400 до 25000 кВА и напряжением 35/10; 110/10 кВ.

Изоляция силовых трансформаторов и особенности ее эксплуатации и диагностики технического состояния

Изоляция силовых масляных трансформаторов подразделяется на внешнюю и внутреннюю. К внешней изоляции относится изоляция в воздухе снаружи бака трансформатора это вводы (на напряжение 110 кВ и выше) и проходные изоляторы (на напряжение 6-35 кВ), основной особенностью внешней изоляции является зависимость ее электрической прочности от атмосферных условий и, как правило, возможность визуальной оценки ее технического состояния в аварийных ситуациях.

К внутренней изоляции относятся изоляционные конструкции, находящиеся внутри бака трансформатора. Основным свойством внутренней изоляции является практически полная независимость ее электрической прочности от внешних атмосферных условий. Внутренняя изоляция силовых трансформаторов, в свою очередь, подразделяется на главную и продольную изоляцию.

Главная изоляция масляных трансформаторов - маслобарьерная, состоит из твердой изоляции (электротехнического картона) и трансформаторного масла, пропитывающего картон, и заполняющего весь свободный объем бака. Главная изоляция это изоляция между обмотками разных фаз, между обмотками и баком, а также другими конструктивными элементами трансформатора соединенными с землей. Главная изоляция имеет высокую электрическую прочность, зависящую от класса напряжения трансформатора.

К продольной изоляции относится изоляция отдельных витков друг от друга, отдельных витков обмотки друг от друга, отдельных секций обмоток друг от друга (если обмотки секционированы). Продольная изоляция как правило бумажно-масляная и представляет собой слой бумаги покрывающий провод и пропитанный трансформаторным маслом. К электрической прочности продольной изоляции предъявляются значительно менее жесткие требования, поскольку разность потенциалов между витками и отдельными секциями катушек одной фазы значительно меньше, чем между заземленными конструкциями трансформатора и элементами находящимися под рабочим напряжением.

Изоляция трансформатора должна выдерживать без повреждений электрические, тепловые, механические и физико-химические воздействия, которым она подвергается при эксплуатации трансформатора. Стоимость изоляции составляет существенную долю стоимости трансформатора. Для трансформаторов классов напряжения 220—500 кВ стоимость изоляции, включая масло, достигает 15—20 % стоимости всего трансформатора.

В эксплуатации силовой трансформатор постоянно находится во включенном состоянии, а его изоляция — под длительным воздействием рабочего напряжения, которое она должна выдерживать без каких-либо повреждений неограниченно долгое время. Допустимые продолжительные превышения напряжения должны быть указаны в стандартах на конкретные типы и группы трансформаторов.

Согласно требованию [4] силовые трансформаторы должны быть также рассчитаны на работу в определенных условиях при кратковременном напряжении, превышающем номинальное до 15 и 30 %. В электрической системе, в которой работает трансформатор, вследствие нормальных коммутационных процессов (включение и выключение больших мощностей и т. д.) или процессов аварийного характера (короткие замыкания, обрыв линий и т. д.), возникают кратковременные перенапряжения, достигающие в отдельных относительно редких случаях значений близких к четырехкратному фазному напряжению. Длительность этих перенапряжений измеряется сотыми долями секунды и, как правило, не превышает 0,1 с. Нормальное рабочее напряжение и перенапряжение коммутационного характера воздействуют в основном на главную изоляцию обмотки.

В воздушных линиях электропередачи могут возникать также импульсные волны перенапряжений, вызванных грозовыми атмосферными

разрядами. Эти импульсы, достигая трансформатора, воздействуют на его изоляцию. Атмосферные перенапряжения в отдельных неблагоприятных случаях достигают 10-кратного фазного напряжения при длительности, измеряемой микросекундами. Воздействие атмосферных грозовых перенапряжений сказывается главным образом на продольной изоляции обмоток трансформатора, в частности на изоляции между витками, между слоями витков и между отдельными катушками обмотки.

Необходимо также иметь ввиду, что коммутационные импульсы, возникающие при штатных или аварийных срабатываниях элегазовых и особенно вакуумных выключателей имеют крутой фронт, напоминающий по крутизне возрастания фронт срезанного импульса молнии и в соответствии с известной формулой

$$u(t) = L\frac{di}{dt}$$

создают в продольной изоляции значительные перенапряжения, зависящие от скорости изменения тока срезанного импульса. Кроме того проникновение высоковольтных импульсов перенапряжения из высоковольтных обмоток силового трансформатора в низковольтные, имеющие значительно менее прочную продольную изоляцию, через паразитные емкости между обмотками, приводит к интенсивному разрушению витковой изоляции возникающими частичными разрядами [6].

При возникновении перенапряжений того или иного типа в случае недостаточной электрической прочности изоляции может произойти электрический разряд или даже пробой, т. е. местное разрушение изоляции.

В процессе эксплуатации в изоляции силовых трансформаторов возникают дефекты (увлажнение, загрязнение, возникновение трещин, воздушных включений и т.д.), постепенно приводящие к необратимому ухудшению свойств и характеристик изоляции, т.е. к старению изоляции.

Старение электрической изоляции может быть разделено на следующие четыре категории:

1. Химическое – изменение химических свойств и структуры конструкционных материалов, образование новых продуктов под действием влаги, кислорода, озона и т.п.
2. Термическое – изменение свойств материалов, составляющих изоляционные конструкции, под действием высоких температур, а также вследствие местных объёмных перегревов диэлектрическими потерями.
3. Механическое – потеря механической прочности под действием ударов, динамических усилий при коротких замыканиях.
4. Электрические – уменьшение электрической прочности под действием длительно приложенного рабочего напряжения.

Процесс образования дефектов и разрушения изоляции протекает вначале весьма медленно, на последних стадиях имеет скачкообразный характер и заканчивается пробоем изоляции.

Для обеспечения надежности электроснабжения потребителей руководящими документами по эксплуатации электрооборудования предусмотрено проведение периодического мониторинга состояния изоляции высоковольтного оборудования с целью определения ее ресурса предотвращения аварий с тяжелыми последствиями. Перечни проводимых работ, сроки и технология их выполнения изложены в [2,3], однако предлагаемые методы проверки изоляции обеспечивают контроль состояния только главной изоляции силовых трансформаторов, при этом продольная изоляция не проверяется.

Между тем повреждение продольной изоляции обмоток приводит к возникновению виткового замыкания, когда часть витков «выключается» из работы из работы, что приводит к уменьшению омического сопротивления обмотки. Увеличение тока, протекающего в ней, ведет к нагреву дефектного участка. Локальное повышение температуры обмотки может служить причиной разложения изоляционного масла, образования газовых включений и начала разрядной активности не только в продольной, но ив главной изоляции трансформатора.

Проверка работоспособности силового трансформатора перед включением под нагрузку

Самый простой и распространенный способ определения работоспособности вводимого в эксплуатацию силового трансформатора заключается в пробном включении его на рабочее напряжение, однако этот способ имеет существенные недостатки. Если продольная изоляция в обмотках трансформатора имеет повреждения развившиеся в процессе предшествующей эксплуатации, то при включении трансформатора сразу на рабочее напряжение в обмотках, имеющих дефекты продольной изоляции, возникает большой ток по величине близкий к току корот-

кого замыкания (КЗ), этот ток приводит к возникновению значительных электродинамических усилий, достигающих нескольких тон. В результате воздействия этих усилий повреждается и теряет свои диэлектрические свойства твердая изоляция не только поврежденного участка, но и всего трансформатора в целом.

Образование газовых включений, вызванных чрезмерным нагревом трансформаторного масла, может при возникновении дугового разряда привести к возгоранию и полному выходу из строя трансформатора с исключением целесообразности его ремонта.

С целью исключения подобных тяжелых аварий целесообразно ввод в эксплуатацию силового трансформатора после аварийного отключения, причины которого неясны и есть сомнения в исправности его изоляционных конструкций и трансформатора, после непродолжительного хранения до этого бывшего в эксплуатации, выполнять, придерживаясь следующего порядка.

1. Выполнить проверку масла в трансформаторе. При недостаточном уровне масла, долить до нормы и выдержать для пропитки твердой изоляции трансформатора в течении 12 часов.
2. Измерить сопротивление главной изоляции мегомметром 25000. При этом будет получена информация о состоянии главной изоляции трансформатора.

Для мониторинга состояния продольной изоляции с целью избежать разрушающего воздействия тока КЗ при наличии в обмотках трансформатора неисправностей предлагается до включения его под нагрузку провести испытания по нижеизложенной методике. По этой методике проведения испытания силового трансформатора напряжение подается на обмотки низкого напряжения (обратная трансформация, схема рис. 1) через повышающий трансформатор меньшей мощности по сравнению с трансформатором, который подвергается испытаниям.

Для проведения испытаний силовых трансформаторов мощностью от 400 до 25000 кВА и напряжением 35/10, 110/10 кВ в качестве вспомогательного трансформатора Т2 предлагается применять, имеющиеся на подстанциях трансформаторы системы собственных нужд. Амперметр и вольтметр, используемые при испытаниях должны обеспечивать измерение тока и напряжения с погрешностью не более 0,5% [5]. В качестве регулирующего устройства в предлагаемой схеме используется автотрансформатор Т3, но возможно и применение и реостатов достаточной мощности. Применение тиристорных регуляторов нежелательно из-за присутствия высших гармоник тока при регулировке напряжения [5], которые могут повлиять на результаты измерения.

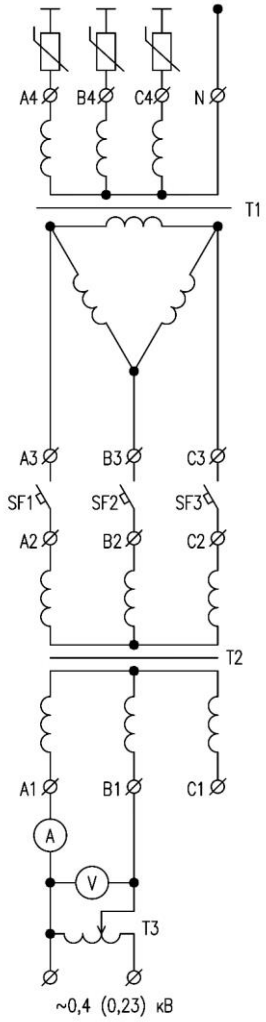


Рис.1. Схема испытания силового трансформатора.
Т1-испытываемый трансформатор 35/10 кВ;
Т2- вспомогательный трансформатор 10/0,4 кВ;
Т3-автотрансформатор;
FV1, FV2, FV3-ограничители перенапряжений;
SF1, SF2, SF3-автоматические выключатели.

При подборе устройств и элементов схемы необходимо выполнить следующие условия.

1. Мощность вспомогательного трансформатора Т2 должна быть больше мощности, необходимой для насыщения сердечника испытываемого трансформатора.
2. Для защиты высоковольтной обмотки испытываемого трансформатора от перенапряжений переходного процесса, который может

возникнуть при пробое в поврежденном участке изоляции, на ненагруженных выходах трансформатора подключаются ограничители перенапряжений (ОПН) на соответствующее напряжение.

3. Мощность регулирующего устройства должна позволять обеспечить выполнение пункта 1.

Испытание силового трансформатора рекомендуется выполнять по следующей технологии.

На вторичную обмотку вспомогательного трансформатора Т2 подается регулируемое напряжение от автотрансформатора Т3. С помощью автоматических выключателей SF1, SF2, SF3, включаемых попарно, осуществляется подача напряжения на вторичные фазные обмотки испытуемого силового трансформатора. Сравнивая поочередно измеренные токи в фазных обмотках силового трансформатора, определяют поврежденную обмотку. В качестве критерия выбраковки обмотки выбран критерий увеличения тока в обмотке более чем на 2% по отношению к величине токов в других обмотках при той же величине подаваемого напряжения. Критерий опирается на требования [2] по разбросу омических сопротивлений обмоток при испытании постоянным напряжением и в соответствии с тем, что при повреждениях витков обмотки, изменяется не только активное сопротивление, изменение которого может быть определено при испытании постоянным током, но и реактивная (индуктивная) составляющая сопротивления обмотки изменение, которой выявляется при испытании переменным током.

Вывод

Предлагаемый способ испытания силовых трансформаторов позволяет:

- оценить состояние продольной изоляции силового трансформатора при напряжении, меняющемся от 0 до номинального, исключить развитие аварий при вводе трансформатора в эксплуатацию, при включении его на номинальное напряжение сети;
- при возникновении пробоя при проведении испытаний, ток КЗ не развивается до разрушающего, имеет значение в несколько раз меньше номинального рабочего, так как мощность источника питания ограничена мощностью вспомогательного трансформатора;
- контролировать изменение тока в обмотках трансформатора при увеличении подаваемого переменного напряжения промышленной частоты.

Список литературы

1. ГОСТ 16110-82 Трансформаторы силовые. Термины и определения.
2. ГОСТ 3484.3-88 Трансформаторы силовые. Методы измерения диэлектрических параметров изоляции.
3. СТО 34.01-23.1-001-2017 Стандарт организации ПАО «Россети». Объем и нормы испытания электрооборудования.
4. ГОСТ 11677 Трансформаторы силовые. Общие технические условия.
5. Сборник методических пособий по контролю состояния электрооборудования. Составлено АО «Фирма ОРГРЭС» под редакцией Ф.Л. Когана, издание ЗАО «Энергосервис», Москва, 1999.
6. В. Брыкин Актуальнось грозозащиты продольной изоляции силовых трансформаторов. Электропередача и распределение энергии. Журнал для специалистов электросетевого комплекса. www.eepir.ru. Ежеквартальный спецвыпуск №1(8) май 2018.

References

1. GOST 16110-82 Power transformers. Terms and definitions.
2. GOST 3484.3-88 Power transformers. Methods for measuring dielectric parameters of insulation.
3. STO 34.01-23.1-001-2017 Standard of the Organization of PJSC Rosseti. Scope and Standards of Testing of Electrical Equipment.
4. GOST 11677 Power transformers. General specifications.
5. Collection of methodological manuals for monitoring the state of electrical equipment. Compiled by JSC "Firm" ORGRES" edited by F.L. Kogan, published by ZAO Energoservice, Moscow, 1999.
6. V. Brykin Actuality of Lightning Protection of Longitudinal Insulation of Power Transformers. Power Transmission and Energy Distribution. www. eepir.ru. Quarterly special issue No1(8) May 2018.

УДК 620.92

Экспериментальное исследование солнечного опреснителя воды с греющим пародинамическим контуром и встроенным конденсатором пара

А.Х. Мола[1], С.Е. Щеклеин[1], А.М. Дубинин[1], Н.Т. Алван[2]

[1] ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», ул. Мира, 19, г. Екатеринбург, 620002, Россия,[1]s.e.shcheklein@urfu.ru

[2] Северный технический университет, Инженерно-технический колледж Киркука, Киркук, 36001, Ирак, [2] nassir.towfeek79@gmail.com

Статья поступила 16.05.2024 г.; после доработки 17.05.2024 г.

Аннотация

Энергетические системы будущего должны быть экономичными, надежными и безопасными, обеспечивать максимальную непрерывность энергоснабжения потребителей во всех регионах, особенно в отдаленных и сельских районах. Это может быть достигнуто путем развития энергетических систем, полагающихся на возобновляемые источники энергии. Исследование выполнялись в России (г. Екатеринбург) и в Ираке. Были экспериментально и теоретически исследованы разнообразные технологии пассивной и активной систем солнечного опреснения на основе принципа термической дистилляции соленой воды с использованием солнечной энергии для ее нагрева и привода насосов, холодильников и ультразвуковых излучателей.

Ключевые слова: непрерывность энергоснабжения, развитие энергетических систем. возобновляемые источники энергии, принцип термической дистилляции соленой воды, солнечная энергия.

Experimental study of a solar water desalination device with a heating aerodynamic circuit and an integrated steam condenser

A.H. Mola[1], S.E. Shcheklein[1], A.M. Dubinin[1], N.T. Alvan[2]

[1] *Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin», Mira Street 19, Yekaterinburg, 620002, Россия,[1]omkrastelov@mail.sevsu.ru*

[2] *Technical Engineering College of Kirkuk, Northern Technical University, 36001 Kirkuk, Iraq, [2] nassir.towfeek79@gmail.com*

Received 16.05.2024 y.; received in final form 17.05.2024 y.

Abstract

The energy systems of the future must be economical, reliable and safe, and ensure maximum continuity of energy supply to consumers in all regions, especially in remote and rural areas. This can be achieved by developing energy systems that rely on renewable energy sources. The study was carried out in Russia (Yekaterinburg) and Iraq. Various technologies of passive and active solar desalination systems based on the principle of thermal distillation of salt water using solar energy to heat it and drive pumps, refrigerators and ultrasonic radiators were experimentally and theoretically investigated.

Keywords: continuity of energy supply, development of energy systems. renewable energy sources, the principle of thermal distillation of salt water, solar energy.

Введение

На нашей планете пресная вода составляет 2.5% от всего объема воды несмотря на то, что 70% поверхности Земли покрыто водой. Как правило, минерализация морской воды составляет от 3500 до 4500 миллионных долей, причем со-

гласно Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) допустимая минерализация питьевой воды не должна превышать 500 миллионных долей (1000 миллионных долей в определенных особых случаях) [1]. Таким образом, для человеческих, сельскохозяйственных и промышленных нужд невозможно непосредственное использование морской воды, но существует множество стран, полагающихся на морскую воду после процесса опреснения как на источник питьевой воды [2]. Среднесуточное производство питьевой воды в ходе традиционного процесса опреснения во всем мире составляет 23·106 м3 [3]. Однако этот процесс требует большого количества ископаемого топлива. По оценкам, для производства 13 миллионов кубометров питьевой воды в сутки необходимо ежегодно сжигать около 130 миллионов тонн нефти [4].

В отчете Renewable Energy Policy Network на 21 век было упомянуто, что доминирующим источником энергии, используемым для удовлетворения глобального спроса, является ископаемое топливо, составляющее около 78.3% от общего количества произведенной энергии, 19.2% составляют возобновляемые источники энергии, а оставшиеся 2.5% обеспечивает атомная энергетика [5].

Данное исследование выполнялись в России (г. Екатеринбург) и в Ираке (г. Киркук) под руководством проф. Щеклеина С.Е. и доктора Алвана Алхарбави. В ходе исследований были экспериментально и теоретически исследованы разнообразные технологии пассивной и активной систем солнечного опреснения на основе принципа термической дистилляции соленой воды с использованием солнечной энергии для ее нагрева и привода насосов, холодильников и ультразвуковых излучателей [7-18].

Общая структура исследованных опреснительных установок приведена на рисунке 1.

Энергетические системы будущего должны быть экономичными, надежными и безопасными, обеспечивать максимальную непрерывность энергоснабжения потребителей во всех регионах, особенно в отдаленных и сельских районах. Это может быть достигнуто путем развития энергетических систем, полагающихся на возобновляемые источники энергии [6].

На рисунке 2 приведена сводный график суточного производства опресненной воды с использованием данных технологий для характерного летнего месяца.

Самая высокая производительность, зарегистрированная во всех модификациях солнечного дистиллятора, была зафиксирована в дистилляторе с полым цилиндром и внешним солнечным коллектором (СДПЦСК), где суточная производительность составила около 12500 мл/м^2·сут.

Рис. 1. Общая структура исследованных опреснительных установок

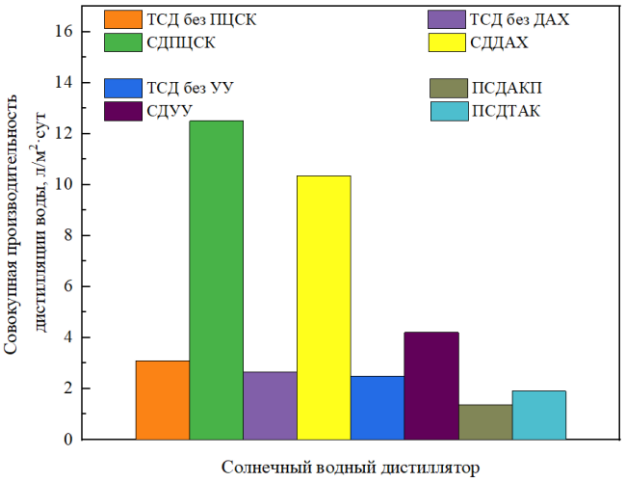


Рис. 2. Суточная совокупная производительность дистилляции воды для различных модифицированных и базовых солнечных дистилляторов, (2019-2022), Екатеринбург, Россия.

Однако высокая производительность установок (СДПЦСК и СДДДАХ) потребовала включения в их состав дополнительных фотоэлектрических источников энергии (ФЭП, АКБ, контроллер и пр.), что приводило к усложнению и значительному повышению стоимости оборудования.

Выполненные исследования показали, что скорость испарения зависит от температуры воды и эффективности конденсации её пара. Следовательно, целесообразно осуществлять её подогрев и делать не облучаемую солнцем часть опреснителя из хорошо теплопроводного мате-

риала (металла) с возможным увеличением поверхности охлаждения воздухом (например, при помощи оребрения).

Теоретические предпосылки технологии

Из теории фазовых переходов жидкостей в парообразное состояние известно, что скорость испарения со свободной поверхности описывается уравнением [19, 20]:

$$\upsilon_з = \upsilon_{з0} \cdot exp\left[\frac{L\mu(T-T_0)}{RT\cdot T_0}\right] \quad (1)$$

где: — скорость испарения жидкости при температуре её кристаллизации,

μ — молярная масса жидкости, L — удельная теплота парообразования,

R =8,31 Дж/(Моль·К) — универсальная газовая постоянная,

Т0 — температура кристаллизации жидкости.

Экспериментальная проверка этой зависимости для воды, выполненная в работе [21] показала соответствие теоретической зависимости (1) данным эксперимента. Результаты, полученные в данной работе, могут быть аппроксимированы следующей эмпирической зависимостью в диапазоне температур от 20 до 95 ºС:

$$\upsilon = \alpha \cdot exp[\beta \cdot t] \quad (2)$$

На нашей планете пресная вода составляет 2.5% от

Где υ-удельная скорость поверхностного парообразования,мл/м^2·ч α=453,β=0,032

Результаты обработки данных работы [21], приведенные на рисунке 3 показывают сильное влияние температуры жидкости на скорость испарения с свободной поверхности.

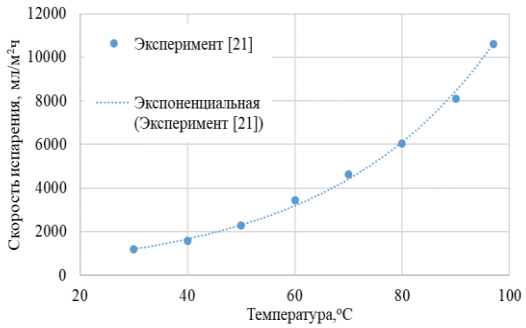


Рис. 3. Удельная скорость испарения воды с свободной поверхности по данным

Данный физический эффект свидетельствует о возможности повышения эффективности испарительной дистилляции воды путем её дополнительного нагрева.

Экспериментальное исследование эффективности модифицированного солнечного опреснителя

В данной работе приведены результаты исследования эффективности полностью пассивного солнечного опреснителя, основанного на ранее полученных результатах исследований.

Технологическая схема установки приведена на рисунке 4.

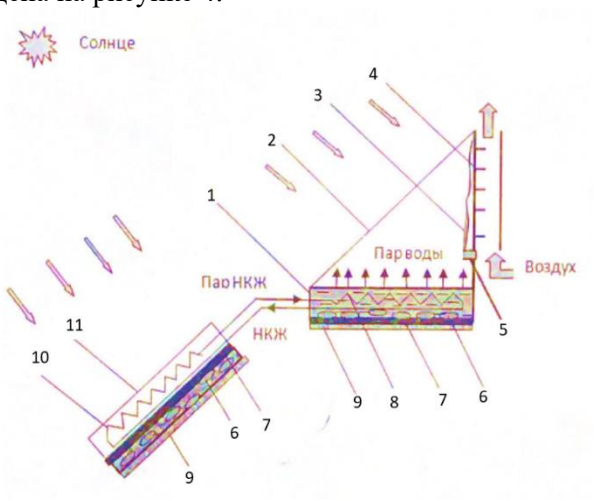


Рис. 4. Технологическая схема пассивного солнечного опреснителя.
1- бассейн с соленой водой, 2- светопрозрачное покрытие солнечного опреснителя, 3- пленка водяного конденсата, 4- металлическая оребренная задняя стенка, 5- канал, 6- твердотельные теплоаккумулирующие элементы, 7- термостойкая неорганическая ткань, 8- пароконденсирующая часть теплообменника низкокипящей жидкости, 9- теплоизолирующий материал, 10 -парогенерирующая часть теплообменника низкокипящей жидкости, 11- светопрозрачное покрытие солнечного коллектора.

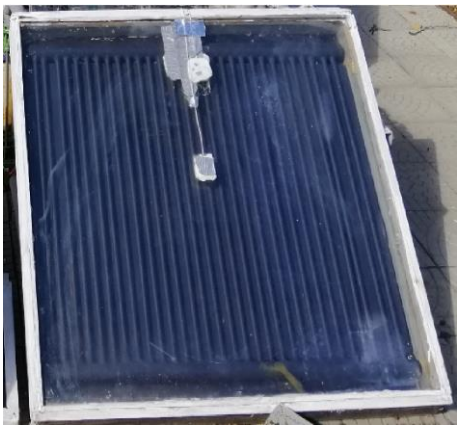
Соленая вода помещается в емкость (1) солнечного дистиллятора, солнечная энергия попадает в корпус дистиллятора, который ориентирован по направлению на солнце через светопрозрачное покрытие (2). Испаряющиеся пары воды поднимаются в верхнюю часть корпуса дистиллятора и попадают на холодную поверхность дистиллятора (4), которая охлаждается воздухом окружающей среды вследствие его интенсивной естественной конвекции в канале прямоугольного сечения (тяговый канал), конденсируются и конденсат стекает в виде пленки (3) по поверх-

ности (4) в водосборный канал (5) и далее в емкость сбора пресной воды. Для повышения скорости испарения осуществляется дополнительный нагрев соленой воды в емкости (1) присоединенным к ней пародинамичеким солнечным коллектором в который солнечная энергия попадает через светопрозрачное покрытие (11). Пародинамичекий солнечный коллектор заполнен на 20-25% объема низкокипящей жидкостью (ацетоном) и состоит из парогенерирующей (10) и конденсирующей (8) частей (каждая из которых представляет собой одно (8) или много трубные (10) плоские трубчатые теплообменники). Даже при незначительном (менее 45оС) нагреве ацетона в (10) начинается его парообразование с поглощением большого количества тепла. Пары поднимаются в теплообменник (8) и конденсируются в нем отдавая соленой воде в емкости (1) большое количество теплоты, далее конденсат стекает в теплообменник (10). Контур низкокипящего теплоносителя замкнутый и не нуждается в подпитке весь период работы установки. Для повышения эффективности нагрева воды энергией солнца в емкости с соленой водой (1) размещены твердотельные вытеснители, а в парогенерирующей части (10) пародинамичекого солнечного коллектора размещены твердотельные теплоаккумулирующие элементы (6). Для повышения степени ассимиляции солнечной энергии в емкости с соленой водой (1) в парогенерирующей части (10) пародинамичекого солнечного коллектора размещена термостойкая неорганическая ткань черного цвета. Для снижения тепловых потерь в окружающую среду от нагретых элементов применен теплоизолирующий материал (9).

Таблица 1. *Технические характеристики экспериментальной установки*

No	**Наименование**	**Значение**
1	Объем бассейна соленой воды	35 дм3
2	Площадь бассейна соленой воды	0,5 м2
3	Площадь светопрозрачного покрытия	0,8 м2
4	Площадь металлической задней стенки	0,5 м2
5	Низкокипящая жидкость	ацетон
6	Площадь солнечного коллектора – испарителя НКЖ	1 м2
7	Число трубок в коллекторе – испарителе НКЖ	30
8	Диаметр трубок в коллекторе – испарителе НКЖ	16 мм
9	Длина трубок в коллекторе – испарителе НКЖ	0,9 м
10	Объем контура коллектора – испарителя НКЖ	5 дм3
11	Объем НКЖ (ацетона) в в коллекторе – испарителе	1,5 л.
12	Длина трубки конденсирующей части теплообменника НКЖ	5 м
13	Диаметр трубок в конденсирующей части теплообменника НКЖ	16 мм

Особенностью данной установки является наличие высокотеплопроводной металлической (алюминий) задней стенки (2) встроенного конденсатора пара; наличие дополнительного греющего солнечного коллектора (7) для подогрева воды бассейна, работающего по принципу тепловой трубы заполненной низкокипящей жидкостью (НКЖ-этанол или ацетон). Фотографии элементов контура НКЖ приведена на рисунке 5.



а)

б)

Рис. 5. а) Фотография испарительной части греющего контура НКЖ. б) фотография конденсирующей части контура НКЖ.

Общий вид опреснительной установки показан на рисунке 6.

Рис. 6. Фотография общего вида опреснительной установки

Экспериментальное исследование эффективности модифицированного солнечного опреснителя

Солнечный дистиллятор был зафиксирован в южном направлении, время восхода и захода солнца равнялись 07:05 (96º Восток) и 18:26 (263º Запад) соответственно. Масса воды в резервуаре составляла 21,5 кг, что соответствовало высоте воды в емкости примерно 5 см.

Для проверки производительности и эффективности солнечного дистиллятора регистрировались следующие базовые величины:

1. Температуры в различных точках рассматриваемого солнечного дистиллятора.
2. Интенсивность солнечного излучения.
3. Скорость ветра.
4. Часовая и совокупная производительность дистиллированной воды.

Измерение температур осуществлялось автоматизированной системой многоканального измерения температур (рис. 7 а), представляющая собой 4-канальный регистратор данных с SD-картой и термопарами К-типа (модель 88598) для измерения температуры в различных точках солнечного дистиллятора. Регистратор температуры 88598 AZ K-типа может замерять и отображать температуру из 4 различных источников, а пользователь может присоединить к регистратору термопары хромель/алюмель. Значение температуры сохраняется в формате TXT на SD-карту, после чего пользователь может продолжить анализ с помощью Excel или другого программного обеспечения. Измеренные температуры отображались с помощью ОВЕН МВ110-8А с модулем сбора данных (МСД-200) (рис. 7 б). Во всех экспериментах измерения температур проводились с использованием термопар К-типа (хромель/алюмель). Для проверки термопары перед исследованием теплообмена все термопары были помещены в водяной термостат, где они были откалиброваны с помощью ртутного термометра с делением шкалы 0,1 ℃.

Измерение массы опресненной воды, выработанной в солнечном дистилляторе осуществлялось электронными весами типа 14192-722E с диапазоном от 0 до 40 кг.

а)

б)

Рис. 7. Фотография устройств измерения температуры, (а) 4-канальный регистратор данных с SD-картой, (б) модуль сбора данных МСД-200

Все экспериментальные исследования проводились в Уральском Федеральном университете с 08:00 до 20:00 в течение весенне-летне-осеннего периода 2023 года. В каждый период выбирались характерные дни с высокой и низкой солнечной инсоляции.

Характерные экспериментальные данные по изменению солнечной инсоляции, температурам

окружающего воздуха и температурам характерных зон дистилляционной установки приведены на рисунках 8-18.

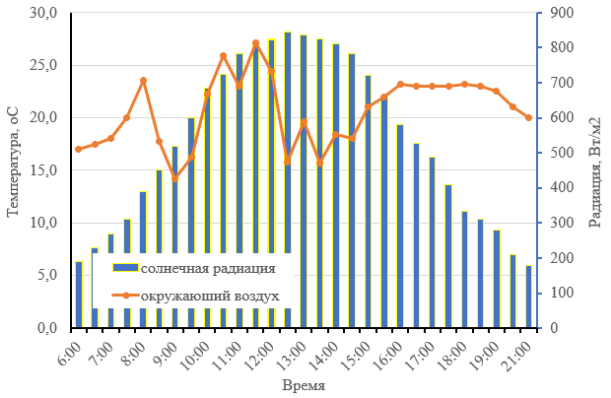


Рис. 8. Изменение в дневном цикле температуры окружающего воздуха, и интенсивности солнечной радиации 20.05.2023 г.

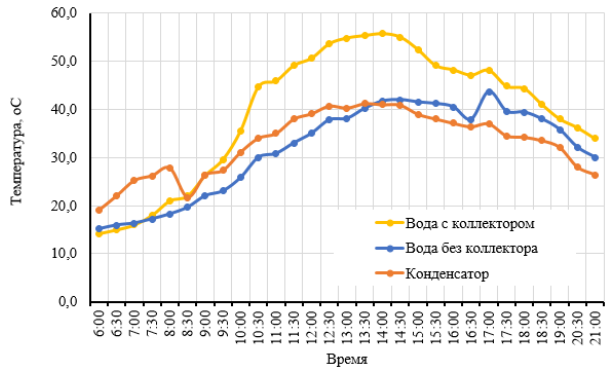


Рис. 9. Изменение в дневном цикле температур металлического конденсатора и соленой воды в бассейне 20.05.2023 г.

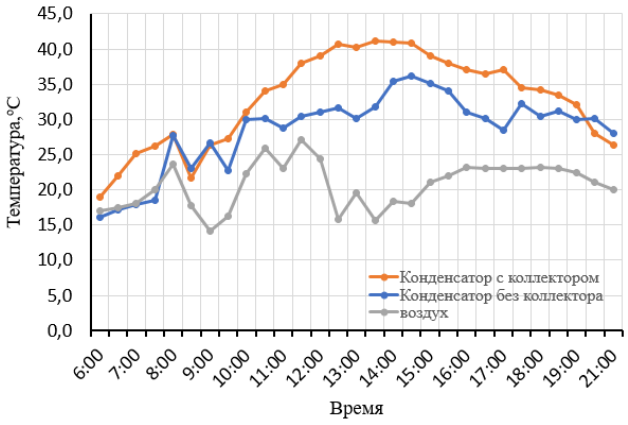


Рис. 10. Изменение в дневном цикле температур окружающего воздуха, металлического конденсатора с коллектором и без коллектора 20.05.2023 г.

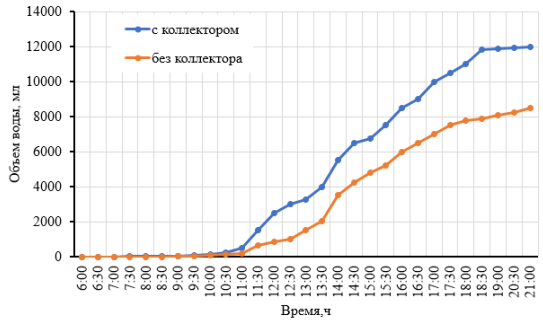


Рис. 11. Изменение в дневном цикле полученного объема пресной воды 20.05.2023 г.

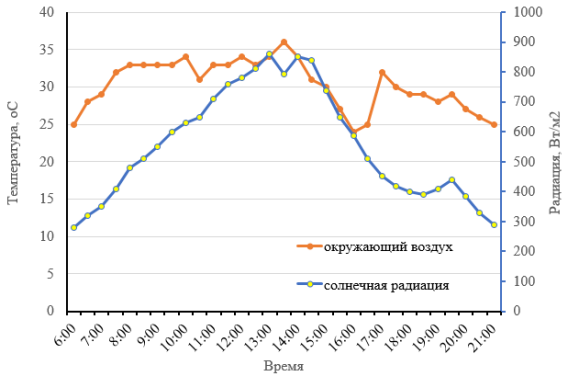


Рис. 12. Изменение в дневном цикле величин солнечной радиации и температуры окружающего воздуха 2.06.2023 г.

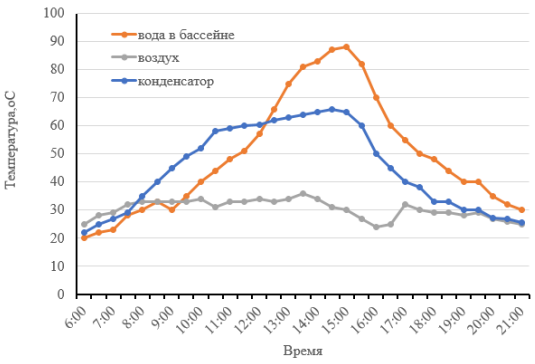


Рис. 13. Изменение в дневном цикле температур окружающего воздуха, металлического конденсатора и воды в бассейне 02.06.2023 г.

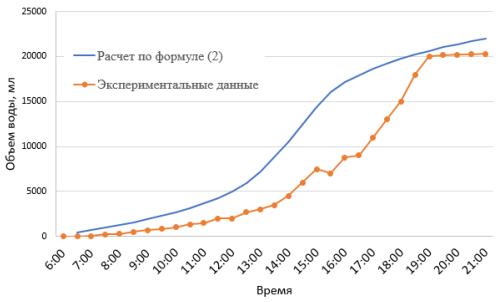


Рис. 14. Изменение в дневном цикле количества опресненной воды 02.06.2023 г.

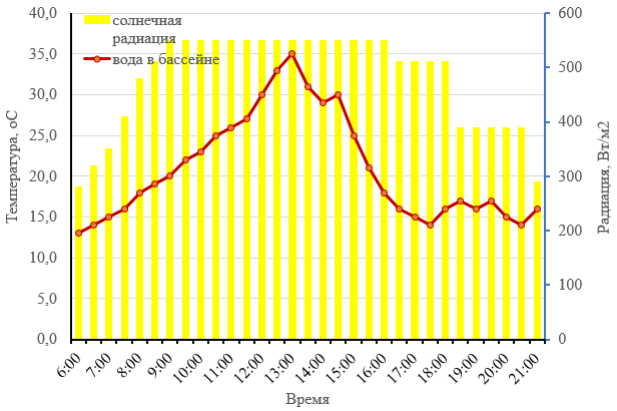


Рис. 15. Изменение в дневном цикле величин солнечной радиации и температуры окружающего воздуха 07.06.2023 г.

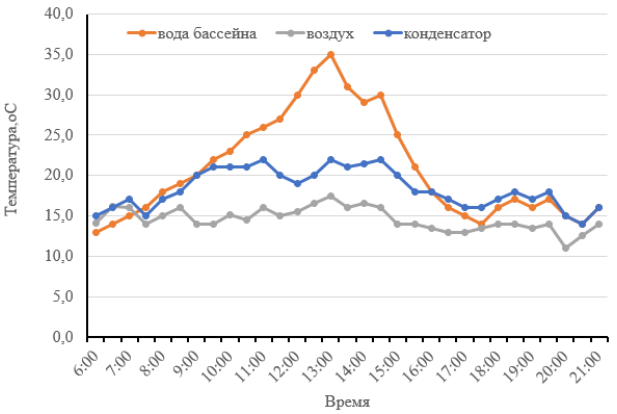


Рис. 16. Изменение в дневном цикле температур окружающего воздуха, металлического конденсатора и воды в бассейне 07.06.2023 г.

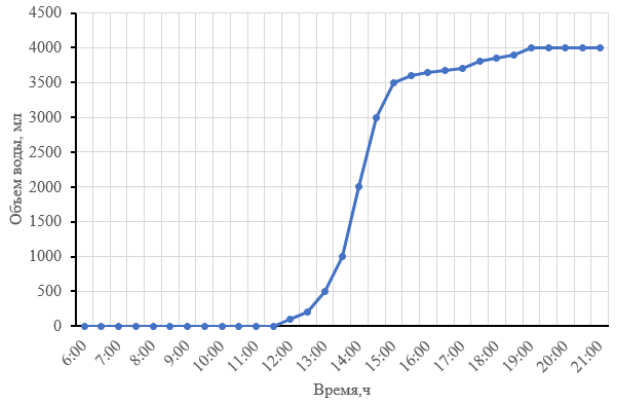


Рис. 17. Изменение в дневном цикле количества опресненной воды 07.06.2023 г.

Сравнение эффективности традиционного и 2- модификаций новых солнечных опреснителей

Обработка большого массива данных по определению опреснения традиционного (контрольного) и 2- модификаций новых солнечных опреснителей позволила получить обобщенный график сравнительной эффективности для условий высокой солнечной инсоляции (весна-лето) и температурах окружающей среды выше 20 ºС. Данные почасовой производительности традиционного солнечного опреснителя, опреснителя с встроенным конденсатором пара и опреснителя с встроенным конденсатором пара и дополнительным пародинамическим коллектором- подогревателем приведены на рисунке 18. На рисунке 19 приведена суточная производительность данных типов опреснительных установок. Солнечный дистиллятор был зафиксирован в южном направлении

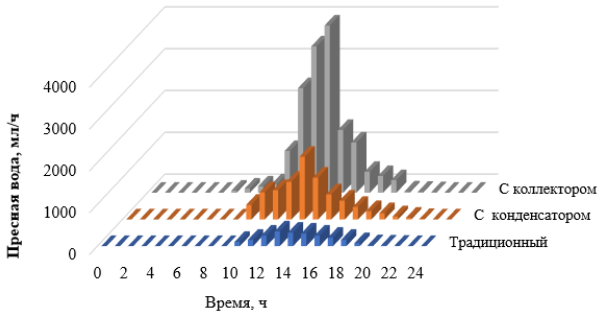


Рис. 18. Часовая производительность солнечных опреснителей.

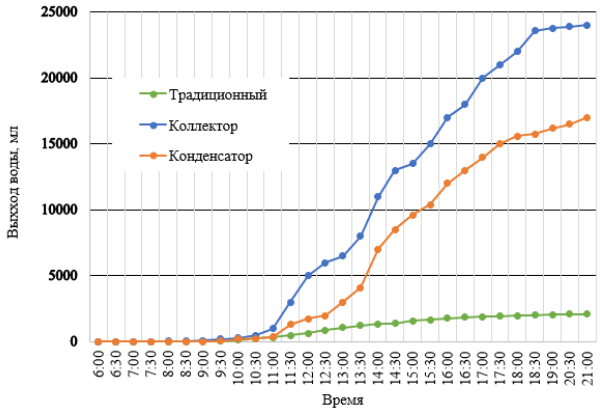


Рис. 19. Изменение производительности солнечных опреснителей в дневном цикле.

Обсуждение полученных результатов

В опреснителе традиционного типа солнечная энергия поступает к воде бассейна через светопрозрачное покрытие, одновременно являющимся и конденсатором пара. При конденсации вследствие стекания по ней пленок, струй и капель конденсата ее светопрропускание существенно снижается. Иллюстрация этого эффекта приведена на рисунке 20. Видно, что прозрачность покрытия утрачена полностью.

Рис. 20. Фотография светопрозрачного покрытия традиционного опреснителя.

Установка встроенного конденсатора пара (металлическая задняя стенка опреснителя) существенно уменьшает этот негативный эффект и является основным элементом для конденсации пара.

Установка дополнительного солнечного пародинамического контура, основанного на испарении и последующей конденсацией пара в теплообменнике бассейна соленой воды, приводит к радикальному повышению эффективности опреснения (см. рис.18,19). Однако данный процесс возникает только при превышении температуры кипения НКЖ (ацетона), находящегося в объеме греющего контура, которая имеет уровень 56,2 оС. При более низких температурах процесс имеет значительно более вялый характер (см. уравнение (1)), т.к. обусловлен только поверхностным испарением ацетона в узких трубках коллектора

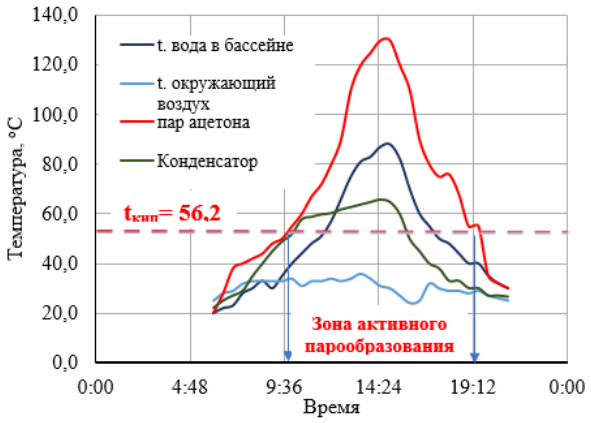


Рис. 21. Границы эффективной работы пародинамического контура солнечного подогрева бассейна.

Заключение

Выполненное экспериментальное исследование показало возможность значительного (до 10 раз) повышения эффективности системы солнечного опреснения воды.

Установлено, что использование встроенного в конструкцию конденсатора пара дает положительный эффект при всех регистрируемых уровнях солнечной инсоляции и температур окружающей среды.

Использование дополнительного пародинамического контура солнечного подогрева бассейна с низкокипящим теплоносителем дает значительный положительный эффект при достижении теплоносителем (ацетоном) температуры, превышающей требуемую для начала кипения.

Исследованная конструкция опреснителя будет наиболее эффективна в климатических условиях с высоким уровнем солнечной инсоляции и температуры окружающей среды.

Список литературы

1. G. N. Tiwari, H. N. Singh, and R. Tripathi, Present status of solar distillation, Sol. Energy, vol. 75, no. 5, pp. 367–373, 2003, doi: 10.1016/j.solener.2003.07.005.
2. A. D. Khawaji, I. K. Kutubkhanah, and J. M. Wie, Advances in seawater desalination technologies, Desalination, vol. 221, no. 1–3, pp. 47–69, 2008, doi: 10.1016/j.desal.2007.01.067.
3. L. García-Rodríguez, Seawater desalination driven by renewable energies: A review, Desalination, vol. 143, no. 2, pp. 103–113, 2002, doi: 10.1016/S0011-9164(02)00232-1.
4. F. Muhammad-Sukki et al., Solar photovoltaic in Malaysia: The way forward, Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 16, no. 7, pp. 5232–5244, 2012, doi: 10.1016/j.rser.2012.05.002.
5. REN21, Renewables 2016 Global Status Report. 2016.
6. M. Tyagunov, Distributed energysystem’s is the future of the world’s power industry, in 2017 2nd International Conference on the Applications of Information Technology in Developing Renewable Energy Processes & Systems (IT-DREPS), 2017, pp. 1–4.
7. N.T. Alwan, S.E.E. Shcheklein, O.M. Ali, Case Studies in Thermal Engineering Experimental investigation of modified solar still integrated with solar collector, Case Stud. Therm. Eng. 19 (2020) 100614.
8. N.T. Alwan, S. Shcheklein, O. Ali, Investigation of the coefficient of heat transfer and daily cumulative production in a single-slope solar distiller at different water depths, Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff. (2020) 1–18.
9. Alwan, N. T., Majeed, M. H., Shcheklein, S. E., Ali, O. M., & PraveenKumar, S. (2021). Experimental study of a tilt single slope solar still integrated with

aluminum condensate plate. Inventions, 6(4), 77.
10. Alwan N. T., Shcheklein S. E., Ali O. M. Experimental investigation of modified solar still integrated with solar collector //Case Studies in Thermal Engineering. – 2020. – Т. 19. – С. 100614.
11. Alwan, N. T., Shcheklein, S. E., & Ali, O. M. (2021). Experimental analysis of thermal performance for flat plate solar water collector in the climate conditions of Yekaterinburg, Russia. Materials Today: Proceedings, 42, 2076-2083
12. N.T. Alwan, S.E. Shcheklein, O.M. Ali, A practical study of a rectangular basin solar distillation with single slope using paraffin wax (PCM) cells, Int. J. Energy Convers. 7 (2019) 162–170.
13. N.T. Alwan, S.E. Shcheklein, O.M. Ali, Productivity of enhanced solar still under various environmental conditions in Yekaterinburg city / Russia, in: IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., Institute of Physics Publishing, 2020.
14. N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, and O. M. Ali, Evaluation of the productivity for new design single slope solar still at different saltwater depth, J. Phys. Conf. Ser., vol. 1706, no. 1, 2020.
15. N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, and O. M. Ali, Experimental investigation of solar distillation system integrated with photoelectric diffusion-absorption refrigerator (DAR), vol. 2290, p. 50023, 2020.
16. T. A. Naseer, S. E. Shcheklein, and O. M. Ali, Effect of Hollow Drum Rotational Speed Variation on the Productivity of Modified Solar Still According to Yekaterinburg City, Russia, Appl. Sol. Energy (English Transl. Geliotekhnika), vol. 56, no. 4, pp. 276–283, 2020.
17. N.T. Alwan, S.E. Shcheklein, O.M. Ali, Experimental investigations of single-slope solar still integrated with a hollow rotating cylinder, in: IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., Institute of Physics Publishing, 2020. .
18. N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, and O. M. Ali, Experimental Investigation of Modified Solar Still Productivity under Variable Climatic Conditions, Int. J. Des. Nat. Ecodynamics, vol. 15, no. 1, pp. 57–64, 2020.
19. Марков И.И. О скорости испарения жидкости с её свободной поверхности и с поверхности нагрева / Марков И.И., Хащенко А.А., Вечер О.В.// МО РФ, СКГТУ, Северо-кавказское отделение технологических наук РФ. — Сб. научн. тр. — Вып. 6. — Ставрополь. — 2002 — С. 48—55.
20. Марков И.И. О механизме парообразования на границе раздела двух сред / Марков И.И., Хащенко А.А., Вечер О.В.// МО РФ, СКГТУ, Северо-кавказское отделение технологических наук РФ. — Сб. научн. тр. — серия «Физико-химическая» — Ставрополь. — 2004 — С. 73—7
21. Воробьев И.Н. Экспериментальные исследования по определению значений скорости испарения и кипения жидкостей// Молодежный научный форум: Естественные и медицинские науки: электр. сб. ст. по мат. II междунар. студ. науч.-практ. конф. № 2(2). URL: https://nauchforum.ru/archive/MNF_nature/2.pdf (дата обращения: 28.03.2019).

References

1. G. N. Tiwari, H. N. Singh, and R. Tripathi, Present status of solar distillation, Sol. Energy, vol. 75, no. 5, pp. 367–373, 2003, doi: 10.1016/j.solener.2003.07.005.
2. D. Khawaji, I. K. Kutubkhanah, and J. M. Wie, Advances in seawater desalination technologies, Desalination, vol. 221, no. 1–3, pp. 47–69, 2008, doi: 10.1016/j.desal.2007.01.067.
3. L. García-Rodríguez, Seawater desalination driven by renewable energies: A review, Desalination, vol. 143, no. 2, pp. 103–113, 2002, doi: 10.1016/S0011-9164(02)00232-1.
4. F. Muhammad-Sukki et al., Solar photovoltaic in Malaysia: The way forward, Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 16, no. 7, pp. 5232–5244, 2012, doi: 10.1016/j.rser.2012.05.002.
5. REN21, Renewables 2016 Global Status Report. 2016.
6. M. Tyagunov, Distributed energysystem's is the future of the world's power industry, in 2017 2nd International Conference on the Applications of Information Technology in Developing Renewable En-ergy Processes & Systems (IT-DREPS), 2017, pp. 1–4.
7. N.T. Alwan, S.E.E. Shcheklein, O.M. Ali, Case Stud-ies in Thermal Engineering Experimental investiga-tion of modified solar still integrated with solar col-lector, Case Stud. Therm. Eng. 19 (2020) 100614.
8. N.T. Alwan, S. Shcheklein, O. Ali, Investigation of the coefficient of heat transfer and daily cumulative production in a single-slope solar distiller at different water depths, Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff. (2020) 1–18.
9. Alwan, N. T., Majeed, M. H., Shcheklein, S. E., Ali, O. M., & PraveenKumar, S. (2021). Experimental study of a tilt single slope solar still integrated with alumi-num condensate plate. Inventions, 6(4), 77.
10. Alwan N. T., Shcheklein S. E., Ali O. M. Experimental investigation of modified solar still integrated with solar collector //Case Studies in Thermal Engineering. – 2020. – Т. 19. – С. 100614.
11. Alwan, N. T., Shcheklein, S. E., & Ali, O. M. (2021). Experimental analysis of thermal performance for flat plate solar water collector in the climate condi-tions of Yekaterinburg, Russia. Materials Today: Proceedings, 42, 2076-2083
12. N.T. Alwan, S.E. Shcheklein, O.M. Ali, A practical study of a rectangular basin solar distillation with single slope using paraffin wax (PCM) cells, Int. J. Energy Convers. 7 (2019) 162–170.
13. N.T. Alwan, S.E. Shcheklein, O.M. Ali, Productivity of enhanced solar still under various environmental conditions in Yekaterinburg city / Russia, in: IOP

Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., Institute of Physics Publishing, 2020.
14. N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, and O. M. Ali, Evalua-tion of the productivity for new design single slope solar still at different saltwater depth, J. Phys. Conf. Ser., vol. 1706, no. 1, 2020.
15. N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, and O. M. Ali, Experi-mental investigation of solar distillation system inte-grated with photoelectric diffusion-absorption refrig-erator (DAR), vol. 2290, p. 50023, 2020.
16. T. A. Naseer, S. E. Shcheklein, and O. M. Ali, Effect of Hollow Drum Rotational Speed Variation on the Productivity of Modified Solar Still According to Ye-katerinburg City, Russia, Appl. Sol. Energy (English Transl. Geliotekhnika), vol. 56, no. 4, pp. 276–283, 2020.
17. N.T. Alwan, S.E. Shcheklein, O.M. Ali, Experimental investigations of single-slope solar still integrated with a hollow rotating cylinder, in: IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., Institute of Physics Publishing, 2020. .
18. N. T. Alwan, S. E. Shcheklein, and O. M. Ali, Experi-mental Investigation of Modified Solar Still Produc-tivity under Variable Climatic Conditions, Int. J. Des. Nat. Ecodynamics, vol. 15, no. 1, pp. 57–64, 2020.
19. 19.Markov I.I. On the rate of evaporation of a liquid from its free surface and from the heating surface / Markov I.I., Khashchenko A.A., Vecher O.V. // MO RF, SKSTU, North Caucasus Department of Technological Sciences of the Russian Federation. — Sat. scientific tr. — Issue 6. — Stavropol. — 2002 — pp. 48-55.
20. Markov I.I. On the mechanism of vapor formation at the interface of two media / Markov I.I., Khashchenko A.A., Vecher O.V.// MO RF, SKSTU, North Caucasus Department of Technological Sciences of the Russian Federation. — Collection of scientific tr. — series "Physico-chemical" — Stavropol. - 2004 — pp. 73-7
21. Vorobyov I.N. Experimental studies on determining the values of the evaporation and boiling rates of liquids// Youth scientific forum: Natural and medical sciences: electr. collection of articles on mat. II International student scientific and practical conference No. 2(2). URL: https://nauchforum.ru/archive/MNF_nature/2.pdf (date of application: 03/28/2019).

УДК 620:92

Влияние выработки генерации СЭС на выбор состава включенного генерирующего оборудования

Плетнева Е.В., Гурьев В.В., Кувшинов В.В., Косий А.Г., Коломийченко В.П.
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, Salsk161@rambler.ru
Черноморское высшее военно-морское ордена Красной Звезды училище им. П.С. Нахимова

Статья поступила 26.04.2024 г.; после доработки 29.04.2024 г.

Аннотация

В работе приведены результаты исследований установившихся режимов работы солнечных фотоэлектрических станций. При использовании полученных данных возможно значительно поднять эффективность использования солнечных электрогенерирующих установок и значительно увеличить срок службы дополнительного оборудования.

Ключевые слова: энергетическая система, возобновляемые источники энергии, солнечные электростанции, установившиеся режимы работы.

Nfluence of SES generation production on the choice of the composition of included generating equipment

Pletneva E.V., Guryev V.V., Kuvshinov V.V., Kosii A.G., Kolomiychenko V.P.
Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, Salsk161@rambler.ru
Black Sea Higher Naval Order of the Red Star School named after. P.S. Nakhimova

Received 26.04.2024 y.; received in final form 29.04.2024

Annotation

The paper presents the results of studies of steady-state operating modes of solar photovoltaic stations. Using the obtained data, it is possible to significantly increase the efficiency of using solar power generating installations and significantly increase the service life of additional equipment.

Keywords: energy system, renewable energy sources, solar power plants, steady state operation.

Введение

Для осуществления эффективного управления энергосистемой необходимо заблаговременно осуществить оптимальный выбор генерирующего оборудования, которое обеспечит оптимальный баланс производства и потребления электрической мощности во всей энергосистеме. Именно для выполнения вышеизложенной цели существует процедура выбора состава включенного генерирующего оборудования (ВСВГО). ВСВГО позволяет оптимизировать состав генерирующего оборудования в энергосистеме с учетом всех существующих системных ограничений, обеспечить использование наиболее эффективной генерации на предстоящие сутки Х-2, Х-3, Х-4 [1-3]. Основной оптимизационной задачей электроэнергетических систем, как является определение экономически выгодного распределения активных мощностей между генераторами [4-6]. В связи с чем в экономическом плане для электростанций здесь заложена стоимость включения объектов генерации в работу, учитывающая затраты на их запуск из холодного состоя-

ния, и, соответственно, на их остановку. По состоянию на сегодняшний день информацию об этих затратах поставщики сообщают коммерческому оператору (КО) в четко регламентированном виде в форме ценовых заявок на пуск и останов соответствующего генерирующего оборудования.

При изучении зарубежного опыта по формированию перечня включенной генерации были выявлены основные отличия от методики, используемые в России [7-9]. Зарубежные компании уделяют большее внимание энергоэффективности и экологической безопасности, а также чаще всего придерживаются принципа диверсификации и выбирают разнообразные источники генерации энергии, такие как солнечная, ветровая, гидроэнергетика и другие. Они стремятся создать сбалансированный и устойчивый энергетический «микс», который обеспечит надежное снабжение энергией в любых условиях. Российский опыт выбора состава включенного генерирующего оборудования имеет свои особенности, такие как предпочтение традиционных видов энергетики, таких как уголь, нефть и газ, а также использование ядерной энергетики, при этом достигая экономической эффективности и безопасности энергоснабжения. Однако в последние годы Россия также начала активно учитывать влияние возобновляемых источников энергии, такие как ветровая и солнечная энергия [9-11].

Постановка задачи

Описание действующей методики ВСВГО

Сбор и подготовка информации о составе и параметрах генерирующего оборудования на всех этапах планирования осуществляется с использованием программного комплекса системного оператора. При этом в ситуациях включения дополнительного генерирующего оборудования график набора нагрузки с момента включения в сеть до набора максимальной располагаемой мощности принимается на основании графика, заявленного участником, или типового, переданного участником ранее.

Уведомления о составе и параметрах генерирующего оборудования формируются в соответствии с открытыми, разрешенным или находящимся на рассмотрении диспетчерским заявкам.

На уровне региональных диспетчерских центров осуществляется мониторинг и проверка соответствия представленных данных состоянию открытых и разрешенных диспетчерских заявок.

Необходимая информация для участия для учета в процедуре ВСВГО

- Тип турбины (К, Т, ПТ, Р и т.п.).
- Продолжительность набора мощности после включения в сеть до выхода на полный регулировочный диапазон (далее – время набора мощности).
- Минимальное время нахождения во включенном состоянии после включения в сеть по оптимизации. Включает время набора мощности и заявленное участником оптового рынка минимальное количество часов во включенном состоянии после выхода на диапазон регулирования.
- Минимальное время нахождения в отключенном состоянии после отключения от сети по оптимизации.
- Число часов периода, в пределах которого рассчитывается индивидуальный коэффициент, используемый для предотвращения внутрисуточных перепусков оборудования.
- Для ЕГО, состояние которых в связи с особенностями режима их работы не подлежит изменению по результатам оптимизационного расчета ВСВГО и определяется заданным участником оптового рынка режимом включений/отключений, должен быть указан признак невозможности участия в оптимизационном расчете ВСВГО.
- Для генерирующего оборудования, относящегося к объектам генерации ВИЭ (солнце/ветер), на каждый календарный месяц должен быть сформирован график минимальной обеспеченной нагрузки.

Формирование информации о вынужденных состояниях генерирующего оборудования

Формирование данных о ЕГО, находящихся в вынужденных состояниях, производится СО на основании уведомлений о составе и параметрах генерирующего оборудования, поданных участниками оптового рынка СО, иной имеющейся в распоряжении СО информации, в том числе:

- С учетом перечня ГО, состояние которых в связи с особенностями их эксплуатационных характеристик не может быть изменено по результатам оптимизационного расчета ВСВГО и изменяется на основании результатов дополнительных расчетов ВСВГО (сезонно-оптимизируемые ЕГО);
- С учетом перечная условно-оптимизируемых ЕГО, к которым относится генерирующее оборудование мобильных (передвижных) генерирующих объектов, учитываемое в составе включенного только при условии,

что без их включенного состояния не обеспечивается возможность соблюдения ограничений при решении оптимизационной задачи ВСВГО.

К неоптимизируемым ЕГО относится:

- генерирующее оборудование АЭС и ГЭС;
- генерирующее оборудование, относящееся к ГТП генерации ВИЭ (солнце/ветер);
- генерирующее оборудование, режим работы которого зависит от наличия теплового потребителя.

Действующая модель учет ВИЭ в расчетной модели ВСВГО

Для субъектов Российской Федерации, на территории которых отсутствуют ТЭС и ГЭС или доля установленной мощности объектов генерации ВИЭ (ветер) на начало календарного месяца *m* составляет более 5 % от общей установленной мощности генерирующего оборудования ТЭС и ГЭС, расположенных на территории этого субъекта Российской Федерации, величина возможной нагрузки объектов ВИЭ (ветер) $Р_{G,m}$ на месяц *m* определяется по следующему алгоритму:

1. Возможная нагрузка объектов ВИЭ (ветер), учитываемая при определении величины объема резерва третичного регулирования по каждому субъекту Российской Федерации в месяце *m*, считается как среднее значение фактической нагрузки объектов ВИЭ (ветер) в аналогичном месяце предыдущего года, умноженное на соответствующий коэффициент прироста установленной мощности объектов генерации ВИЭ (ветер) в субъекте Российской Федерации:

$$Р_{G,m} = \text{Кизм_уст}_G \frac{\sum_1^H \text{Рфакт}_{G,h}}{H},$$

где $Р_{G,m,}$ – возможное значение нагрузки объектов ВИЭ (ветер) в месяце *m*, расположенных на территории данного субъекта РФ;

Кизм_уст_G – коэффициент изменения установленной мощности объектов генерации ВИЭ, равный отношению суммарной установленной мощности объектов ВИЭ (ветер) на начало текущего месяца к суммарной установленной мощности объектов ВИЭ (ветер) на начало аналогичного месяца предыдущего календарного года в данном субъекте Российской Федерации;

$\text{Рфакт}_{G,h}$ – суммарная фактическая нагрузка объектов ВИЭ (ветер), расположенных на территории субъекта РФ, в часе *h* аналогичного месяца предыдущего года;

H – количество часов в аналогичном месяце предыдущего года.

В отношении солнечных электростанций данная методика не реализуема, т.к. используется для расчета резервов мощности на разгрузку тепловых электростанций в ночное время суток.

Выработка СЭС учитывается при планировании ВСВГО как минимальная обеспеченная нагрузка на предстоящий период. При этом минимально обеспеченная нагрузка определяется на основании данных о фактической нагрузке объектов генерации ВИЭ, сформированных на основании данных коммерческого учета за аналогичный месяц предыдущего календарного года.

Результаты исследования

Усовершенствование действующей модели учета СЭС в процедуре ВСВГО

На сегодняшний день генерация ВИЭ оказывает существенное влияние на энергосистемы. В связи с чем стоит изучать влияние ВИЭ на процедуру ВСВГО более детально.

Поскольку в действующей модели учитывается выработка СЭС как минимальная обеспеченная нагрузка, то для повышения оптимальности решения задачи в процедуре ВСВГО следует обратить внимание на изменение подхода по учету минимально обеспеченной нагрузки СЭС.

Для выполнения расчетов и проверки методики была выбрана энергосистема Республики Крым и г. Севастополя. где доля ВИЭ составляет 18%, что существенно оказывает влияние на режимы работы энергосистемы и загрузку ТЭС.

В данной работе проведены расчеты, где исходные данные для учета в процедуре ВСВГО по СЭС были приняты как прогнозная выработка СЭС.

Исходные данные задачи:

Потребление энергосистемы Республики Крым и г. Севастополя принято за 15.08.2023 в пределах от 750 до 1000 МВт;

Сальдо-переток принят как усредненное значение МДП по межсистемным линиям за текущий месяц;

Генерация:

Таврическая ТЭС - 420 МВт в т.ч.:
Блок 1 - 210 МВт,
Блок 2 - 210 МВт,
Балаклавская ТЭС - 400 МВт, в т.ч.:
Блок 1 - 200 МВт,
Блок 2 - 200 МВт,

Сакская ТЭЦ - 110 МВт, в т.ч.:
ТГ - 4 - 22 МВт,
ТГ - 5 - 22 МВт,
ТГ - 6 - 22 МВт,

ТГ - 7 - 22 МВт,
ТГ - 8 - 11 МВт,
ТГ - 9 - 11 МВт,
Камыш-Бурунская ТЭЦ - 5 МВт.

Исходные данные по генерирующим мощностям представлены с учетом ограничений мощности и ремонтов генерирующего оборудования электростанций.

Исходные данные минимально обеспеченной нагрузке на 15.08.2023 составляет по СЭС - 10 МВт, по ВЭС - 15 МВт.

Прогнозные значения нагрузки на 15 08.2023 составляет по СЭС от 30 до 120 МВт, по ВЭС от 20 до 30 МВт.

Для расчетов показаны дневные часы в связи с максимальной выработкой СЭС. В таблицах 1 и 2 приведены результаты расчетов.

Таблица 1. *Результаты расчета ВСВГО с учетом минимально обеспеченной нагрузки СЭС*

параметры	**8:00**	**9:00**	**10:00**	**11:00**	**12:00**	**13:00**	**14:00**	**15:00**	**16:00**	**17:00**	**18:00**	**19:00**
Потребление энергосистемы	900	950	950	950	900	900	800	800	750	700	950	1000
Сальдо-переток	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Генерация в т.ч.	965	965	965	965	965	965	965	965	965	965	965	965
Таврическая ТЭС	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420
Балаклавская ТЭС	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Сакская ТЭЦ	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Камыш-Бурунская ТЭЦ	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
ВИЭ СЭС мин. Обеспеч. Нагр.	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
ВИЭ ВЭС мин. Обеспеч. Нагр.	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Баланс мощности (- дефицит, + профицит)	65	15	15	15	65	65	165	165	215	265	15	-35

Таблица 2. *Результаты расчета ВСВГО с учетом прогнозных значений нагрузки СЭС.*

параметры	**8:00**	**9:00**	**10:00**	**11:00**	**12:00**	**13:00**	**14:00**	**15:00**	**16:00**	**17:00**	**18:00**	**19:00**
Потребление энергосистемы	900	950	950	950	900	900	800	800	750	700	950	1000
Сальдо-переток	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Генерация в т.ч.	998	1010	1025	1025	1045	1085	1080	1075	1060	1060	1010	1000
Таврическая ТЭС	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420
Балаклавская ТЭС	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Сакская ТЭЦ	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Камыш-Бурунская ТЭЦ	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
ВИЭ СЭС прогнозная нагрузка	35	45	55	60	80	120	120	110	100	100	50	30
ВИЭ ВЭС прогнозная нагрузка.	23	25	30	25	25	25	20	25	20	20	20	30
Баланс мощности (- дефицит, + профицит)	98	60	75	75	145	185	280	275	310	360	60	0

Результаты расчета показали, что полученный профицит в дневные часы до 60 МВт позволяет разгрузить (вывести в холодный резерв) тепловую генерацию 2 машины по сакской ТЭЦ по 22 МВт каждая. Что влечет за собой экономию моторесурсов тепловой генерации, уменьшение выбросов в атмосферу за счет использования генерации СЭС и как следствие удешевление электроэнергии для гарантирующего поставщика.

Выводы

Предложенная методика использования прогнозных значений СЭС в процедуре ВСВГО показала свою эффективность, но с точки зрения надежность, когда происходит резкое изменение метеофакторов и резкой разгрузки СИЭ генерации, данная методика является не эффективной ввиду отсутствия в энергосистеме высокоманевренной генерации способной восполнить недостаток генерации в считанные минуты в случае разгрузки ВИЭ. В связи с чем нельзя всецело полагаться на весь прогнозируемый объем выработки СЭС при процедуре ВСВГО в энергосистеме Республики Крым и г. Севастополя.

Возможно применение методики использования прогнозных значений СЭС к иным энергосистемам, в которых имеются высокоманевренные генерирующие мощности, но это требует более глубокого и детального анализа относительно каждой энергосистемы с учетом их особенностей.

Анализ существующих методов оптимизации в области электроэнергетики показал, что для решения задач оптимального управления электроэнергетическими системами существует большое число подходов, достаточно проработанных и внедренных в условия действующих объектов.

Список литературы

1. Веников В.А., Строев В.А., Виноградов А.А., Идельчик В.И. Расчет запаса статической устойчивости электроэнергетической системы // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1984. № 3. – с. 56-63.
2. Tawora C.J., Smith O.J.M. Characterization of Equilibrium & Stability in Power Systems. – “IEEE Trans. on Power Appar. & Syst.” Vol. PAS – 91, 1972, N 3, pp. 1141-1153.
3. Виноградов А.А., Идельчик В.И., Лазебник А.И. Расчетное исследование области существования решения уравнений установившегося режима и соотношения между пределами по существованию и статической устойчивости. –Изд-во Иркутского политехнич. ин-та, 1975, с. 22-49.
4. Гук О.М. и др. Исследование возможности применения числового значения определителя матрицы Якоби для анализа статической устойчивости энергосистем. Изд-во СПб гос. политехн. универ., Проблемы электроэнергетики, № 3-4, 2012, с. 55-59.
5. Layth Mohammed Abdali, Haider Ahmed Mohmmed and Husam Abdulhusein Wahhab. [A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter]. J. of Engineering and Applied Sciences, 2019, no. 14, pp. 3666-3673. doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673.
6. Abdali A.L.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Hybrid Power Generation by Using Solar and Wind Energy. Energy, 2, 3.
7. Abdali Layth & Al-Rufaee Faez. Simulation of a Model Photovoltaic power system to generate electricity, 2019, pp. 234-240.
8. Al-Rufaee Faez & Abdali Layth. Renewable energy strategies to overcome power shortage in Iraq, 2019, pp. 244-249.
9. Ahmed Mohmmed H., Anssari M.O.H., Abdali L.M. [Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell)]. J. Eng. Appl. Sci., 2019, no. 14, pp. 4414-4418. doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418.
10. Гурьев В. В., Кувшинов В. В., Якимович Б. А. Перспективы развития возобновляемых источников энергии на территории Крымского полуострова // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 4. С. 116–123. DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-116-123.
11. Кузнецов П. Н., Чебоксаров В. В., Якимович Б. А. Гибридные ветро-солнечные энергетические установки // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 1. С. 45–53. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-1-45-53.

References

1. Venikov V.A., Stroyev V.A., Vinogradov A.A., Idelchik V.I. Calculation of the stock of static stability of the electric power system // Izvestiya AN SSSR. Energy and transport. - 1984. No. 3. - p. 56-63.
2. Tawora C.J., Smith O.J.M. Characterization of Equilibrium & Stability in Power Systems. - “IEEE Trans. on Power Appar. & Syst. " Vol. PAS-91, 1972, No. 3, pp. 1141-1153.
3. Vinogradov A.A., Idelchik V.I., Lazebnik A.I. Computational study of the domain of existence of the solution of the steady-state equations and the relationship between the limits of existence and static stability. - Irkutsk Polytechnic Publishing House inta, 1975, p. 22-49.
4. Guk OM et al. Study of the possibility of using the numerical value of the determinant of the Jacobi matrix for the analysis of the static stability of power systems. Publishing house of St. Petersburg state. polytechnic Univ., Problems of the electric power industry, No. 3-4, 2012, p. 55-59.
5. Layth Mohammed Abdali, Haider Ahmed Mohmmed and Husam Abdulhusein Wahhab. A Novel Design of 7-Level Diode Clamped Inverter. J. of Engineering and Applied Sciences, 2019, no. 14, pp. 3666-3673. doi.org/10.36478/jeasci.2019.3666.3673.
6. Abdali A.L.M., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Hybrid Power Generation by Using Solar and Wind Energy. Energy, 2, 3.
7. Abdali Layth & Al-RufaeeFaez. Simulation of a

Model Photovoltaic power system to generate electricity. 2019, pp. 234-240.17. Abdali L.M., Ahmed Mohmmed H., Anssari M.O.H. Modeling and simulation of tidal energy. J. Eng. Appl. Sci., 2019, no. 14, pp. 3698-3706.doi.org/10.3923/jeasci.2019.3698.3706.

8. Al-Rufaee Faez & Abdali Layth. Renewable energy strategies to overcome power shortage in Iraq. 2019, pp. 244-249.
9. Ahmed Mohmmed H., Anssari M.O.H., Abdali L.M. Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell). J. Eng. Appl. Sci., 2019, no. 14, pp. 4414-4418. doi.org/10.3923/jeasci.2019.4414.4418.
10. Guryev V.V., Kuvshinov V.V., Yakimovich B.A. [Prospects for the Development of Renewable Energy in the Crimean Peninsula]. Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova, 2019, vol. 22, no. 4, pp. 116-123 (in Russ.)
11. Kuznetsov P.N., Cheboxarov V.V., Yakimovich B.A. [Hybrid Wind-Solar Power Plants]. Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova, 2020, vol. 23, no. 1, pp. 45-53 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2020-1-45-53.

УДК 620.92

Декарбонизация энергетического сектора эксперты об экологических аспектах развития энергетики

В.Л. Червинский[1], Б.А. Якимович[2], О.А. Любчик[3], А.С. Жильцов[4], А.Г. Косий[5]
[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия. yakimovich52@gmail.com [2] , bo_zemlya_zdoroviya@mail.ru[3] ,
[2] Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 4, Москва, 105005, Россия, [1]kuvshinov.vladimir@gmail.com

Статья поступила .22.05.2024 г.; после доработки 23.05.2024 г.

Аннотация

Семинар был организован кафедрой ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» факультета технологий управления и гуманитаризации при активной поддержке ООН по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО), Национальной комиссии Республики Беларусь по делам ЮНЕСКО и Министерства образования. Соорганизатором выступил Институт энергетики НАН Беларуси. Республика Беларусь ратифицировала Парижское соглашение об изменении климата, регулирующее меры по снижению содержания углекислого газа в атмосфере. Декарбонизация энергетического сектора как одного из лидеров по выбросам парниковых газов в стране позволит не только сдерживать темпы роста температуры окружающей среды, но и избежать значительных экономических потерь.

Ключевые слова: инновационные технологии, технологическое развитие, альтернативная и возобновляемая энергетика, солнечная энергия, энергосбережение, подземные воды, возобновляемая энергетика, геотермальной теплоэлектростанции

Decarbonization of the energy sector experts on the environmental aspects of energy development

V.L. Chervinsky[1], B.A. Yakimovich[2], O.A. Lyubchik[3], A.S. Zhiltsov[4], A.G. Kosiy[5]
[1]Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
[1]kuvshinov.vladimir@gmail.com [2]littie@mail.ru, [3]dante477@mail.ru, [4]ZiganobI@mail.ru,
[2] Bauman Moscow State Technical University, 5 2nd Baumanskaya str., p. 4,
Moscow, 105005, Russia [5]Stacenko@mail.ru

Received 22.05.2024 y.; received in final form 23.05.2024 y.

Abstract

The seminar was organized by the UNESCO Department of Energy Conservation and Renewable Energy Sources of the Faculty of Management and Humanitarization Technologies with the active support of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), the National Commission of the Republic of Belarus for UNESCO and the Ministry of Education. The event was held on the basis of the BNTU Polytechnic Science and Technology Park. The Republic of Belarus has ratified the Paris Agreement on Climate Change, which regulates measures to reduce carbon dioxide in the atmosphere. Decarbonization of the energy sector as one of the leaders in greenhouse gas emissions in the country will not only help to curb the rate of increase in ambient temperature, but also avoid significant economic losses

Keywords: innovative technologies, technological development, alternative and renewable energy, solar energy, energy conservation, groundwater, renewable energy, geothermal thermal power plants

Введение

Основные задачи, рассматриваемые на семинаре международными экспертами: выявление

ключевых направлений достижения углеродной нейтральности, формулировка предложений по реализации национальной стратегии по декарбонизации энергетического сектора Республики Беларусь, определение потенциала снижения выбросов парниковых газов стационарными энергоисточниками в нашей стране, в том числе за счет оптимизации режимов их работы, увеличения доли возобновляемых источников энергии [1-3], комплексных мероприятий по энергосбережению, прогрессу в достижении ЦУР 4 «Обеспечение всеохватного и справедливого качественного образования и поощрение возможности обучения на протяжении всей жизни для всех» и ЦУР 7 «Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех». По результатам проведения семинара ведется разработка предложений для национальной стратегии по декарбонизации энергетического сектора Беларуси с учетом межрегиональных знаний и положительного опыта по сокращению выбросов парниковых газов стационарными и мобильными энергоисточниками (рис. 1).

Рис. 1. Семинар «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии»

Международный семинар по экологическим аспектам развития энергетики включал в себя круглые столы и студенческую сессию в виде стендовых докладов. Первый день работы семинара был посвящен вопросам энергосбережения и энергоэффективных технологий, второй день раскрыл тематику низко- и без углеродной энергетики и использования возобновляемых источников энергии, завершил работу семинара третий день, наполненный обсуждением вопросов воздействия энергетики на окружающую среду.

Открытие семинара приветствовали проректор по учебной работе БНТУ, д.э.н. К.В. Якушенко и старший советник управления глобальной политики и гуманитарного сотрудничества главного управления многосторонней дипломатии МИДа Республики Беларусь, ответственный секретарь Национальной комиссии Республики Беларусь по делам ЮНЕСКО Н.С. Счаснович (рис. 2).

Рис. 2. Выступление на сенинаре «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии»

Актуальность темы

Актуальность проведения семинара подчеркнули в своих выступлениях декан факультета технологий управления и гуманитаризации Г.М. Бровка и заведующий кафедрой ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» В.Л. Червинский. С пленарным докладом на тему «Использование ВИЭ и местных видов топлива в Республике Беларусь как существенный фактор декарбонизации» выступил Д.Н. Крутов, заместитель начальника управления – начальник ПТО Минского городского управления по надзору за рациональным использованием ТЭР. В своем выступлении докладчик отметил, что в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительной отрасли создание мощностей по производству топлива из твердых коммунальных отходов (RDF-топлива) и их дальнейшее использование на энергоисточниках позволит заместить порядка 102,5 тыс. т у.т. импортируемого топлива, что эквивалентно 13,4 млн долл. США.

В сельском хозяйстве развитие переработки отходов животноводства путем строительства локальных биогазовых комплексов в организациях, занимающихся разведением крупного рогатого скота, свиней и птицы, и строительство энергоисточников для сжигания отходов сельскохозяйственной деятельности позволит заместить порядка 6,5 тыс. т у.т. импортируемого топлива, что эквивалентно 0,8 млн долл. США. В деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной отрасли строительство энергоисточников для сжигания отходов деревообработки (коры, опилок, неформатной щепы) позволит заместить порядка 30 тыс. т у.т. импортируемого топлива, что эквивалентно 3,9 млн долл. США. Что касается возобновляемой энергетики, то в настоящее

время, как известно, в республике функционируют 84 фотоэлектрических станции, 54 гидроэлектростанции, 108 ветроэнергетических установок, 31 биогазовый комплекс и 11 мини-ТЭЦ. Показатель энергоемкости ВВП для Республики Беларусь по данным 2020 года составлял 0,141 т н. э./тыс. долл. США, что близко к показателям Финляндии (0,13 т н. э./тыс. долл. США).

В работе семинара приняли участие как белорусские эксперты из Белорусского национального технического университета, Института энергетики Национальной академии наук Беларуси, Департамента по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, Международного государственного экологического института им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета, так и зарубежные ученые из Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Самаркандского государственного архитектурно-строительного института, Севастопольского государственного университета, Российского университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы.

Цели и задачи исследования

На круглом столе по тематике «Энергосбережение и энергоэффективные технологии как направление стратегии декарбонизации» был заслушан и обсужден доклад Т.Г. Зориной, заведующего сектором «Экономика энергетики» Института энергетики Национальной академии наук Беларуси, на тему «Влияние политики в области энергосбережения на экономические показатели развития Республики Беларусь и социально-экономическое положение населения». Докладчик отметила, что в Республике Беларусь в рамках национальных планов и стратегий, государственных и республиканских программ, актов законодательства, нормативных и правовых документов формируется и реализуется целенаправленная политика по развитию «зеленой» экономики и низкоуглеводному развитию в соответствии с наилучшей достигнутой практикой и взятыми международными обязательствами.

В большинстве этих документов эффективная энергетика и энергосбережение являются наиболее важными компонентами социальной и экономической деятельности и имеют решающее значение для повышения качества жизни людей. При планировании мероприятий по энергосбережению необходимо учитывать тот факт, что в нынешних условиях развития национальной экономики рост ВВП и валового сбережения неизбежно ведет к увеличению валового потребления первичных ТЭР. Поэтому государственные программы должны содержать меры по изменению такой зависимости с целью сокращения энергоемкости ВВП, когда темпы роста ВВП должны опережать динамику роста валового потребления ТЭР.

В ходе работы семинара выступил В.Е. Пинаев, доцент Департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции Института экологии Российского университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы, в докладе на тему «Новая климатическая доктрина Российской Федерации. Изменения законодательства» отметил, что в России проводится активная работа по формированию условий для перехода к низкоуглеводной экономике. В рамках долгосрочного социально-экономического развития страны предполагается достижение, с учетом национальных интересов и приоритетов развития, не позднее 2060 года баланса между антропогенными выбросами парниковых газов и их поглощением. Для достижения этой цели определены дополнительные меры по декарбонизации отраслей экономики и увеличению поглощающей способности управляемых экосистем. Реализация указанных мер позволит обеспечить к 2030 году объем выбросов парниковых газов на уровне 1673 млн тонн CO2-эквивалента (54 % от уровня 1990 года).

В работе семинара был представлен Б. А. Якимович, профессор кафедры «Энергетические системы и комплексы традиционных и возобновляемых источников» Севастопольского государственного университета, в выступлении на тему «Исследование эффективности использования возобновляемых источников энергии в Крыму для решения задач декарбонизации». Он рассказал об инновационных разработках кафедры в области эффективной электроэнергетики [1-3]. В частности, о разработках по повышению энергоэффективности фотовольтаических модулей, работающих в режимах частичного затенения, а также о новых разработках в области ветровой генерации [3-5].

Двадцать первого декабря были проведены два круглых стола: «Низко- и без углеродная энергетика как направление стратегии декарбонизации» и «Использование возобновляемых источников энергии как направление стратегии декарбонизации». И.В. Карапетянц, заведующий кафедрой ЮНЕСКО «Этика науки и технологии, устойчивое развитие и транспортные системы», директор Института международных транс-

портных коммуникаций Российского университета транспорта, в докладе на тему «Проблемы энергоэффективности на транспорте и особенности его декарбонизации» подчеркнула, что около 22 % всех выбросов CO2 принадлежит транспорту, при этом на долю энергетики и строительства соответственно приходится примерно 39 и 29 %.

Также выступил А.Ф. Молочко, заведующий отделом общей энергетики Белорусского теплоэнергетического института, в докладе «Интеграция систем накопления энергии в составе супер-быстрых зарядных комплексов» говорил о разных сценариях развития парка электромобилей в Республике Беларусь, возможностях использования электромобилей как накопителей электроэнергии, а также о перспективе создания до 2030 года сети СБЭЗС суммарной мощностью 637,4 МВт.

Доклад по теме «Исследования по повышению энергоэффективности малых ветровых энергоустановок и фотоэлектрических станций» В. Л. Червинского, заведующего кафедрой ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии», был посвящен работе, проводимой по вопросам энергосбережения ВИЭ в БНТУ.

Ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова С.В. Киселева в докладе на тему «Формирование массивов данных для оценки потенциального вклада возобновляемой энергетики России в декарбонизацию экономики» отметила, что цель, которая ставится в проводимой ими работе – обеспечение массивами исходных данных, разрабатываемых партнерами, сценариев развития российской энергетики на период до 2060 года. В качестве основной задачи для достижения цели декарбонизации была названа оценка технических энергетических потенциалов различных ВИЭ (с учетом эффективности преобразования в электрическую и тепловую энергию) с детализацией по объединенным энергосистемам и регионам России.

В докладе на тему «Подходы к де-карбонизации и адаптации к климатическим изменениям в России» Ю.Ю. Рафикова, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, подчеркнула, что ускорение изменений на международной арене в области перехода к низкоуглеводному развитию может отразиться и на России. Существует проблема российских моногородов, экономика которых строится исключительно на углеводородной экономике. Кроме того, как отметила специалист, сложно сдерживать инфляцию, возникающую при падении спроса на углеводороды.

На семинаре был представлен В.А. Пашинский, заведующий кафедрой энергоэффективных технологий Международного государственного экологического института им. А.Д. Сахарова БГУ. Им было представлен доклад по теме «Основные тенденции развития ВИЭ в Беларуси и подготовка специалистов по их использованию», раскрыл основные особенности подготовки специалистов в своем вузе в рамках основных направлений развития ВИЭ в республике.

Двадцать второго декабря состоялся круглый стол на тему «Воздействие энергетики на окружающую среду: последствия и пути преодоления».

Файзиев З.Х., заведующий кафедрой «Машиностроение» Самаркандского государственного архитектурно-строительного университета им. М. Улушбека, сообщил, что технический потенциал ВИЭ в Республике Узбекистан составляет 270 млн т у. т., что намного превышает годовую потребность в энергоресурсах республики, где основные направления развития ВИЭ – это солнечная, ветровая, био-, гидро- и геотермальная энергетика. Его доклад назывался «Развитие возобновляемой энергетики в Узбекистане».

Рис. 3. Текущая работа семинара «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии»

Из выступления К.В. Добрего, заведующего НИЛ «Инновационная энергетика» НИПИ, по теме «Системы накопления электрической энергии как катализатор энергетического перехода» стало известно о перспективах развития концепции «Энерджинет» – Интернета энергии и об организационном состоянии развития систем накопления энергии (СНЭ) в Республике Беларусь. Докладчик отметил, что 4-й энерго-пере-

ход (ЭП) – это, прежде всего, переход к устойчивому развитию, когда потребности нынешнего поколения удовлетворяются без вреда для будущих поколений. С технологической точки зрения выделяют 4 аспекта ЭП.

1. Энергоэффективность: точное управление ЭС, выравнивание нагрузки, вытеснение менее эффективных технологий.

2. Декарбонизация: ВИЭ, электричество – во все сферы жизни, а получение электричества – с минимальным расходом углеводородного топлива.

3. Децентрализация: локальная генерация, хранение и распределение энергии с целью снижения издержек на ее генерацию и распределение.

4. Диджитализация: точное управление энергосистемой, интеллектуальное прогнозирование спроса, быстрые и дешевые трансакции между участниками рынка энергии.

Бельская Г.В., доцент кафедры «Инженерная экология» факультета горного дела и инженерной экологии Белорусского национального технического университета, в докладе «Состояние и развитие производства биогаза в Республике Беларусь» рассказала об основных условиях эффективного функционирования биогазовых комплексов и представила предложения по повышению эффективности производства биогаза в стране.

Все желающие, в том числе студенты, магистранты и аспиранты, могли присутствовать в зале во время работы круглых столов и задавать свои вопросы экспертам.

Полученные результаты

На основании результатов исследований, представленных и рассмотренных в рамках круглых столов, участниками семинара сформулированы следующие рекомендации.

- В рамках концепции «Энергетической безопасности» целесообразно проанализировать перспективу развития «Интернета энергии», экономический и социальный эффект от внедрения данной модели в условиях Белорусской энергосистемы.
- Обратить внимание на необходимость включения представителей университетов в состав Рабочей группы по низкоуглеводному развитию электроэнергетики Электроэнергетического Совета СНГ, других аналогичных структур ЕАЭС, что будет способствовать более активному участию учреждений высшего образования в формировании современных знаний и передаче передового опыта по декарбонизации.
- Следует поддержать развитие систем накопления электроэнергии на транспорте, на объектах энергосистемы и у конечных потребителей с учетом изучения имеющегося мирового опыта и тенденций.
- Следует ускорить разработку и расширить масштаб внедрения систем накопления энергии в энергетике страны. В частности, следует продолжить ускоренное развитие электротранспорта совместно с накопителями электроэнергии как конкурентоспособного индивидуального и общественного вида транспорта, способствовать распространению супербыстрых зарядных комплексов для индивидуального электротранспорта.
- Признать целесообразным разработку и применение технических средств, позволяющих использовать индивидуальный электротранспорт в качестве источника и накопителя энергии для индивидуальных домохозяйств (V2H).
- Считать перспективными и поддержать работы, которые ведутся в БНТУ, по накопителям электроэнергии (моделированию и интеллектуальному управлению накопителями электроэнергии). Тематику по накопителям энергии признать перспективной для Республики Беларусь и приоритетной при разработке программ ГПНИ.
- Учитывая развитую инфраструктуру сельского хозяйства Республики Беларусь, признать целесообразным дальнейшее продолжение работ по тематике производства биогаза как перспективного местного низкоуглеводного топливно-энергетического ресурса в Республике Беларусь.
- Признать необходимым развитие организационной системы и инфраструктуры для эффективной работы, в частности, по снабжению сырьем предприятий белорусской биоэнергетики.
- Признать необходимым продолжение и важность информационно-разъяснительной работы в СМИ, организациях учреждений образования по популяризации возобновляемых источников энергии и технологий декарбонизации энергетики.
- В условиях функционирования БелАЭС обратить внимание на возрастание роли тепловой составляющей энергоисточников на базе ВИЭ

- Учесть опыт Российской Федерации и Республики Узбекистан в области низкоуглеводной энергетики, включая разработку и реализацию мер и технологий, повышающих эффективность возобновляемых источников энергии, а также инструментов экономического стимулирования для развития этого направления

Дополнительно было организовано посещение экспертами и обучающимися энергетических объектов Беларуси. Наиболее полно погрузиться в тематику семинара позволили посещения Минской ТЭЦ-4 и скрытых от глаз обычного посетителя энергетических структур многопрофильного культурно-спортивного комплекса «Минск-арена».

На Минской ТЭЦ-4 участники семинара смогли ознакомиться с особенностями работы электрокотлов, имеющих непосредственную электрическую связь с БелАЭС, с эффективностью использования ВЭР избыточного давления на турбодетандерной установке для срабатывания избыточного давления газа, идущего на сжигание, а также с применением частотного электропривода для привода сетевых насосов и работой систем мониторинга, автоматизации и управления технологическим оборудованием станции.

На комплексе «Минск-арена» были продемонстрированы две компрессорные, обеспечивающие подготовку и поддержание льда на площадке и подготовку воздуха системы кондиционирования, в деталях показана система вентиляции воздуха с рекуперацией теплоты в роторном теплообменном аппарате, система подачи и удаления воздуха на площадках комплекса, а также тепловой пункт.

На каждом из этапов особое внимание уделялось вопросам энергоэффективности. Также была организована и культурная программа. Немного отдохнуть, настроиться на следующий рабочий день семинара и более тесно познакомиться с Минском иностранные участники смогли во время пешеходной экскурсии по исторической части города и при посещении Белорусского государственного академического музыкального театра.

Выводы

Участники семинара, разделяя принципы и цели устойчивого развития, выражая поддержку усилиям, направленным на сокращение углеродоемкости энергетического сектора, считают проведение данного семинара полезным и перспективным и предлагают продолжить обмен опытом среди кафедр ЮНЕСКО, других заинтересованных вузов и организаций по стратегическим направлениям декарбонизации национальной экономики.

В течение трех дней проведения семинара участие в нем приняли более 100 человек и более 30 человек присутствовали в качестве экспертов, что отражает важность рассматриваемых вопросов и заинтересованность специалистов в повышении уровня устойчивого развития энергетического сектора, укреплении энергетической безопасности страны и декарбонизации энергетики.

Проведение Международного семинара экспертов «Декарбонизация энергетического сектора. Роль кафедр ЮНЕСКО в обмене научными знаниями» имеет и социальный эффект, заключающийся в укреплении межуниверситетского и международного академического сотрудничества, поддержании взаимодействия Республики Беларусь и других государств – членов ЮНЕСКО в области науки и образования, сотрудничества между кафедрами ЮНЕСКО, содействии глобальному прогрессу в достижении ЦУР 4 и ЦУР 7 путем привлечения партнеров, укреплении естественно-научного, технического, инженерного и математического образования.

Список литературы

1. Технологическое развитие возобновляемой энергетики и новые возможности в области исследования и разработок / Комшин А.С., Якимович Б.А., Нашев Р.А., Жильцов А.С., Шахова Н.В. // Энергетические установки и технологии. 2024. Т. 10. № 1. С. 64-67.
2. Актуальные вопросы развития электрического транспорта в Беларуси // Постановление Совета Министров Республики Беларусь // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь.
3. Формирование рационального подхода к обучению студентов технических направлений при переходе на дистанционное обучение // Якимович Б.А., Горпинченко А.В. / Высшее образование сегодня. 2023. № 4. С. 74-80.
4. 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. 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. Technological development of renewable energy and new opportunities in the field of research and development / Komshin A.S., Yakimovich B.A., Nashev R.A., Zhiltsov A.S., Shakhova N.V. // Energy installations and technologies. 2024. T. 10. No. 1. P. 64-67.
2. Current issues in the development of electric transport in Belarus // Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus // National legal Internet portal of the Republic of Belarus.
3. Formation of a rational approach to teaching students of technical fields during the transition to distance learning // Yakimovich B.A., Gorpinchenko A.V. / Higher education today. 2023. No. 4. P. 74-80.
4. Development and justification of strategies for introducing energy-efficient measures at industrial enterprises // Vologdin S.V., Yakimovich B.A. / 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. Providing additive technologies in the interests of industrial development // Krasutskaya A.A., Lesnichenko M.R., Funtikov V.A., Komshin A.S. Devices. 2022. No. 10 (268). pp. 39-44.

УДК 620.92

Использование фотоэлектрических преобразователей для электропитания медицинского оборудования

Б.А. Якимович [1], В.В. Кувшинов [2,] В.А. Березняк [3], Ф.М. Аль Руфаи[4], Н.А. Исса [5]
[1.2.3.4]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, 1 yakimovich52@gmail.com, 2 VVKuvshinov@sevsu.ru, 3 gern96-10@mail.ru
5Университет Дамаск, Сирия

Статья поступила 23.05.2024 г.; после доработки 24.05.2024 г.

Аннотация

Для обеспечения бесперебойной работы медицинского оборудования необходимо использование надёжных источников бесперебойного питания. В работе предложена портативная система электропитания на основе аккумуляторных батарей и системы солнечной генерации для обеспечения работы EMS-аппарата. В фотоэлектрической панели представленной установки используются полупроводниковые кремниевые преобразователи с наномодифицированной приёмной поверхностью.

Ключевые слова: фотоэлектрическая панель, наномодифицированная поверхность солнечного элемента, EMS-аппарат, аккумуляторные батареи, система солнечной генерации.

Use of photovoltaic converters for power supply of medical equipment

B.A. Yakimovich [1], V.V. Kuvshinov [2], V.A. Bereznyak [3], F.M. Al Rufai[4], N.A. Issa [5]
[1,2,3,4] Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Sevastopol State University", Sevastopol, Russia, st. Universitetskaya 33, 299053, 1 yakimovich52@gmail.com, 2 VVKuvshinov@sevsu.ru, 3 gern96-10@mail.ru
[5] Damascus University, Syriy

Received 23.05.2024 y.; received in final form 24.05.2024 y.

Abstract

To ensure uninterrupted operation of medical equipment, it is necessary to use reliable uninterruptible power supplies. The work proposes a portable power supply system based on rechargeable batteries and a solar generation system to ensure the operation of the EMS device. The photovoltaic panel of the presented installation uses semiconductor silicon converters with a nanomodified receiving surface.

Key words: photovoltaic panel, nanomodified solar cell surface, EMS device, batteries, solar generation system.

Введение

Использование EMS-технологий для лечения пациентов, страдающих такими заболеваниями как мышечная атрофия, заболевания опорно-двигательного аппарата, последствия различных травм и ранений суставов и конечностей способствует увеличению эффективности лечения и и выздоровлению людей. Обеспечение качественной работы медицинского оборудования с использованием энергосберегающих технологий и независимых источников энергии для бесперебойной работы медицинской техники (в частности EMS-аппаратов), является одной их важнейших задач лечебных учреждений, реабилитационных центров, а также временных госпиталей и полевых санитарных учреждений.

В представленной работе были предложены различные типы источников питания независящих от центральных линий электроснабжения для их использования в нестационарных лечебных 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 разрывными источниками электроснабжения маломощного медицинского оборудования.

Резервные системы питания и накопления энергии, используемые при работе лечебных 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 лечебных учреждениях, так и в передвижных госпиталях 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 лечебных 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 больниц и лечебной инфраструктуры. Предложенные резервные системы питания состоят из гибридной энергосистемы, оснащенной различными генераторами электроэнергии: фотоэлектрическими панелями малой мощности, компактными солнечными элементами, портативными генераторами находящиеся в контейнерах, а также системой хранения и распределения электроэнергии [5]. Основными преимуществами таких установок являются их мобильность и компактность.

Цель представленной работы являлось обеспечение качественной работы медицинского оборудования с использованием высокоэффективных солнечных элементов и накопителей энергии для бесперебойной работы различной маломощной медицинской техники и EMS-аппаратов. 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 медицинских 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 EMS аппарата, представленного на рис. 1.

Рис. 1. Внешний вид EMS-аппарата (Electric Mio Stimulation)

Основные технические параметры, определяющие количественные, качественные и стоимостные характеристики продукции являются электротехнические показатели фотопреобразователей, ёмкость АКБ, количество солнечных элементов и др. Для зарядки аккумуляторной батареи использовалась фотоэлектрическая панель

мощностью 300 Вт, состоящая из наномодифицированных фотоэлектрических элементов, контроллер заряда-разряда, и другое, вспомогательное оборудование. 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 медоборудования.

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 имеет мощность 300 Вт и состоит из фотоэлектрической панели (мощностью по 300 Вт), и аккумуляторной батареи 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. На рис. 3 приведены мощностные характеристики отдельного модуля солнечной установки мощностью 300 Вт в летние месяцы, при различной освещенности.

Рис. 2. Основное оборудование для системы резервного питания медицинской техники и EMS-аппарата.

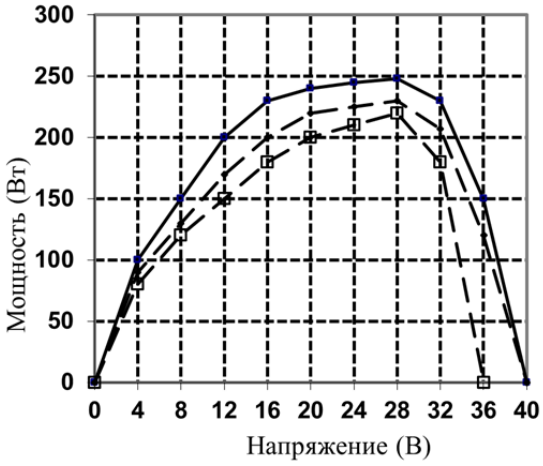


Рис. 3. Мощностные характеристики фотоэлектрической панели мощностью 300 Вт.

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.

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 около800 Вт/м2, характеристика зарядного тока приведена на рис. 5.

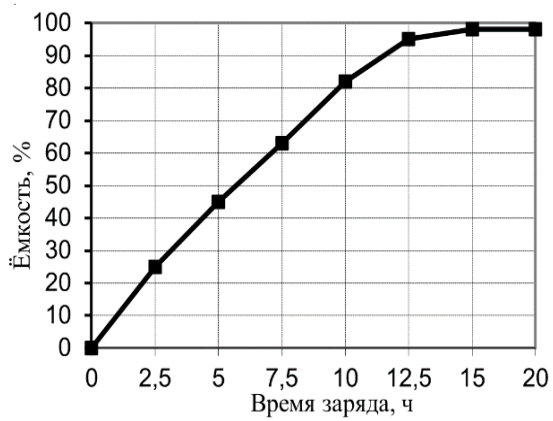


Рис. 4. Зависимость относительной ёмкости заряда от времени

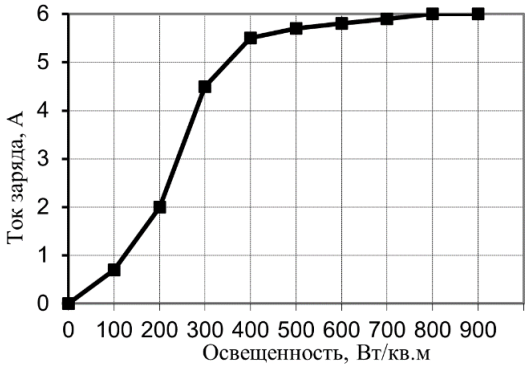


Рис. 5. Зависимость тока заряда от освещённости панели

Эти исследования очень значимы для дальнейших расчетов зарядки и работы аккумуляторной станции в комбинации с фотоэлектрическими модулями, используемыми в качестве бесперебойных энергоснабжения медицинского оборудования.

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 медицинского 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 медицинской техники, 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 медицинское оборудование в полевых условиях.

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 медицинского оборудования, в частности использование резервных и бесперебойных источников питания.

Использование источников питания основе возобновляемых источников энергии для обеспечения медицинской техники является важной задачей для многих регионов, т. к. позволяет улучшить экологическую составляющую и уменьшить зависимость от традиционных органических топлив.

Список литературы

1. 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. Использование фотоэлектрических преобразователей в качестве источников питания медицинского оборудованияКувшинов 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. 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. Improving the efficiency of solar and wind power plants through the use of energy storage devices // Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Vlasov N.A., Bereznyak V.A., Ghashim M. /Power plants and technologies. 2022. Vol. 8. No. 1. pp. 90-95.
2. The use of photovoltaic converters as power sources for medical equipment Kuvshinov V.V., Matveev Yu.V., Bereznyak V.A., Smirnov V.V., Timan D.I. Natural and technical sciences. 2023. No. 1 (176). pp. 166-168.
3. Rauschenbach G. Handbook of solar cell design. Moscow: Energoatomizdat, 1983. 397 p.
4. Kuvshinov, V.V., Morozova, N.V. / Possibilities of increasing the power characteristics of solar installations for use in the energy sector of the Crimea // Moscow: Sputnik+, 2017. 175 p
5. Photovoltaic devices made of crystalline silicon. The method of correction of the measurement results of the voltage characteristic (IEC 891-87): GOST 28976-91. – [Introduction. 04/19/91]. – M.: 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 on the surface of porous rolled materials by electrophoresis // News of the Russian Academy of Sciences. physical series, 2019 volume, No. 12(83), pp. 1670-1674.
7. Possibilities of increasing the power of photovoltaic converters by modifying their surfaces with silver nanoclusters / Kuvshinov V.V., Krit B.L., Morozova N.V., Kukushkin D.Yu., Savkin A.V. // Vector of Science of Tolyatti State University. 2018. No. 1 (43). pp. 36-42.

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ, ВЕЩЕСТВ И ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 502/504

Анализ исследований и правового регулирования систем мониторинга окружающей среды

А.О. Егорова[1], Б.А. Якимович[2]
[12]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, aokalita@sevsu.ru , bayakimovich@mail.sevsu.ru

Статья поступила 15.05.2024 г.; после доработки 16.05.2024 г.

Аннотация

В данной статье рассмотрены исследования и разработки в области построения систем мониторинга состояния окружающей среды. Проведён анализ таких систем, определены их особенности и способность соответствовать современным вызовам. На основании проведённого анализа определено актуальное направление исследований для решения задач, связанных с недостатками существующих систем мониторинга окружающей среды.

Ключевые слова: мониторинг окружающей среды, экологический мониторинг, экологическая безопасность, состояние окружающей среды.

Analysis of research and legal regulation of environmental monitoring systems

A.O. Egorova[1], B.A. Yakimovich[2]
[12]Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Sevastopol State University»,
Universitetskaya, 33, Sevastopol, 299053, Russia, aokalita@sevsu.ru, bayakimovich@mail.sevsu.ru

Received 15.05.2024 y.; received in final form 16.05.2024 y.

Abstract

This article discusses research and development in the field of building environmental monitoring systems. An analysis of such systems was carried out, their features and ability to meet modern challenges were determined. Based on the analysis, a current direction of research has been identified to solve problems associated with the shortcomings of existing environmental monitoring systems.

Key words: environmental monitoring, environmental monitoring, environmental safety, state of the environment.

Введение

Современная экологическая обстановка, активное техногенное и антропогенное влияние на окружающий мир приводят к ситуации, требующей контроля и принятия мер по её улучшению. Безусловно, развивается система государственного регулирования состояния окружающей среды, проводятся исследования и разработки систем мониторинга различных показателей на примере разных регионов.

Исследование нормативно-правовых актов регулирующих разработку и внедрение систем мониторинга окружающей среды

На сегодняшний день существует государственный экологический анализ и контроль, осуществляемый органами исполнительной власти, на основании правовых норм, утвержденных органами законодательной власти. Он включает в

себя получение достоверных данных об антропогенном и техногенном воздействиях и их источниках, с целью обеспечения контроля.

Для обеспечения государственного экологического мониторинга существует ряд законных и подзаконных актов, регулирующих данный вопрос.

Федеральный закон № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» определяют понятие государственной информационной системы и основные положения о порядке организации их функционирования и обеспечения безопасности. Государственная информационная система – система. Осуществляющая сбор, обработку и хранение информации в целях реализации федеральных законов, а также региональных и муниципальных нормативных актов, в том числе, в части информации о состоянии окружающей среды [1]. Так, например, Единая система экологического мониторинга города Москвы (ГИС «Экология города») функционирует для реализации положений Закона г. Москвы от 20.10.2004 № 65 «Об экологическом мониторинге в городе Москве» и Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [2].

Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» определяет общие требования по обеспечению охраны окружающей среды, а также ответственность сторон, участвующих во взаимодействии с природой (государство, общество, гражданин) [3].

Постановление Правительства РФ (ПП РФ) № 477 определяет порядок осуществления государственного мониторинга состояния окружающей среды, контроля и формирования государственной системы наблюдений за состоянием окружающей среды системно [4], ПП РФ № 994 – за водными биологическими ресурсами [5], ПП РФ № 219 – за водными объектами [6].

Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года определяют государственные цель и задачи по обеспечению экологической безопасности, охране окружающей среды, а также механизмы по решению данных стратегических задач [7].

Вышеуказанные нормативные акты выделяют острую необходимость в мониторинге окружающей среды и реагировании на ухудшение её состояния, в виду высокого уровня загрязнения как твёрдыми отходами, так и высокими концентрациями отравляющих веществ в водных ресурсах и атмосфере. В связи с чем определена необходимость в создании государственной системы регулирования данного вопроса, а также государственных информационных систем, в том числе, обеспечивающих мониторинг окружающей среды.

Таким образом, существует необходимость в создании систем мониторинга окружающей среды для Республики Крым и города Севастополь, не производящие ухудшения состояния окружающей среды, во исполнение законов и подзаконных актов России.

Анализ существующих исследований в области построения систем мониторинга окружающей среды

Информационная система территориального управления рисками развития и безопасностью предлагает решения в области обеспечения управления рисками безопасности, где экологическая безопасность является лишь одной из составных частей социальных, экономических и экологических взаимодействий.

Система является обобщенной и не вносит предложений по осуществлению контроля на каждом из уровней, а только осуществление информационного взаимодействия между уровнями [8].

Информационно-аналитическая система учета несанкционированных свалок позволяет вести учёт несанкционированных свалок на основании данных, предоставленных физическими лицами. Основной недостаток данной системы состоит в источнике информации, поскольку нет контроля достоверности данных при попадании их в систему. В связи с чем возникает высокая вероятность ложного информирования и неэффективного распределения ресурсов организации, занимающейся ликвидацией свалок [9].

В статье «Совершенствование системы комплексного мониторинга полигонов твердых коммунальных отходов» рассмотрены основы организации систем мониторинга окружающей среды. Также в работе представлены данные о полигонах твёрдых отходов в Курской области (объем, места расположения, эксплуатирующая организация и т.д.), что сведено в единую базу данных. Данных об экологическом состоянии ни самих полигонов, ни близлежащих территорий нет. В связи с чем возникает сложность в проведении оценки состояния окружающей среды на основании данных предложенного варианта мониторинга. Отсутствует компонента независимого, объективного мониторинга [10].

Мониторинг состояния биотехносферы урбанизированных территорий (на примере города

Воронежа) как фактора экологической безопасности населения предоставляет данные о статистике изменений состояния окружающей среды в городе Воронеж. Проведена оценка экологического риска на основании данных, доступных в ГИС. Мониторинг является вторичным [11].

Статья «Развитие системы экологического мониторинга электромагнитных и инфразвуковых низкочастотных полей на застроенных территориях» приводит оценку интенсивности низкочастотных электромагнитных полей ЛЭП, а также низкочастотных электромагнитных и инфразвуковых полей автотранспортных средств. В работе не представлена оценка влияния рассмотренных полей на состояние окружающей среды, что не позволяет определить целесообразность оценки фонового электромагнитного излучения именно этих компонент техносферы. Также не учтены системы, создающие электромагнитное излучение в непосредственной близости от человека или охраняемых объектов природы [12].

Концепция информационно-аналитической системы мониторинга природной среды техногенно нарушенных аграрных ландшафтов предлагает структуру информационно-аналитической системы, включающую геоинформационную систему, базу данных и модули анализа, прогнозирования и качественной оценки. Исходными данными для такой системы являются сведения, полученные в государственных учреждениях и организациях, деятельность которых связана с взаимодействием с аграрными ландшафтами.

Проблема реализации такой системы связана с необходимостью получения систематизированных периодических унифицированных данных для корректной оценки, что предполагает обязательность выполнения частного мониторинга и предоставления данных от всех участников информационного взаимодействия. Такие условия возможны только при наличии соответствующих нормативных документов, регулирующих данное взаимодействие [13].

Система автоматизированного контроля температуры и загазованности для дистанционного мониторинга состояния утилизированной свалки коммунальных отходов является практически реализованной системой независимого мониторинга состояния таких свалок.

Система хорошо подходит для решения поставленных задач, однако не предполагает отслеживание по таким параметрам возникновение стихийных свалок, а также не поддерживает принятие решений с рекомендациями о необходимых действиях по нормализации состояния свалок коммунальных отходов 14].

Таким образом, рассмотренные научные работы представляют собой разработку информационных систем мониторинга, направленных на исследование либо определенного региона, либо отдельных факторов состояния окружающей среды. Также рассмотренные системы игнорируют фактор влияния источников энергообеспечения таких систем на показатели, что снижает точность и достоверность полученных данных. Применение энергоустановок на основе возобновляемых видов энергии позволит решить данную проблему.

Заключение

Существует необходимость в создании систем мониторинга окружающей среды для Республики Крым и города Севастополь, не производящие ухудшения состояния окружающей среды, во исполнение законов и подзаконных актов России

Рассмотренные научные работы представляют собой разработку информационных систем мониторинга, направленных на исследование либо определенного региона, либо отдельных факторов состояния окружающей среды. Также рассмотренные системы игнорируют фактор влияния источников энергообеспечения таких систем на показатели, что снижает точность и достоверность полученных данных. Применение энергоустановок на основе возобновляемых видов энергии позволит решить данную проблему.

Список литературы

1. Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ (ред. от 12.12.2023) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»
2. Постановление Правительства Москвы от 08.11.2005 № 866-ПП (ред. от 31.10.2018) «О функционировании Единой системы экологического мониторинга города Москвы и практическом использовании данных экологического мониторинга» (вместе с «Положением о Едином городском фонде данных экологического мониторинга», «Перечнем предприятий - субъектов локального экологического мониторинга»)
3. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Об охране окружающей среды»
4. Постановление Правительства РФ от 06.06.2013 № 477 (ред. от 14.03.2024) «Об осуществлении государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды»
5. Постановление Правительства РФ от 24.12.2008

№ 994 (ред. от 14.03.2024) «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных биологических ресурсов и применении его данных»
6. Постановление Правительства РФ от 10.04.2007 № 219 (ред. от 14.03.2024) «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов»
7. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (утв. Президентом РФ 30.04.2012). URL: https://docs.cntd.ru/document/902369004 (дата обращения 05.04.2024 г.)
8. Информационная система территориального управления рисками развития и безопасностью / В. В. Москвичев, И. В. Бычков, В. П. Потапов [и др.] // Вестник Российской академии наук. – 2017. – Т. 87, № 8. – С. 696-705.
9. Разработка элементов информационно-аналитической системы учета несанкционированных свалок / В. В. Юшин, В. М. Попов, И. О. Кирильчук, А. В. Гнездилова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2018. – Т. 8, № 3(28). – С. 68-80.
10. Попов, В. М. Совершенствование системы комплексного мониторинга полигонов твердых коммунальных отходов / В. М. Попов, И. О. Кирильчук, А. Ю. Коровина // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2017. – Т. 7, № 4(25). – С. 60-71.
11. Мониторинг состояния биотехносферы урбанизированных территорий (на примере города Воронежа) как фактора экологической безопасности населения / С. А. Епринцев, М. А. Клевцова, В. Н. Калаев, С. В. Шекоян // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2017. – № 1. – С. 126-132.
12. Развитие системы экологического мониторинга электромагнитных и инфразвуковых низкочастотных полей на застроенных территориях / М. В. Графкина, Б. Н. Нюнин, Е. Ю. Свиридова, Е. П. Теряева // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2012. – № 4(4). – С. 70-76.
13. Концепция информационно-аналитической системы мониторинга природной среды техногенно нарушенных аграрных ландшафтов / Д. В. Эйдензон, Е. А. Ижмулкина, И. А. Ганиева, О. В. Лошкарева // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 7. – С. 75-77.
14. Система автоматизированного контроля температуры и загазованности для дистанционного мониторинга состояния утилизированной свалки коммунальных отходов / А. А. Маслова, В. М. Панарин, К. В. Гришаков [и др.] // Экология и промышленность России. – 2018. – Т. 22, № 11. – С. 14-18.

References

1. Federal Law of July 27, 2006 No. 149-FZ (as amended on December 12, 2023) “On information, information technologies and information protection”
2. Decree of the Moscow Government dated November 8, 2005 No. 866-PP (as amended on October 31, 2018) “On the functioning of the Unified Environmental Monitoring System of the City of Moscow and the practical use of environmental monitoring data” (together with the “Regulation on the Unified City Fund of Environmental Monitoring Data”, “List of Enterprises - Subjects of Local Environmental Monitoring”)
3. Federal Law No. 7-FZ dated January 10, 2002 (as amended on December 25, 2023) “On Environmental Protection”
4. Decree of the Government of the Russian Federation dated 06.06.2013 No. 477 (as amended on 14.03.2024) “On the implementation of state monitoring of the state and pollution of the environment”
5. Decree of the Government of the Russian Federation of December 24, 2008 No. 994 (as amended on March 14, 2024) “On approval of the Regulations on the implementation of state monitoring of aquatic biological resources and the use of its data”
6. Decree of the Government of the Russian Federation of April 10, 2007 No. 219 (as amended on March 14, 2024) “On approval of the Regulations on the implementation of state monitoring of water bodies”
7. Fundamentals of state policy in the field of environmental development of the Russian Federation for the period until 2030 (approved by the President of the Russian Federation on April 30, 2012). URL: https://docs.cntd.ru/document/902369004 (date of access: 04/05/2024)
8. Information system for territorial management of development risks and security / V. V. Moskvichev, I. V. Bychkov, V. P. Potapov [etc.] // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. – 2017. – T. 87, No. 8. – P. 696-705.
9. Development of elements of an information and analytical system for accounting for unauthorized landfills / V. V. Yushin, V. M. Popov, I. O. Kirilchuk, A. V. Gnezdilova // News of the South-Western State University. Series: Management, computer technology, computer science. Medical instrumentation. – 2018. – T. 8, No. 3(28). – P. 68-80.
10. Popov, V. M. Improving the system of integrated monitoring of solid municipal waste landfills / V. M. Popov, I. O. Kiril-chuk, A. Yu. Korovina // News of the South-West State University. Series: Equipment and technology. – 2017. – T. 7, No. 4(25). – P. 60-71.
11. Monitoring the state of the biotechnosphere of urban areas (using the example of the city of Voronezh) as a factor in the environmental safety of the population / S. A. Eprintsev, M. A. Klevtsova, V. N.

Kalaev, S. V. Shekoyan // Bulletin of the Voronezh State University impact university. Series: Geography. Geoecology. – 2017. – No. 1. – P. 126-132.
12. Development of an environmental monitoring system for electromagnetic and infrasound low-frequency fields in built-up areas / M. V. Grafkina, B. N. Nyunin, E. Yu. Sviridova, E. P. Teryaeva // Construction of unique buildings and structures. – 2012. – No. 4(4). – pp. 70-76.
13. The concept of an information-analytical system for monitoring the natural environment of technogenically disturbed agricultural landscapes / D. V. Eidenzon, E. A. Izhmulkina, I. A. Ganieva, O. V. Loshkareva // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. – 2012. – No. 7. – P. 75-77.
14. System of automated control of temperature and gas contamination for remote monitoring of the state of a disposed municipal waste dump / A. A. Maslova, V. M. Panarin, K. V. Grishakov [et al.] // Ecology and industry of Russia. – 2018. – T. 22, No. 11. – P. 14-18.

УДК 504.064.2

Определение токсичности воды централизованных систем питьевого водоснабжения города Севастополя методом биотестирования

Е.В. Заблоцкая
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, evere82@mail.ru

Статья поступила 17.05.2024 г.; после доработки 20.05.2024 г.

Аннотация

В статье представлены исследования токсичности воды централизованных систем питьевого водоснабжения города Севастополя. Сделан сравнительный анализ проб воды Северной и Южной стороны города. Результаты были получены с применением методик для определения токсичности вод при помощи дафний и хлореллы.

Ключевые слова: биотестирование, дафнии, хлорелла, оценка токсичности.

Determination of the toxicity of water from centralized drinking water supply systems in the city of Sevastopol by biotesting

E.V. Zablotskaya
Sevastopol state university, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia, evere82@mail.ru

Received 17.05.2024 y.; received in final form 20.05.2024 y.

Abstract

The article presents studies on the toxicity of water from centralized drinking water supply systems in the city of Sevastopol. A comparative analysis of water samples from the North and South sides of the city was made. The results were obtained using techniques for determining the toxicity of waters using daphnia and chlorella.

Keywords: biotesting, daphnia, chlorella, toxicity assessment.

Введение

Проблемы водоснабжения и нехватки водных ресурсов существовали на протяжении всей истории полуострова Крыма и города Севастополя в частности. Этому способствовали географическое положение города и жаркий, засушливый климат, рост населения и расширение хозяйственной деятельности.

Водные ресурсы Крыма достаточны, однако распределены они неравномерно, что требует строительства протяженных трактов водоподачи. Для водотоков Крыма характерны обильные паводки, при этом многие балки полностью пересыхают в межень.

Естественной для Крыма является засуха разной интенсивности с периодичностью четыре раза за десять лет.

Для улучшения водоснабжения по рекам в период паводков производилось озеленение и строительство водохранилищ.

В целях безопасности максимальный объём водохранилищ естественного стока был ограничен, что создает дополнительные сложности при водоснабжении в засушливые годы.

Проблемы с водоснабжением в Крыму начались в 2014 году после того, как он вошел в состав России. Ранее до 85% потребностей полуострова в пресной воде через Северо-Крымский канал обеспечивала материковая часть Украины.

На полуостров поступала вода из Днепра по Северо-Крымскому каналу, однако в 2017-м власти Херсонской области Украины построили дамбу, которая полностью перекрыла водоснабжение полуострова. После присоединения полуострова к РФ он был перекрыт по решению представителей украинской власти [1].

В последующие годы различными способами решались проблемы водоснабжения, разведывались новые источники пресной воды, в частности подземные, ученые два года исследовали два подземных высокотемпературных очага в горных районах Крыма и установили, что по сети тектонических разломов идет миграция больших объемов пресных вод [2].Строились гидротехнические сооружения. Положение осложняли обнаруженные утечки на ключевых узлах водоснабжения.

Наиболее остро проблема водоснабжения встала в 2020-2021 годах. Так, летом 2020 года из-за затянувшейся засухи в водохранилищах Крыма и Севастополя существенно сократились запасы пресной воды. Это привело к введению в отдельных районах полуострова графиков подачи воды[3].

В Севастополе в качестве решения проблемы водоснабжения города было выдвинуто два проекта: это переброска воды из Кадыковского карьера и строительство водозабора на реке Бельбек. Также запланирован ремонт двух крупнейших водоводов, на которых происходит наиболее существенная водопотеря [3].

Постановка задачи

Целью работы являлось получение результатов токсикологического анализа воды систем питьевого водоснабжения города Севастополя.

Для реализации данной цели были поставлены следующие задачи:

- провести исследование токсичности воды систем питьевого водоснабжения города Севастополя на Северной стороне методом измерения оптической плотности культуры водоросли хлорелла и методом измерений количества *daphnia magna straus* для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, методом прямого счета;
- провести исследование токсичности воды систем питьевого водоснабжения города Севастополя на Южной стороне методом измерения оптической плотности культуры водоросли хлорелла и методом измерений количества *daphnia magna straus* для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, методом прямого счета;
- сравнить результаты измерений между собой, сделать выводы о токсичности воды, подаваемой в системы питьевого водоснабжения города Севастополя.

Описание исследования

В системе централизованного водоснабжения города задействовано: 2 поверхностных источника и 13 подземных водозаборов, в том числе дополнительный подземный источник – Вилинский водозабор (покупная вода). Основным источником водоснабжения является Черноречeнское водохранилище (75 % потребителей), которое является поверхностным источником водоснабжения Севастополя и расположено на реке Чёрная в юго-восточной части Байдарской долины у села Озерное.

В эксплуатации находится 3 гидроузла, 3 водопроводных очистных сооружения, 25 водопроводных узлов, 68 насосных станций, 17 подкачивающих насосных станций, 45 эксплуатационных скважин, 1207,6 км водопроводных сетей, из которых самортизированных – 805,22 км (66,68 %), в том числе аварийных – 124,35 км (10,3 %). С учетом принятия в хозяйственное ведение бесхозяйных сетей и износом эксплуатируемых, уменьшается протяженность сетей, находящихся в аварийном состоянии. Ежесуточно потребителям подается в зависимости от времени года 140-185 тыс. $м^3$.

В 2022 году для технических нужд ГУПС «Водоканал» с целью пополнения реки Чёрная осуществлялась эксплуатация дополнительного поверхностного источника водоснабжения: Кадыковский обводненный карьер. В 2022 году техническое водоснабжение осуществлялось также из ковшевого водозабора на реке Бельбек, из реки Чёрная для жителей села Черноречье.

Централизованное водоснабжение отсутствует в населенных пунктах: село Морозовка, село Кизиловое, село Гончарное, село Резервное, село Колхозное, село Камышлы [4].

Для проведения эксперимента были отобраны пробы воды согласно методикам [5,6] на Северной и Южной стороне. Пробы отстаивались в течении 6 часов, затем производилось 1, 3, 9, 27, 81-кратное разбавление тестируемой воды. Тест-культуры помещались в разбавленную воду, а также в контрольную пробу с ди-

стиллированной водой. По 3 пробирки для каждой пробы с дафниями погружались в устройство экспонирования рачков и ставились в климатостат на 48 часов. По 4 пенициллинки каждой пробы помещались в Культиватор водорослей многокюветный КВМ-05 на 22 часа. Далее происходил подсчёт погибших дафний в пробах и проверка оптической плотности хлореллы. Результаты представлены в таблицах.

Таблица 1. *Результаты биотестирования по дафниям (Северная сторона)*

Дата, время отбора проб	10.04.24, 8.00
Наименование объекта	питьевая вода
Вид отобранной пробы	разовая
Время хранения пробы до началабиотестирования	6 ч.
Используемые тест-организмы,возраст	*Daphnia magna*, возраст 6-24 ч.
Оборудование и условиябиотестирования	Климатостат Р2, температура (20 ± 1) °С , фотопериод: 12ч. - световой, 12 ч. - ночной, освещенность искусственная (1400 лк)
Время хранения пробы от отбора до начала биотестирования	6 ч.
Режим кормления	10 см^3 суспензии водорослей хлорелла на 200 см^3 синхронной культуры за 12 часов до проведения биотестирования
Повторности для каждого разбавления воды	Три
Исследуемые концентрации сточных вод	1,2; 3,7; 11; 33; 100%
Соответствующая степень разбавления сточных вод	Разбавления в 1 (без разбавления) 3, 9,27, 81 раз
t, pH исследуемой воды	21°С, pH 7,3
Средняя летальная кратность разбавления в остром опыте ЛКР 50-48	–
Безвредное разбавление в остром опыте БКР 10-48	2,5 раза

В тестируемой воде Северной стороны количество погибших дафний по сравнению с контролем для 1, 3, 9, 27, 81-кратного разбавления тестируемой воды в долях составило, соответственно: 0,47; 0,04; 0; 0,07; 0. Анализ этих данных показывает, что переход через критерий безвредной кратности разбавлений в виде 10%-й смертности (в долях это 0,1) имеет место между разбавлениями тестируемой воды в 1 и 3 раза. В этом случае 40%-ная концентрация пробы является безвредной для дафний, БКР10-48=2,5 (кратность разбавления в 2,5 раз).

Таблица 2. *Результаты биотестирования по хлорелле (Северная сторона)*

Дата, время отбора проб	10.04.24, 8.00
Наименование объекта	питьевая вода
Вид отобранной пробы	разовая
Время хранения пробы до начала биотестирования	6 ч.
Используемые тест-организмы, возраст, условия выращивания	*Chiorella vulgaris*, суточная культура, выращенная в культиваторе КВ-05 на 50% среде Тамия
Место биотестирования и условия	Многокюветный культиватор водорослей КВМ-05, температура 36±0,3 °С, начальная оптическая плотность тест-культуры водорослей 0,005, питательная среда Тамия (2%)
Продолжительность биотестирования	22 часа
Метод биотестирования	Измерение оптической плотности тест-культуры водоросли *Chlorella vulgaris* после выращивания на контрольной и опытной воде
Повторности для каждой концентрации	4
Степень разбавления сточных вод	Разбавления в 1 (без разбавления) 3, 9,27, 81 раз
t, pH в исследуемой воде	21 °С, pH 7,3
Величина токсической кратности разбавления (ТКР)	45,7 раз

В пробе Северной стороны значения индекса I для 1, 3, 9, 27, 81-кратного разбавления тестируемой воды в долях составило, соответственно: 0,77; 0,69; 0,28; 0,25; 0,15. Анализ этих данных показывает, что переход через критерий

токсичности в виде 20% подавления роста (в долях это 0,2) имеет место между разбавлениями тестируемой воды в 27 и 81 раз. В этом случае ТКР=45,7.

Таблица 3. *Результаты биотестирования по дафниям (Южная сторона)*

Дата, время отбора проб	05.06.24, 8.00
Наименование объекта	питьевая вода
Вид отобранной пробы	разовая
Время хранения пробы до начала биотестирования	6 ч.
Используемые тест-организмы, возраст	*Daphnia magna*, возраст 6-24 ч.
Оборудование и условия биотестирования	Климатостат Р2, температура (20 ± 1) °С , фотопериод: 12ч. - световой, 12 ч. - ночной, освещенность искусственная (1400 лк)
Время хранения пробы от отбора до начала биотестирования	6 ч.
Режим кормления	10 см3 суспензии водорослей хлорелла на 200 см3 синхронной культуры за 12 часов до проведения биотестирования
Повторности для каждого разбавления воды	Три
Исследуемые концентрации сточных вод	1,2; 3,7; 11; 33; 100%
Соответствующая степень разбавления сточных вод	Разбавления в 1 (без разбавления) 3, 9,27, 81 раз
t, pH исследуемой воды	21°С, pH 7,8
Средняя летальная кратность разбавления в остром опыте ЛКР 50-48	1,24 раза
Безвредное разбавление в остром опыте БКР 10-48	2,95 раз

В тестируемой воде Южной стороны количество погибших дафний по сравнению с контролем для 1, 3, 9, 27, 81-кратного разбавления тестируемой воды в долях составило, соответственно: 0,6; 0,1; 0,04; 0,07; 0. Анализ этих данных показывает, что переход через критерий острой токсичности в виде 50%-ной смертности (в долях это 0,5) имеет место между разбавлениями тестируемой воды в 1 и 3 раза. В этом случае 80,6%-ная концентрация исследуемой пробы вызывает 50%-ную гибель тест-объектов за 48 ч., ЛКР50-48 = 1,24 (кратность разбавления в 1,24 раз). Безвредной кратность разбавлений в виде 10%-й смертности (в долях это 0,1) имеет место между разбавлениями тестируемой воды в 3 и 27 раза. В этом случае 33,9%-ная концентрация пробы является безвредной для дафний, БКР10-48=2,95 (кратность разбавления в 2,95 раз).

Таблица 4. *Результаты биотестирования по хлорелле (Южная сторона)*

Дата, время отбора проб	05.06.21, 8.00
Наименование объекта	питьевая вода
Вид отобранной пробы	разовая
Время хранения пробы до начала биотестирования	6 ч.
Используемые тест-организмы, возраст, условия выращивания	*Chiorella vulgaris*, суточная культура, выращенная в культиваторе КВ-05 на 50% среде Тамия
Место биотестирования и условия	Многоюоветный культиватор водорослей КВМ-05, температура 36±0,3 °С, начальная оптическая плотность тест-культуры водорослей 0,005, питательная среда Тамия (2%)
Продолжительность биотестирования	22 часа
Метод биотестирования	Измерение оптической плотности тест-культуры водоросли *Chlorella vulgaris* после выращивания на контрольной и опытной воде
Повторности для каждой концентрации	4
Степень разбавления сточных вод	Разбавления в 1 (без разбавления) 3, 9,27, 81 раз
t, pH в исследуемой воде	21 °С, pH 7,3
Величина токсической кратности разбавления (ТКР)	7,58 раз

В пробе Южной стороны значения индекса I для 1, 3, 9, 27, 81-кратного разбавления тестируемой воды в долях составило, соответственно: 0,65; 0,41; 0,17; 0,11; 0,12. Анализ этих данных показывает, что переход через критерий токсичности в виде 20% подавления роста (в долях это

0,2) имеет место между разбавлениями тестируемой воды в 3 и 9 раз. В этом случае ТКР=7,58.

Заключение

Таким образом, проведённые исследования показали, что вода питьевого водоснабжения Северной и Южной стороны оказалась токсичной. Причём, хлорелла оказалась более чувствительной при исследовании воды Северной стороны, а дафнии сильнее отреагировали на воду Южной стороны. Для установления причин нужны дополнительные аналитические исследования.

Список литературы

1. В Крыму намерены решить проблему с водой без помощи Украины [электронный ресурс] // ИД «Коммерсантъ». 2021 г. – Электрон. данные. URL: https://www.kommersant.ru/doc/4750258#id1954117 (дата обращения: 01.03.2024 г.). – Заглавие с экрана.
2. Севастопольские ученые заявили о найденных больших запасах пресной воды [электронный ресурс] // РБК. 2020 г. – Электрон. данные. URL: https://www.rbc.ru/rbcfreenews/5eecc0029a7947d85d524486 (дата обращения: 01.03.2024 г.). – Заглавие с экрана.
3. Севастополь начал получать воду из озера на Гасфорта // REGNUM. 2020 г. – Электрон. данные. URL: https://regnum.ru/news/economy/3142802.html (дата обращения: 01.03.2024 г.). – Заглавие с экрана.
4. Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя за 2022 год. – Севастополь: Департамент природных ресурсов и экологии города Севастополя, 2023. – 349 с.
5. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris Beijer*) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления : утвержден Федеральным центром анализа и оценки техногенного воздействия 10.10.2014 : введен 10.10.2014 – Москва: ФБУ ФЦАО, 2014. – 37 с.
6. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06. Методика измерений количества дафний (*Daphnia magna Straus*) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления методом прямого счета : утвержден Федеральным центром анализа и оценки техногенного воздействия 10.10.2014 : введен 10.10.2014. – Москва: ФБУ ФЦАО, 2014. – 39 с.

References

1. In Crimea, they intend to solve the problem with water without the help of Ukraine [electronic resource] // Kommersant Publishing House. 2021 – Electron. data. URL: https://www.kommersant.ru/doc/4750258#id1954117 (date of access: 03/01/2024). – Title from the screen.
2. Sevastopol scientists announced the found large reserves of fresh water [electronic resource] // RBC. 2020 – Electron. data. URL: https://www.rbc.ru/rbcfree-news/5eecc0029a7947d85d524486 (date of access: 03/01/2024). – Introduction from the screen.
3. Sevastopol began to receive water from the lake on Gasforta // REGNUM. 2020 – Electronic data. URL: https://regnum.ru/news/economy/3142802.html (date of access: 03/01/2024). – Title from the screen.
4. Annual report on the state and protection of the environment of the city of Sevastopol for 2022. – Sevastopol: Department of Natural Resources and Ecology of the city of Sevastopol, 2023. – 349 p.
5. MON F T 14.1:2:3:4.10-04. The method of measuring the optical density of Chlorella vulgaris Beijer algae culture for determining the toxicity of drinking, fresh natural and wastewater, water extracts from soils, soils, sewage sludge, production and consumption waste : approved by the Federal Center for Analysis and Assessment of Anthropogenic Impact 10.10.2014 : introduced 10.10.2014 – Moscow: Federal State Budgetary Institution of the Federal Administrative District, 2014. – 37 p.
6. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06. Методика измерений количества дафний (*Daphnia magna Straus*) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления методом прямого счета : утвержден Федеральным центром анализа и оценки техногенного воздействия 10.10.2014 : введен 10.10.2014. – Москва: ФБУ ФЦАО, 2014. – 39 с.

УДК 534.83

Акустический канал утечки информации в помещениях офисного типа

Р.А. Ипатьев
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, ipatev99@inbox.ru

Статья поступила 29.05.2024 г.; после доработки 30.05.2024 г.

Аннотация

В данной статье исследован акустический канал утечки информации в офисных помещениях как один из ключевых технических каналов. Проанализированы существующие способы акустической защиты, включая пассивные и активные методы. Определены возможности применения современных технологий, таких как акустические метаматериалы и адаптивные акустические системы, для повышения уровня акустической безопасности и предотвращения несанкционированного перехвата речевой информации.

Ключевые слова: акустический канал утечки информации, звукоизоляция, звукопоглощение, акустические метаматериалы, адаптивные системы.

Acoustic information leakage channel in office-type premises

R.A. Ipatiev
Sevastopol State University,33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, ipatev99@inbox.ru

Received 29.05.2024 y.; received in final form 30.05.2024 y.

Abstract

This article studies the acoustic channel of information leakage in office premises as one of the key technical channels. The existing methods of acoustic protection, including passive and active methods, are analyzed. The possibilities of using modern technologies, such as acoustic metamaterials and adaptive acoustic systems, to increase the level of acoustic security and prevent unauthorized interception of speech information are determined

Keywords: acoustic channel of information leakage, soundproofing, sound absorption, acoustic metamaterials, adaptive systems

Введение

В современном мире обеспечение безопасности информации является одним из ключевых аспектов функционирования любой коммерческой или государственной организации.

Вопросы защиты акустических данных поднимаются во многих исследованиях [1,2,3]. Несмотря на бурное развитие технологий, акустические сигналы до сих пор остаются одними из значимых способов информационного взаимодействия. В условиях офисных помещений, где постоянно проводятся совещания и переговоры, телефонные разговоры и обсуждения конфиденциальных данных, акустическая утечка может привести к серьезным последствиям, включая непосредственно финансовые потери, а также и возникновение репутационных рисков компании.

Офисные помещения зачастую не обеспечены достаточными мерами акустической защиты, что делает их уязвимыми для злоумышленников. Актуальность проблемы усиливается с развитием специальных технологий и методов сбора информации на значительных расстояниях с последующей обработкой звуковых сигналов.

Все это создает необходимость в более глубоком изучении и совершенствовании эффективных решений в области обеспечения защиты данных от утечек за счет акустических каналов.

Постановка задачи

Целью данной статьи является исследование механизмов акустической утечки информации в помещениях офисного типа и разработка рекомендаций по повышению уровня акустической безопасности. Для достижения поставленной в статье цели необходимо рассмотреть акустический канал утечки конфиденциальной информации, провести анализ существующих методов акустической защиты, а также определить перспективные на сегодняшний день направления в области акустической безопасности.

Акустический канал утечки конфиденциальной информации

Под акустической подразумевают ту информацию, которая образуется и распространяется за счет звуковых сигналов, создаваемых голосовым аппаратом человека или другими источниками звука. Такая информация может носить конфиденциальный характер и быть подвержена перехвату с последующим анализом, что приводит к утечке сведений ограниченного доступа.

Акустический каналом в свою очередь называется совокупность источника звуковых волн, среды распространения, а также приемником таких сигналов. Эффективность передачи звука зависит от частоты и амплитуды звуковых волн, а также от акустических свойств материалов среды распространения.

Акустическая утечка информации в офисных помещениях может происходить через различные строительные конструкции и инженерные коммуникации. К таким физическим препятствиям относятся стены, пол и потолок помещения, имеющиеся двери и окна, а также иные коммуникация, через которые проходят звуковые волны, то есть различные трубы, кабели, элементы систем отопления, кондиционирования и освещения (рис. 1).

Передача информации через звуковые сигналы может происходить как непреднамеренно через конструкции помещения, так и преднамеренно с помощью диктофонов, направленных микрофонов, акустических закладок и других устройств. Помимо прямого распространения звуковые волны вызывают вибрации окружающих предметов, которые в свою очередь могут быть перехвачены и преобразованы из механических колебаний в электрические сигналы для последующего анализа.

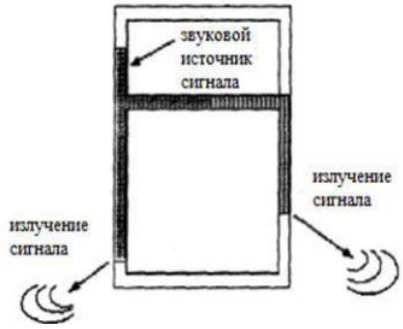


Рис. 1.Излучение акустического сигнала

Колебания, генерируемые звуковыми волнами также могут влиять и на электронные элементы различных устройств, провода и высокочастотные генераторы, что приводит к изменениям электрических параметров и магнитных свойств. Все это может быть обнаружено и использовано злоумышленникам для съема конфиденциальной информации, передающейся за счет акустических сигналов.

Анализ методов акустической защиты

Вопрос обеспечения акустической безопасности занимает важную позицию в сфере защиты информационных активов, так как даже в обсуждениях рабочих вопросов циркулируют сведения конфиденциального характера, которые могут быть оперативно перехвачены в момент их озвучивания. Акустический канал является одним из самых сложных для обнаружения и защиты, так как звуковые волны могут распространяться через различные материалы и конструкции. Применение активных и пассивных методы защиты, каждые из которых обладают разнообразными подходами и технологиями, позволяют минимизировать или вовсе полностью исключить риск утечек за счет акустического канала.

Использование пассивных методов защиты нацелено на препятствие свойства звуковых волн распространятся через разные материалы и другие физические барьеры, неся в себе важную информацию, а впоследствии и выходить за пределы помещения или целого здания. Один из самых действенных способов защиты ценных данных от утечек через акустический канал — это использование звукопоглощающих материалов,

которые особенно эффективны в помещениях с высокими потолками, склонных к отражению звуковых волн. Важно понимать, что злоумышленники могут выделить акустический сигнал при условии нахождения соотношения«сигнал/шум»в определенном диапазоне, используя для этого средства обработки.

Именно стремление уменьшить данное соотношение в потенциально опасных точках возможного перехвата информации через снижения уровня информативного сигнала и является основной целью этого метода защиты.

Для затруднения перехвата акустической информации применяется звукоизоляция, которая ограничивает влияние источников звука в пространстве, что приводит к снижению соотношения «сигнал/шум» до приемлемого уровня. Звукопоглощающие материалы могут быть установлены на стены, двери, окна, потолок и пол помещения. Для максимальной эффективности звукоизоляции эти материалы должны иметь определенную толщину и плотность.

Важно отметить, что звуковая изоляция не дает полную блокировку прохождения звука, а скорее частично снижает его уровень до приемлемого.

Звукоизоляция отдельных конструкций включает в себя различные виды.

1) Звукоизоляция стен и перегородок. Применяется использование толстых стен и перегородок из плотных материалов, таких как бетон, кирпич или гипсокартон, а также дополнительные звукоизоляционные вставки. Существуют также устройства двойных стен с промежутком, заполненным звукоизоляционным материалом, например, минеральная вата или пенопласт.
2) Звукоизоляционные специальные двери с утолщенными полотнами и герметичными уплотнителями, а также окна с двойным (тройным) остеклением с применением звукоизоляционных рам для минимизации возможности передачи звука через стекло.
3) Звукоизоляционные покрытия, включающие в себя акустические панели на стенах и потолках для поглощения звуковых волн и уменьшения их отражения внутри помещения, а также ковровые покрытия на полах.
4) Отдельно стоит обратить внимание на герметизацию. Применение акустического герметика для закупоривания различных щелей и стыков помогает предотвратить утечку звуковых сигналов.

Активные методы защиты же включают использование технологий и устройств, которые активно подавляют или маскируют звуковые волны, делая их недоступными для прослушивания. В основе этого метода лежит использование зашумления, а также специальных устройств, установленных на стенах, потолке и дверях защищаемого помещения. Эти устройства могут быть настроены на подавление определенных частот, что эффективно предотвращает утечки информации через акустический канал. Для защиты помещений применяются генераторы шума и вибрационные системы зашумления, создающие шумовые («речеподобные») и комбинированные помехи.

Самыми распространенными генераторами являются генераторы белого шума, создающие фон, маскирующий речевые сигналы и делающий их неразличимыми для устройств прослушивания. Такие генераторы зачастую устанавливаются в зонах, где обсуждаются конфиденциальные вопросы, к которым относятся переговорные комнаты и кабинеты руководителей.

Широкое применение получили средства виброакустической защиты, которые создают виброакустические шумовые колебания в элементы конструкций помещения. Зачастую устанавливаются на дверях, окнах и элементах инженерных коммуникаций.

Отметим, что данные средства активной защиты, представленные ранее, имеют свои преимущества и недостатки.

Генераторы шума хорошо заглушают речевые сигналы в условиях низкого уровня фонового шума, но их эффективность снижается по мере повышения этого уровня, аустройства виброакустической защиты подходят для помещений с тонкими стенами и потолками, но не всегда практичны при наличии, например, металлических поверхностей.

Главный же недостаток активных методов защиты возникает из-за его функционального назначения. Использование генераторов шума и устройств зашумления может затруднить нормальную работу оборудования в помещении, а также вызвать лишний дискомфорт у людей, участвующих в обсуждении. Именно поэтому важно провести оценку мощности и возможного расположения данных средств, а также их влияние на окружающие пространство.

Кроме основных пассивных и активных методов, существуют дополнительные организационные меры, которые могут быть применены для повышения уровня акустической безопасности. Рекомендуется разделение офисного пространства на зоны с разным уровнем доступа, чтобы минимизировать риск утечки информации, а

также создание контролируемых зон вокруг защищаемых помещений для затрудненияевозможности прослушивания извне. Также рекомендуется проводить тренинги для сотрудников по вопросам акустической безопасности и правильному использованию защитных средств.

Современные направления в области защиты акустической информации

Актуальность рассматриваемой в статье проблемы только растет, ведь с развитием новых технологий различные устройства перехвата информации тоже совершенствуются.

С течением времени методы съема акустических сигналов становились все сложнее и вот уже такие технические средства как лазерные или высокочувствительные направленные микрофоны, которые позволяют собирать информацию на значительном расстоянии, становятся нормой в сфере акустической разведки. В связи с этим возникает необходимость в улучшении уже имеющихся или разработке новых подходов и средств защиты.

Научные исследования продолжают разрабатывать новые материалы с улучшенными звукоизоляционными характеристиками. Одним из таких материалов является акустический метаматериал, который представляет собой искусственно созданные структуры, обладающие уникальными звуковыми свойствами, не встречающимися в природных материалах (рис.2).

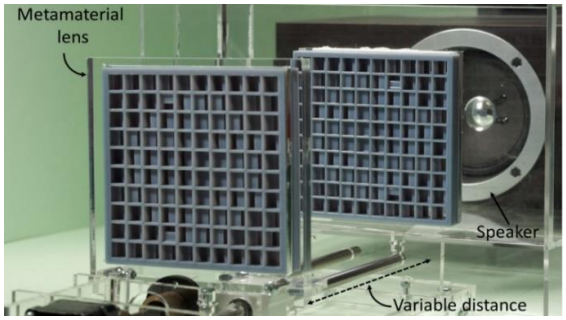


Рис. 2.Влияние акустического метаматериала на поглощения звуковых волн

Благодаря своей особой структуре, они могут управлять звуковыми волнами, что открывает новые возможности в области звукоизоляции, звукопоглощения и акустической безопасности. Это осуществляется путем манипулирования параметров звука. Акустические метаматериалы состоят из повторяющихся ячеек или узоров, изготовленные из различных материалов, таких как пластик, металл или композиты.

Применение метаматериалов в конструкциях офисных помещений позволит значительно улучшить звукоизоляционные характеристики стен, полов и потолков, эффективно предотвращая прохождение звука через преграды. Для временного создания акустически изолированных зон можно применять переносные звукоизоляционные панели, сделанные из метаматериалов, используемые. Также метаматериалы изготавливаются на фильтрацию нужных частот, из-за чего возможно их применение в системах активного шумоподавления и акустической маскировки. Примером такого акустического метаматериала является разработка специалистов из Бостонского университета, которые предложили «дышащее» пластиковое кольцо, блокирующее до 94% шума.

Еще одним перспективным направлением в области защиты акустической конфиденциальной информации являетсяразработка систем на основе адаптивного модуля управления, направленных на блокирование акустических каналов утечки в неожиданных изменяющихся условиях среды путем изменения алгоритмов функционирования или поиска оптимальных состояний. В составе одной из таких систем используются:

1) микрофонный усилитель, который обеспечивает равномерное усиление сигнала во всем диапазоне частот человеческой речи;
2) специальные фильтры, применяемые для выбора необходимых частот (полосовой) и блокирования выделенной частоты, чтобы получить полезный сигнал без остановки процесса активного зашумления;
3) С помощью электронного ключа можно переключить сигнал для изменения пути информативного сигнала.
4) Для работы модуля используется микропроцессор.

Использование систем, основанных на применении адаптивных модулей управления, позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям и обеспечивать высокий уровень защиты. Такие системы могут подстраиваться под акустическую обстановку автоматически и эффективно управлять параметрами звука в помещении. Благодаря оптимизации процессов выполнения требуемых задач такие системы предназначены для минимизации участия человеческого фактора, из-за которого в большинстве случаев и происходят утечки конфиденциальной информации. Впоследствии адаптивные системы акустической безопасности могут быть интегрированы с системами видеонаблюдения и контроля доступа, чтобы создать эффективное

комплексное решение.

Заключение

Акустический канал утечки информации в наше время все еще является одним из важнейших среди технических каналов и требует особого внимания к мерам защиты. Данный аспект информационной безопасности приобретает все большее значение в условиях современных офисных пространств, где конфиденциальность деловых переговоров и обсуждений является критически важной.

Звуковые волны могут распространяться через различные материалы и конструкции, что делает их перехват возможным даже через стены и закрытые двери. Кроме того, современные технологии записи и обработки звука позволяют злоумышленникам эффективно захватывать и анализировать речевую информацию, не привлекая лишнего внимания.

Анализ существующих исследований в области акустической защиты информации показывает, что сочетание пассивных и активных методов является наиболее эффективным подходом к предотвращению акустических утечек. Использование специализированных звукоизоляционных материалов и конструкций существенно снижает риск утечки речевых сигналов за пределы помещения.

Эффективной мерой защиты являются многослойные конструкции с использованием звукоизоляционных панелей и специализированных акустических материалов. Также установлено, что применение активных методов защиты, таких как генераторы белого шума, дополнительно повышают уровень акустической безопасности.

Будущие исследования в данной области должны быть направлены на разработку более эффективных и экономически выгодных методов защиты акустической информации, а также на интеграцию акустических систем с другими технологиями безопасности.

Важно продолжать изучение свойств акустических метаматериалов и возможностей их применения в различных условиях, а также развитие адаптивных модулей, способных подстраиваться к динамическим изменениям среды, что обеспечивает высокую степень конфиденциальности в режиме реального времени.

Список литературы

1. Калита А.О. Разработка системы блокирования акустических каналов утечки информации с адаптивным управлением. /А.О. Калита А.О., М.И. Ожиганова // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия: Естественно-математические и технические науки. 2019. № 1 (236). С. 131-136.
2. Тищенко Е.Н. Проектирование систем защиты информации от утечки по техническим каналам с адаптивным управлением / Е.Н. Тищенко Е.Н., А.О. Егорова, М.И. Ожиганова // В сборнике: Информационная безопасность цифровой экономики. Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции (в рамках IX Пленума регионального отделения Федерального учебно-методического объединения в системе высшего образования по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 10.00.00 «Информационная безопасность» по Сибирскому и Дальневосточному федеральным округам (СибРОУМО)). Новосибирск, 2022. С. 340-347.
3. Гончаренко Ю.Ю. Оптимизация акутического контроля на потенциально опасных объектах/ Ю.Ю. Гончаренко, М.И. Ожиганова // Симферополь, 2023.
4. Бурлаков М. Е. Акустические и виброакустические каналы утечки информации. Теоретические основы и базовый практикум / М.Е. Бурлаков, М.Н. Осипов // Самара: Издательство Самарского университета, 2021. – 96 с
5. Нечай А. А., Анализ каналов утечки информации / А.А. Нечай, Ю.Ю. Проточанская, П.Е. Котиков. //Наука, образование, общество. – 2014. – №. 1. – С. 22.
6. Алексеев В.В. Теоретические основы построения и применения научно-исследовательского комплекса мониторинга характеристик защищенности конфиденциальной информации / В. В. Алексеев, В. А. Гриднев, М. В. Моисеева, А. П. Рыжков, А. В. Яковлев// Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2022. – 100 с
7. Устинов РА. Особенности современных систем защиты речевой информации[Электронный ресурс]. – Режим доступа к ст.:https://bit.spels.ru/index.php/bit/article/view/279 / (дата обращения 20.04.2024)
8. Алексеев В.В.Способ защиты речевой информации в офисном помещении / В.В. Алексеев, Д.А. Клинков, А.В.Яковлев.[Электронный ресурс] – Режим доступа к ст.:http://uzulo.su/prav-inf/pdf-jpg/pi-2023-2-st06-s044-053.pdf/ (дата обращения 26.04.2024)
9. БобровницкийЮ. И. Поглощение звука и метаматериалы / Ю. И. Бобровницкий, Т. М. Томилина.[Электронный ресурс] – Режим доступа к ст. :http://www.akzh.ru/pdf/2018_5_517-525.pdf/(дата обращения 08.05.2024)

References

1. Kalita, A.O. Development of the system of blocking acoustic channels of information leakage with adaptive control. / A.O. Kalita A.O., M.I. Ozhiganova //

Bulletin of Adygeya State University. Series: Natural-mathematical and technical sciences. 2019. № 1 (236). pp. 131-136.
2. Tishchenko E.N.. Designing systems of information protection from leakage through technical channels with adaptive control / E.N. Tishchenko E.N., A.O. Egorova, M.I. Ozhiganova // In Collection: Information security of digital economy. Proceedings of the XVIII All-Russian Scientific and Practical Conference (within the framework of the IX Plenum of the regional branch of the Federal Educational and Methodological Association in the system of higher education on the enlarged group of specialties and directions of training 10.00.00 “Information security” for Siberian and Far Eastern Federal Districts (SibROUMO)). Novosibirsk, 2022. pp. 340-347.
3. Goncharenko, Yu.Yu. Optimization of the acoustic control at the potentially dangerous objects / Yu.Yu. Goncharenko, M.I. Ozhiga-nova // Simferopol, 2023.
4. Burlakov, M.E. Acoustic and vibro-acoustic channels of information leakage. Theoretical foundations and basic practice / M.E. Burlakov, M.N. Burlakov, M.N. Osipov // Samara: Samara University Publishing House, 2021. - 96 p.
5. Nechay, A. A., Analysis of information leakage channels / A.A. Nechay, Yu. // Science, Education, Society. - 2014. - №. 1. - p. 22.
6. Alekseev V.V. Theoretical bases of the construction and application of the research complex of monitoring the characteristics of confidential information security / V. V. Alekseev, V. A. Gridnev, M. V. Moiseeva, A. P. Ryzhkov, A. V. Yakovlev // Tambov : Publishing center of FSBEU VO “TSTU”, 2022. - 100 c
7. Ustinov RA. Features of modern systems of protection of speech information [Elektronnyi resurs]. – Available at: https://bit.spels.ru/index.php/bit/article/view/279 / (date of address 20.04.2024).
8. Alekseev V.V. A method of protection of the speech information in the office room / V.V.. Alekseev, D.A. Klinkov, A.V. Yakovlev. [Electronic resource] –Available at: http://uzulo.su/prav-inf/pdf-jpg/pi-2023-2-st06-s044-053.pdf / (date of address 26.04.2024)
9. Bobrovnitsky, Yu. I. Sound absorption and metamaterials / Yu. I. Bobrovnitsky, T. M. Tomilina. [Electronic resource] –Available at: http://www.akzh.ru/pdf/2018_5_517-525.pdf / (date of address 08.05.2024)

УДК 631:623.454.836

Ведение сельского хозяйства на разных типах почв, подвергшихся радиационному загрязнению

Л.И. Лукина[1], Н.И. Ковалев[1], Д.А. Савченко[1]
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33, г. Севастополь, 299053, Россия. [1]selyanskij-as@ya.ru

Статья поступила 15.05.2024 г.; после доработки 16.05.2024 г.

Аннотация

Основной задачей реабилитации территорий, подвергшихся радиационному загрязнению в результате Чернобыльской аварии, является восстановление сельскохозяйственного производства. Рассмотрены реабилитационные мероприятия в растениеводстве и животноводстве. Произведен прогностический расчет дозовых нагрузок населения, употребляющего продукцию, произведенную на радиационно-загрязненных территориях, представленных разными видами почв.

Ключевые слова: реабилитация территорий, радиационное загрязнение, Чернобыльская авария, растениеводство, животноводство, прогностический расчет, дозовые нагрузки, типы почв.

Farming on different types of soils exposed to radiation contamination

L.I. Lukina[1], N.I. Kovalev[1], D.A. Savchenko[1]
Sevastopol State University, 33 Universitetskayast,, Sevastopol, 299053, Russia
[1]selyanskij-as@ya.ru,

Received 15.05.2024 y.; received in final form 16.05.2024 y.

Abstract

The main task of rehabilitation of territories exposed to radiation contamination as a result of the Chernobyl accident is the restoration of agricultural production. Rehabilitation measures in crop production and livestock production are considered. A prognostic calculation of the dose loads of the population consuming products produced in radiation-contaminated areas represented by different types of soils was made.

Keywords: rehabilitation of territories, radiation contamination, Chernobyl accident, crop production, livestock production, prognostic calculation, dose loads, types of soils.

Введение

От Чернобыльской катастрофы, имевшей тяжелые социально-экономические, медико-биологические, радиоэкологические последствия, нас отделяет 38 лет.

По масштабам радиоактивного загрязнения она имела глобальный характер, однако наибольшая плотность выпадения радионуклидов наблюдалась на территориях Белоруссии, России и Украины [1].

В течение времени, прошедшего после аварии, происходили автореабилитационные процессы самоочищения загрязненных территорий за счет естественного распада выпавших радионуклидов, их миграции в экосистемах, а также предпринимались различные контрмеры, направленные на реабилитацию радиационно-загрязненных территорий.

Чернобыльскую аварию называют «сельской аварией», потому что основные загрязненные территории относятся к зоне интенсивного

сельскохозяйственного производства, где аграрный сектор является ведущим в экономике [2]. Одним из наиболее важных экологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС явилось радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных угодий т.к. оно определяет поступление радионуклидов в организм человека с растениеводческой и животноводческой продукцией, произведенной на радиационно-загрязненных территориях. Поэтому основной задачей реабилитации пострадавших территорий было восстановление сельскохозяйственного производства [1], применение реабилитационных мероприятий как в растениеводстве, так и в животноводстве.

Постановка цели и задач научного исследовании

Целью данной работы было рассмотрение влияния типа почвы на миграцию радионуклидов по пищевым цепям и дозовую нагрузку на население за счет употребление в пищу сельскохозяйственной продукции, выращенной на этих почвах.

В задачи работы входило:

- рассмотрение особенностей формирования чернобыльских радиоактивных выпадений
- анализ реабилитационных мероприятий в сельском хозяйстве, представляющих собой систему организационных, агротехнических, агрохимических, технологических, зооветеринарных мероприятий, направленных на обеспечение производства продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам;
- прогностический расчет эквивалентных годовых доз внутреннего облучения населения, употребляющего продукцию растительного и животного происхождения, произведенную на радиационно-загрязненных почвах разных типов.

Особенность формирования Чернобыльских радиоактивных выпадений

Одной из основных особенностей аварии на Чернобыльской АЭС является её пролонгированный характер – радиоактивные выбросы продолжались 10 дней - с 26.04.1986 до 6.05.1986. В течение этого времени направление ветра неоднократно менялось и радиоактивное облако несколько раз изменяло свое направление в зависимости от розы ветров [3, 4]: 26.04 на северо-запад; 27.04 – на запад; 27-28.04 – на восток; 29.04-01.05 – восточно-южное направление; 02.05-03.05 – южное; 04.05-06.05 – юго-западное. Во время его продвижения происходило выпадение радиоактивных осадков, количество которых зависело от ландшафта местности и наличия атмосферных осадков в виде дождя и тумана (в горной местности) [4].

Радиоактивные чернобыльские выбросы представляли собой газо-паро-аэрозольную смесь. Большая часть радионуклидов попала в окружающую среду в виде адсорбированных на мелкодисперсных частицах сажи от горевшего графита. Кроме того, значительная часть радионуклидов находилась в составе малорастворимой топливной матрицы - "горячих частиц".

Таким образом, сложный характер аварии, продолжительное время интенсивных выбросов, разнообразие форм и состава выпадений при изменении погодных условий и ландшафта территории стали причиной пятнистого характера её загрязнения, неравномерности выпадений по физико-химическим формам и радионуклидному составу, что создавало определенные трудности при ликвидации последствий аварии.

В первый период после аварии, который называется «йодным», радиационная обстановка на загрязненной территории, определялась изотопами радиойода. В настоящее время основными дозоопределяющими являются биологически значимые изотопы ^{137}Cs, являющийся аналогом калия и ^{90}Sr, аналог кальция, имеющие период полураспада около 30 лет, а значит они будут активными ещё как минимум 250 лет. Причем, ещё одной особенностью чернобыльской аварии является то, что радиоцезия в окружающую среду было выброшено примерно в 10 раз больше, чем радиостронция, поэтому Чернобыльскую аварию называют также «цезиевой». Однако стронций в почве более подвижен, вследствие этого мониторинг радиоактивного загрязнения почвы, воды и продуктов питания ведется по этим двум самым долгоживущим продуктам распада урана - радионуклидам ^{137}Cs и ^{90}Sr.

Реабилитационные мероприятия в растениеводстве и животноводстве на радиационно-загрязненных территориях

При обосновании необходимости реабилитации сельскохозяйственных территорий основным критерием служит непревышение санитарно-гигиенических и ветеринарных нормативов в производимой продукции и (или) непревышение дозовых нагрузок на сельское население и

сельскохозяйственных работников [1].

С целью ликвидации последствий аварии на ЧАЭС за прошедшие после неё годы был выполнен масштабный комплекс защитных и реабилитационных мероприятий, в результате чего концентрация радионуклидов в основных видах сельскохозяйственной продукции растениеводства и животноводства уменьшилась примерно 10-20 раз, при этом значительно уменьшились дозовые нагрузки на население.

Выделяют три периода загрязнения территорий радиоактивными веществами. По времени, прошедшему после радиационной аварии, выделяют периоды:

- период «йодной» опасности – продолжительность первые 60 - 80 дней (ранний период – первые 5-7 суток);
- период поверхностного загрязнения с/х угодий и растений радионуклидами – продолжительность до 1 года после аварии;
- период корневого поступления радионуклидов в растения – продолжительность десятки лет.

Предупредительные меры, применяемые до и во время радиоактивных выпадений с целью предотвращения поступления загрязнения с пастбищными травами при выпасе животных, приведены в таблице 1.

Таблица 1. *Предупредительные меры, применяемые до и во время радиоактивных выпадений (избегать прямого загрязнения с/х продуктов)*

Метод	Эффективность	Пояснения	Класс
1.Укрыть водонепроницаемыми средствами открытые запасы продовольствия, кормов и открытые источники водоснабжения	100%	Укрытие стогов сена, буртов свеклы, картофеля пластиковым покрытием или брезентом	широко применяемый
2. Убрать созревший урожай до начала выпадений	100%	Уборка созревших наземных частей с/х растений	широко применяемый/эффективный, но может не хватить нужных ресурсов
3.Укрыть обрабатываемые площади водонепро-ницаемым покрытием	100%		эффективный, но может не хватить нужных ресурсов

Выделяют несколько групп защитных и реабилитационных мероприятий. В растениеводстве это агротехнические, агрохимические, технологические методы переработки сельскохозяйственного сырья, а в животноводстве - зооветеринарные и технологические приемы переработки продуктов животноводства. В таблице 2 приведены мероприятия по снижению содержания радионуклидов в продукции растениеводства.

Таблица 2. *Реабилитационные мероприятия в растениеводстве*

Наименование мероприятий		
Агрохимические	Агротехнические	Технологические
- известкование кислых почв; - внесение повышенных доз калийных удобрений; - внесение повышенных доз фосфорно-калийных удобрений; - использование природных минеральных сорбентов (различные виды глинистых минералов); - комплексное применение различных видов минеральных и органических удобрений	- проведение глубокой вспашки с оборотом пласта (на высокоплодородных почвах); - увеличение доли площадей под культуры с низким уровнем накопления радионуклидов; - предотвращение вторичного загрязнения растений путем сокращения кол-ва междурядных обработок, проведения работ по влажной почве, использование с/х авиации; - коренное улучшение лугов и пастбищ;	- первичная дезактивация продукции растениеводства: промывка и первичная очистка плодоовощной и технической продукции; - приёмы глубокой дезактивации: переработка полученной продукции с целью снижения содержания радионуклидов (вымачивание, маринование, засолка, консервирование)

Мероприятия, снижающие поступление радионуклидов в продукцию животноводства, можно условно разделить на три группы:

1. Изменения в режиме содержания крупного рогатого скота и других сельскохозяйственных животных (ограничение выпаса, перевод на стойловое содержание с использованием незагрязненных кормов).
2. Рациональное использование кормов и кормовых добавок; изменения в технологии кормопроизводства, применение сорбентов для выведения радионуклидов из организма.
3. Перепрофилирование отдельных звенев или всей отрасли.

Особенности ведения животноводства в пастбищный период состоят в том, что, если какие-либо корма под открытым небом подвергаются радиоактивному загрязнению, поверхностный слой кормов следует удалить, а животных перевести на стойловое содержание.

Из применяемых в настоящее время сорбентов наиболее эффективным для выведения радиоцезия и других тяжелых металлов является ферроцин $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ – гексацианоферрат железа, производное гексацианоферрата (II) калия $K_4[Fe(CN)_6]$. Для производства нормативно-чистой продукции животноводства как в общественном, так и в индивидуальном секторе сорбенты применяют в течение всего пастбищного периода (для молочного скота) или последних 2-3 месяцев перед убоем животных (для мясного скота). Наибольшее распространение в ветеринарии получил сорбент ферроцин-2 (бифеж), который состоит из 5% железо-гексацианоферрата калия $KFe[Fe(CN)_6]$ и 95% железо-гексацианоферрата $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$. Бифеж применяют в виде болюсов или брикетов соли-лизунца.

Организационные контрмеры касаются изменения землепользования и перепрофилирования хозяйств. К ним относятся:

- увеличение площадей сельскохозяйственных угодий, занятых под продовольственными культурами с низким уровнем накопления радионуклидов;
- расширение производства продовольственных культур, предназначенных для последующей технологической переработки (сахарная свекла, рапс), кормовых или технических культур;
- изменение растениеводческого направления хозяйств на животноводческое;
- решение о смене вида животных.

Изменение землепользования (перепрофилирование хозяйств) - радикальная, но и наиболее дорогостоящая контрмера. Решения о ее введении, особенно на территориях с высокими уровнями загрязнения долгоживущими радионуклидами ^{137}Cs, ^{90}Sr могут приниматься в отдаленный (спустя годы) период после радиоактивных выпадений, когда другие контрмеры оказываются недостаточными. Коренные перемены в схеме землепользования неизбежно влекут за собой долгосрочные социальные и экономические последствия.

Для разработки защитных мероприятий используется не только радиологическая информация (радионуклидный состав выпадений, плотность загрязнения территории радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr), но и данные о типе почвы, структуре землепользования, технологиях возделывания культур, и др. показателях производственной деятельности. Для территорий с различной радиационной обстановкой защитные мероприятия проводятся дифференцированно [1, 6].

Прогностический расчет доз внутреннего облучения населения за счет сельскохозяйственной продукции, произведенной на различных типах радиационно-загрязненных почв с одинаковой плотностью загрязнения

В настоящее время основным источником поступления радионуклидов в пищевые цепочки стала почва. Поэтому важным фактором при обосновании контрмер является учет коэффициента перехода радионуклидов из почвы в растение, который сильно зависит от типа почвы.

Нами сделан прогнозный расчет годовых доз облучения населения, получаемых за счёт потребления хлеба, картофеля, зелёных овощей, молока и мяса, произведенных на разных типах радиационно-загрязненных почв при заданных условиях:

A. типы рассматриваемых почв – дерново-подзолистая песчаная, серая лесная суглинистая, чернозём выщелоченный
B. плотность поверхностного загрязнения составляет 10 Ku/км^2 по ^{137}Cs и 2 Ku/км^2 по ^{90}Sr
C. стойлово-пастбищное содержание животных с рационом: сено многолетних трав (4 кг/сут), вико-овсяная смесь (20 кг/сут), концентраты (зерно ячменя 2 кг/сут).

Расчет проводился в соответствии с алгоритмом, приведенном в [5]. Полученные данные по расчету прогностических доз внутреннего облучения за счет потребления растениеводческой и животноводческой продукции, произведенной на разных видах радиационно-загрязненных

почв, представлены в таблице 3.

Таблица 3. *Реабилитационные мероприятия в растениеводстве*

Радионуклид	Тип почв	$D_{внутр.}$, мкЗв/год	$\sum D_{внутр}$, мкЗв/год
^{137}Cs	Дерново-подзолистая песчаная	237,62	3 049,08
^{90}Sr		2811,46	
^{137}Cs	Серая лесная суглинистая	60,2	968,55
^{90}Sr		908,35	
^{137}Cs	Чернозем выщелоченный	36,9	294,42
^{90}Sr		257,52	

Из трех тестируемых почв самой неблагоприятной почвой для производства с/х продукции является дерново-подзолистая песчаная (далее просто песчаная), для которой величина суммарной годовой дозы внутреннего облучения за счет сельхозпродукции, загрязненной радиоцезием и радиостронцием, составила ~3050 мкЗв/год. С учетом дозы внутреннего облучения за счет других продуктов питания, составляющих пищевую корзину среднестатистического жителя этих территорий, а также дозы, получаемой при потреблении питьевой воды, которая составляет 80 мкЗв/год и дозы внешнего облучения за счет γ-излучения от ^{137}Cs, составляющей 500 мкЗв/год, годовая эффективная доза почти в 4 раза превышает установленный НРБ-99/2009 [7] предел годовой дозовой нагрузки для населения, составляющий 1000 мкЗв/год.

Для серой лесной суглинистой (далее - суглинистой) почвы ситуация значительно лучше – суммарная годовая доза облучения составила ~1000 мкЗв/год. Однако если её просуммировать с дозой внутреннего облучения, полученной за счет потребления других продуктов питания, а также с дозами от питьевой воды и внешнего облучения, она также превысит нормируемый НРБ-99/2009 предел годовой дозы облучения населения.

Наиболее предпочтительной почвой из трех тестируемых является чернозем выщелоченный, для которой суммарная доза внутреннего облучения за счет ^{137}Cs и ^{90}Sr, поступившего в организм с сельхозпродукцией, составила ~ 300 мкЗв/год. Если эту величину просуммировать с дозами внешнего облучения и внутреннего облучения за счет воды и других продуктов питания, она останется ниже установленного предела годовой эффективной дозы облучения в 1000 мкЗв/год.

Таким образом, продукцию, произведенную на песчаной почве употреблять в пищу нельзя. Хозяйства, расположенные на этих видах почв, должны быть перепрофилированы. Сельхозпродукцию, произведенную на суглинистой почве перед употреблением следует подвергать дополнительной переработке с целью её дезактивации, в хозяйствах необходимы контрмеры по уменьшению содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах. И лишь черноземные почвы пригодны для выращивания растениеводческой и производства животноводческой продукции при исходных данных по плотности загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr, а также стойловом содержании животных. Однако сельскохозяйственные реабилитационные мероприятия также рекомендуются.

Полученные данные соответствуют литературным [5, 6], в соответствии с которыми коэффициент перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr на песчаных почвах наибольший, суглинистые почвы лучше удерживают радионуклиды, а в черноземах их связь со структурными элементами почвы ещё сильнее.

Заключение

Особенностью формирования Чернобыльского радиоактивного следа явилась неоднородность загрязнения территории в результате фракционирования радиоактивных выпадений и влияния погодных условий.

Основной задачей ликвидации последствий аварии на ЧАЭС является восстановление сельскохозяйственного производства.

Проанализированы реабилитационные мероприятия в растениеводстве и животноводстве на радиационно-загрязненных территориях. Показано, что при недостаточности применяемых контрмер следует прибегать к изменению землепользования и перепрофилированию хозяйств, что ведет к долгосрочным социальным и экономическим последствиям.

Произведен прогнозный расчет годовых доз

облучения населения, проживающего на радиационно-загрязненных территориях с разными типами почв при одинаковой плотности загрязнения радиоцезием и радиостронцием, получаемых за счёт потребления хлеба, картофеля, зелёных овощей, молока и мяса при заданных условиях. Полученные данные свидетельствуют о том, что произведенную на песчаных почвах продукцию нельзя употреблять в пищу, сельхозпроизводство следует перепрофилировать; сельхозпродукция, произведенная на суглинистых почвах также не соответствует требованиям СанПиНа, поэтому она должна подвергаться дополнительной переработке с целью её дезактивации, а в хозяйствах, расположенных на суглинистых почвах следует проводить реабилитационные мероприятия в растениеводстве и животноводстве; растениеводческую и животноводческую продукцию, произведенную на черноземе, можно употреблять в пищу без дополнительных мер дезактивации, однако рекомендуются сельскохозяйственные контрмеры.

Список литературы

1. Санжарова Н.И., Панов А.В., Исамов Н.Н., Прудников П.В. Защитные и реабилитационные мероприятия в сельском хозяйстве: к 30-летию аварии на ЧАЭС // Агрохимический вестник. №2, 2016. – С.5-9.
2. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий / Под ред. Н.И. Санжаровой, С.В. Фесенко М.: РАН. 2018 – 278 с.
3. Лукина Л.И., Моисеев Д.В. Уроки Чернобыля // Системы контроля окружающей среды. № 2(44). 2021. – С. 106-118.
4. Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление. Двадцатилетний опыт: доклад экспертной группы «Экология» Чернобыльского форума. Вена: МАГАТЭ, 2008. – 180 с.
5. Оценка радионуклидного загрязнения сельскохозяйственной продукции, расчет и прогноз дозовых нагрузок на человека: метод. указания для выполнения курсовых, расчет.-граф. работ и практ. занятий по дисциплине «Радиационные источники» /Лукина Л. И., Ленивенко Н. Н., Щекатурина Т. Л. – Севастополь: Изд-во СевГУ, 2018. — 47 с.
6. Основы сельскохозяйственной радиоэкологии: учебное пособие для самостоятельной работы студентов / Пименова Е.И. – Пермь. 2009. – 118 с.
7. Санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009». Утверждены постановлением Роспотребнадзора от 7 июля 2009 г. N 47.

References

1. Sanzharova N.I., Panov A.V., Isamov N.N., Prudnikov P.V. Protective and rehabilitation measures in agriculture: to the 30th anniversary of the Chernobyl accident // Agrochemical Bulletin. No. 2, 2016. – P.5-9.
2. Radioecological consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant: biological effects, migration, rehabilitation of contaminated areas / Ed. N.I. Sanzharova, S.V. Fesenko M.: RAS. 2018 – 278 p.
3. Lukina L.I., Moiseev D.V. Lessons from Chernobyl // Environmental control systems. No. 2(44). 2021. – pp. 106-118.
4. Environmental consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant and their overcoming. Twenty years of experience: report of the Ecology expert group of the Chernobyl Forum. Vienna: IAEA, 2008. – 180 p.
5. Assessment of radionuclide contamination of agricultural products, calculation and forecast of dose loads on humans: method. instructions for completing coursework, calculation.-graph. works and practical classes in the discipline “Radiation Sources” / Lukina L. I., Lenivenko N. N., Shche-katurina T. L. - Sevastopol: SevGU Publishing House, 2018.- 47 p.
6. Fundamentals of agricultural radioecology: a textbook for independent work of students / Pimenova E.I. - Perm. 2009. – 118 p.
7. Sanitary rules and regulations. SanPiN 2.6.1.2523-09 “Radiation Safety Standards NRB-99/2009”. Approved by Resolution of Rospotrebnadzor dated July 7, 2009 N 47.

УДК 662.7

Исследование процессов окисления и горения твердых непищевых бытовых отходов

Шуатаев М.К.[1], Мельник Г.С.[1], Губин А.В.[2], Ларионов К.Б.[1,3]

[1]*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, 634050, Россия, e-mail: avg77@tpu.ru; mks11@tpu.ru*

[2]*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, 299053, Россия, e-mail: avgubin@mail.sevsu.ru*

[3]*ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева», Кемерово, 650000, Россия, e-mail: larionovkb@kuzstu.ru*

Статья поступила 17.05.2024 г.; после доработки 20.05.2024 г.

Аннотация

Исследованы характеристики окисления, зажигания и горения различных образцов твердых непищевых отходов. Исследование процесса окисления осуществлялось с применением термического анализа в окислительной среде (воздух). Процессы зажигания и последовательного горения топливных навесок твердых непищевых отходов исследовано в экспериментальной мусоросжигательной печи при температуре 700 °С с использованием высокоскоростной видеосъемки. Также был определен состав газофазных соединений, образующихся в процессе сгорания исследуемых образцов.

Ключевые слова: непищевые отходы, окисление, зажигание, горение, кинетика, температура греющей среды, энергии активации, состав газа

Study of the processes of oxidation and combustion of solid non-food household waste

Shuataev M.K.[1], Melnik G.S.[1], Gubin A.V.[2], Larionov K.B.[1,3]

[1]*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 634050, Russia, e-mail: avg77@tpu.ru; mks11@tpu.ru*

[2]*Sevastopol State University, Sevastopol, 299053, Russia, e-mail: avgubin@mail.sevsu.ru*

[3]*T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russia, e-mail: larionovkb@kuzstu.ru*

Received 17.05.2024 y.; received in final form 20.05.2024 y.

Abstract

The oxidation, ignition and combustion characteristics of various non-food solid waste samples were studied. The study of the oxidation process was carried out using thermal analysis in the temperature range 25-1000°C in an oxidizing environment (air). The processes of ignition and sequential combustion of fuel samples of solid non-food waste were studied in an experimental incinerator at a temperature of 700 °C using high-speed video recording. The composition of gas-phase compounds formed during the combustion of the studied samples was also determined.

Keywords: non-food waste, oxidation, ignition, combustion, kinetics, heating medium temperature, activation energies, gas composition

Введение

Быстрый рост мировой экономики, урбанизации, численности населения и уровня жизни привел к увеличению образования различных видов отходов, что, в свою очередь, значительно ускорило потребление природных ресурсов и привело к дополнительным затратам на управление экономикой [1]. По оценкам Всемирного банка, производство отходов увеличится с 2,01

миллиарда тонн в 2016 году до 3,40 миллиарда тонн в 2050 году. По меньшей мере, 33 % этих отходов сегодня нерационально используются во всем мире путем открытого захоронения или сжигания [2-4].

Несанкционированное складирование отходов под открытом небом наносят значительный ущерб окружающей территории, представляя угрозу для здоровья человека, вызывая инфекционные заболевания в результате попадания продуктов разложения в грунтовые воды и [5-9].

Одним из наиболее распространенных и менее рациональных методов обращения с отходами является их захоронение или компостирования на специализируемых полигонах [10-12]. Ненадлежащая практика обращения с отходами, особенно в развивающихся странах, приводит к значительному загрязнению компоста пластиковым мусором [13-15].

В свою очередь большинство отходов характеризуются хорошими энергетическими характеристиками [16] и могут быть использованы в качестве топлива ТЭЦ (например, refuse derived fuel (RDF) [17] для получения тепловой и электрической энергии. Подготовка RDF включает в себя ряд процессов, связанных с сортировкой, измельчением и последующем брикетировании отобранных компонент (Brown et al., 2023) [15].

Признание комплексной ценности предварительной сортировки и переработки отходов для процесса сжигания открывает новую перспективу в управлении отходами. Основным преимуществом в концепции сжигания отходов является утилизация и сокращение образующихся отходов, а также уменьшение использования ископаемого органического топлива для выработки энергии. Данный способ получил активно распространение, как в промышленно развитых, так и в развивающихся странах [18-21].

Ввиду неоднородности и сравнительно худших энергетических свойств отходов, интерес многих исследователей сконцентрирован также на совместном сжигании отходов с твердыми топливами, например, углем [21]. Авторами работ [22-25] было установлено, что совместное сжигание сосновых опилок и рисовой шелухи с углем способствовало снижению выделения NOx, что объясняется высоким содержанием летучих веществ и как следствие низкой температурой воспламенения биомассы. Интенсивное выделение большого количества летучих соединений потребляют кислород и создают вокруг смеси локальную восстановительную атмосферу, что приводит к уменьшению NOx до N2. Авторы исследования [26] оценили характеристики совместного сжигания шлама бумажной фабрики и бытовых отходов в различном массовом соотношении при разных скоростях нагрева. Полученные результаты показали, что на кинетику процесса совместного сжигания значительно влияет массовое соотношение используемых компонент. Также в работе [27] подтверждено, что добавление биомассы в ТБО улучшает характеристики сгорания данного топлива.

В исследовании [28] были представлены результаты термического анализа ТБО, по результату которого было установлено, что происходит несколько стадий разложения, что показывает сложную природу потока отходов. Первая стадия разложения начиналась сразу после 100 °C из-за потери содержания влаги, а вторая стадия начиналась после 200 °C, что соответствовало разложению других летучих компонентов, таких как органические кислоты и спирты. Вторая стадия разложения, которая происходит между 200°C и 500 °C, обусловлена разложением целлюлозы игемицеллюлозы. Третья стадия разложения, которая происходит между 500°C и 700 °C, обусловлена разложением лигнина и других сложных органических соединений. Конечная стадия разложения, происходящая при температуре выше 700 °C, обусловлена разложением остаточного угля и других неорганических компонентов [29].

Анализ литературных данных указывает, что большинство экспериментальных исследований в области сжигания (в частности окисления) твердых непищевых отходов основаны на использовании метода термического анализа, позволяющего оценивать параметры и кинетические характеристики процесса окисления. Таким образом, в настоящее время не проводилось прямого сравнения экспериментальных результатов окисления, зажигания и горения твердых непищевых отходов в термическом анализаторе и камере сгорания, где режим нагрева аналогичен работе реального топливосжигающего оборудования.

В настоящей работе представлено сопоставление результатов экспериментального исследования условий и характеристик процессов окисления, зажигания и горения твердых непищевых отходов в термогравиметрическом анализаторе и камере сгорания.

Материалы и методы

В качестве исследуемых образцов были использованы составляющие твердых непищевых

отходов (опилки, резина, кожа, картон, текстиль, пластик), имеющие широкое распространение в бытовом применении. Описание исследуемых образцов непищевых ТБО представлены в таблице 1.

Таблица 1. *Исследуемые образцы*

Наименование образца	**Исходное состояние**
Опилки	Старая мебель
Резина	Измельченные покрышки
Кожа	Обувь, бывшая в употреблении
Картон	Термостаканы для кофе
Текстиль	Одежда, бывшая в употреблении
Пластик	Гранулированный пластик (ПЭТ)

Таблица 2. *Технические характеристики и элементный состав*

Наименование образца	Технические характеристики				
	Ad, мас.%	Wa, мас.%	Vdaf, мас.%	Qi, МДж/кг	ρ, г/см^3
Опилки	8,62	3,82	82,33	27,97	0,19
Резина	21,7	0,4	38,97	18,38	0,42
Кожа	6,41	4,9	81,14	21,86	0,13
Картон	21,48	3,1	74,87	14,25	0,19
Текстиль	9,5	2,6	93,96	17,70	0,16
Пластик	-	-	99,47	45,83	0,11

Таблица 3. *Элементный состав непищевых ТБО*

Наименование образца	**Элементный состав, мас.%**				
	C^d	H^d	N^d	S^d	O^d
Опилки	48,46	5,9	3,65	-	33,37
Резина	65,36	6,39	0,91	1,7	3,96
Картон	40,59	5,03	0,15	-	32,75
Текстиль	45,39	6,3	0,17	-	38,64
Пластик	84,66	14,28	-	-	1,06
Кожа	50,45	6,33	10,47	1,15	25,19

Измельчение исходных материалов проводилось механическим методом с помощью режущего инструмента. Размер фрагментов измельченного материала не превышал 5 мм.

Технические характеристики (влажность W, зольность A, выход летучих веществ Vdaf и низшая теплота сгорания Qir) были определены с помощью стандартных методик: ISO 589:2008 «Определение общей влаги», ISO 562-2010 «Уголь каменный и кокс. Определение выхода летучих веществ» и ISO 1928:2009 «Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания». Элементный состав (C, H, N, S) был определен с помощью анализатора элементного состава Vario MICRO cube (Elementar, Германия). Технические характеристики и элементный состав исследуемых образцов твердых непищевых отходов представлены в таблицах 2 и 3.

Отметим характерные различия в химическом составе образцов. Для резины и кожи наблюдается незначительное (не более 2%) содержание серы. При этом значение концентрации водорода для всех образцов (за исключением пластика в силу своего технологического происхождения) варьируется от 5-6,5%.

При анализе технических характеристик можно заметить, что при отсутствии минерального остатка, наибольшим значением теплотворной способности Q_i и выхода летучих веществ V^{daf} обладает образец пластика. Несмотря на высокое содержание V^{daf} (39-99,5 мас.%) полученные значения Q_i всех исследуемых образцов непищевых ТБО сопоставимы с разными видами энергетического топлива [29-31]. Также стоит отметить нехарактерно высокое значение зольного остатка A^d для образца опилок и картона. В случае опилок это может быть связано с использованием негорючих добавок при производстве мебельных изделий [32], а для картона – с добавлением неорганических связующих, придающих более плотную структуру продукту [33].

Исследование процесса окисления образцов непищевых ТБО проводилось с помощью синхронного термического анализатора STA 449 C Jupiter (Netzsch, Germany) с совмещенной приставкой дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК). Все эксперименты осуществлялись при скорости нагрева 10 ºС/мин в корундовом тигле с перфорированной крышкой в интервале температур 25-1000 ºС. Образец массой ~10 мг помещался в поток смеси воздуха (150 мл/мин) и аргона (20 мл/мин). Все эксперименты проводились в условиях атмосферного давления.

Качественное определение состава газофазных продуктов окисления на выходе из термического анализатора проводилось с помощью сопрягаемого квадрупольного масс-спектрометра QMS 403 D Aeolos (Netzsch, Германия).

Сравнительная оценка параметров процесса окисления непищевых ТБО проводилась на основании физических величин (температура начала T_i и окончания T_f процесса интенсивного окисления, соответствующие времена окисления τ_e и τ_f, максимальная скорость окисления w_{max} и соответствующая ей температура T_{max}), вычисленных графическим методом [34] с помощью

ТГ- и ДТГ-профилей.

Были рассчитаны значения индексов зажигания и выгорания по представленным ниже формулам (1-2) [35, 36]:

$$D_i = \frac{w_{\max}}{t_{\max} \cdot t_i} \quad (1)$$

$$S_b = \frac{w_{\max} \cdot w_{mean}}{\left(t_i\right)^2 \cdot t_f} \quad (2)$$

Также в данной работе была вычислена энергия активации процесса окисления (Ea) с использованием метода Coats–Redfern [37, 38]. В основе данного метода лежит следующее соотношение (3):

$$ln\left[-\frac{\ln(1-\alpha)}{T^2}\right] = ln\left[\frac{AR}{\beta E_a}\right] - \frac{E_a}{RT} \quad (3)$$

где α – степень конверсии; T – температура, К; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); A – предэкспоненциальный множитель, 1/с; E_a – энергия активации, Дж/моль; β – скорость нагрева, К/с.

Решение данного уравнения и определение основных кинетических показателей осуществлялось на основании результатов ТГ-анализа путём графического построения зависимости $ln(-\ln(1-\alpha)/T^2)$ от 1/T. Полученная зависимость анализировалась в границах степени конверсии α от 0.05 до 0.95 и аппроксимировалась прямой: $\ln(-\ln(1-\alpha)/T^2) = C_1 + C_2 \cdot 1/T$. Значение энергии активации E_a вычислялось из наклона прямой (коэффициент C_2). Выбранный диапазон степени конверсии объясняется тем, что включение значений $\alpha < 0.05$ и $\alpha > 0.95$ обычно приводит к нелинейной зависимости вследствие возрастающей погрешности измерений [39]. В случае низких значений коэффициента детерминации (менее 0,8), зависимость $\ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha)}{T^2}\right)$ от $\frac{1}{T}$ разбивалась на несколько линейных участков и параметры формальной кинетики определялись для каждого участка отдельно.

Для исследования процессов зажигания и горения образцов непищевых ТБО готовились навески образцов массой ~0,9±0,01 г (рисунок 1).

Рис. 1. Внешний вид топливных навесок массой ~0,9±0,01 г: (1 – Пластик; 2 – Картон; 3 – Текстиль; 4 – Резина; 5 – Кожа; 6 – Опилки)

Исследование процессов зажигания и горения было выполнено с помощью экспериментального стенда слоевого сжигания, описание и принципиальная схема которого представлена в наших предыдущих работах [40, 41].

Методика исследования процессов зажигания и горения исследуемых образцов непищевых ТБО включала несколько этапов. В терморегулируемой печи (3) устанавливалась требуемая температура греющей среды T_g = 700 °C. Отклонения температуры воздуха в камере сгорания от средних по объему значений не превышали 1 – 3 °C. Топливная навеска массой ~0,9±0,01 г помещалась на держатель координатного механизма, ход которого калибровался по заданной координате в центр камеры сгорания и приводился в действие с помощью автоматизированного рабочего места. Одновременно с началом движения штока с топливной навеской в сторону камеры сгорания проводилась видеофиксация процессов зажигания и последующего горения образцов. Высокоскоростная видеосъемка осуществлялась с помощью камеры Photron Fastcam Mini UX (Photron, Япония).

Газофазные продукты (CO, CO_2, SO_2, NOx), образующиеся в процессе горения, отбирались с помощью металлической трубки из камеры сгорания в поточный газоанализатор Тест-1 (БОНЭР, Россия). Расход газов через газоанализатор составлял 0,4 л/мин. Время измерения датчиков составляло 3 секунды. Процесс горения считался завершенным по прекращению образования газофазных продуктов в виде CO и CO_2. Далее зольный остаток удалялся с металлической подложки и охлаждался в керамическом тигле.

Сравнительная оценка характеристик процесса зажигания и горения проведена посредством анализа времени задержки зажигания и пламенного горения исследуемых образцов непищевых ТБО.

Временем задержки зажигания считалось время от момента входа держателя с топливной навеской в фокус камеры до начала образования видимого свечения поверхности топлива, соответствующее началу процесса горения. Периоды пламенного горения и спекания исследуемых образцов фиксировались, начиная с момента образования видимого свечения и заканчивая исчезновением пламени и затуханием образующегося углеродного остатка навески, подвергнутой термодеструкции.

Для повышения точности получаемых результатов было проведено не менее 10 экспери-

ментов в аналогичных условиях для каждого образца.

Результаты и обсуждения

Результаты исследования процесса окисления образцов непищевых ТБО методом ТГА представлены на рисунке 2 в виде ТГ- и ДТГ-профилей. Видно, что убыль массы всех исследуемых образцов осуществляется в несколько стадий: от 3 (для образца пластика) до 5 (для образца резины). Первая стадия, наблюдаемая для всех образцов (кроме пластика) в температурном диапазоне 50-150 °С, связана с испарением физически адсорбированной влаги.

Потеря массы на данном этапе коррелирует с содержанием влаги в соответствующем образце (таблица 2). Последующие этапы процесса, протекающие в температурном диапазоне от 230 до 765 °С, можно связать с выходом и последующим окислением летучих соединений, а также окислением твердофазного углерода различного происхождения. Также отметим, что полученные значения конечной массы исследованных образцов согласуются с содержанием их зольного остатка, представленным в таблице 2.

Процесс окисления существенно отличается для всех исследуемых образцов, что связано с различными температурными интервалами пиков профилей ДТГ для упомянутых стадий. Так, для образца резины стадия возгонки и последующего окисления летучих соединений описывается бимодальным распределением в температурном диапазоне от 340 до 495 °С. Для других образцов пик, характеризующий данную стадию, имеет мономодальный вид и располагается в температурном интервале от 230 до 420 °С.

Также необходимо обратить внимание, что при существующей схожести элементного состава и технических характеристик некоторых образцов (например, текстиля и кожи) их профили ДТГ имеют существенные отличия.

Для образца текстиля в области возгонки и окисления летучих соединений (от 300 до 385 °С) прослеживается образование высокоинтенсивного рефлекса, который намного выше экстремума, характеризующего окисление углеродного остатка (от 400 до 500 °С).

Для образца кожи наблюдается обратное построение профиля ДТГ, где пик окисления летучих соединений (от 250 до 370 °С) ниже пика окисления углеродного остатка (от 450 до 510 °С). Это связано с различной реакционной способностью исследуемых образцов, что делает параметры, характеризующие реакционную способность, предпочтительными для описания процесса зажигания и горения.

Окисление углеродного остатка, в зависимости от типа рассматриваемого образца, также имеет различный характер. Для образца резины пик ДТГ-профиля, описывающий данную стадию имеет бимодальное распределение в температурной области от 490 до 670 °С.

Отмечено, что экзотермические максимумы на профилях ДСК (рисунок 2в) практически совпадают со значениями Tmax (рисунок 2б). Наблюдаемые экзотермические эффекты связаны с выделением тепла на стадиях выделения летучих веществ и окисления углеродного остатка. При этом для текстиля и пластика, в отличие от других образцов, стадия окисления летучих соединений протекает с большим тепловым эффектом, чем окисление углеродного остатка. Полученные значения вычисленных подынтегральных площадей (таблица 3) полностью согласуются с величиной теплоты сгорания Qi, которая была ранее экспериментально определена для исследуемых образцов непищевых ТБО (таблица 2). Важно отметить, что для образца картона последняя стадия термического преобразования в интервале температур 685-770 °С протекает в эндотермическом режиме.

Анализ профилей ДТГ (рис. 2, табл. 3) следует, что наибольшая скорость протекания реакции окисления wmax, как и следовало ожидать, наблюдается для образцов пластика и текстиля (9,4 и 30,5 мас.%/мин, соответственно) в температурном интервале 280-340 °С, что может быть связано с высоким содержанием летучих соединений в составе данных образцов (таблица 2). В то же время, для образца кожи максимальная скорость реакции (wmax=7,1 мас.%/мин) наблюдается в температурной области 440-500 °С, которая соответствует окислению углеродного остатка.

Установлено, что для всех образцов, за исключением пластика, первая стадия характеризуется относительно невысокими значениями энергии активации – 13,5-17,1 кДж/моль – которые не соотносятся с характерными значениями энергии активации химических реакций. Это может быть связано с диффузионным характером процессов, а также с протекающими одновременно процессами десорбции высокомолекулярных соединений. Последующие стадии характеризуются более высокими значениями энергии активации, соответствующих химическим процессам окисления твердофазных органических

веществ. Данные значения соответствуют кинетическим параметрам процессов окисления образующегося углеродного остатка соответствующих топлив, представленных в литературе [42, 43].

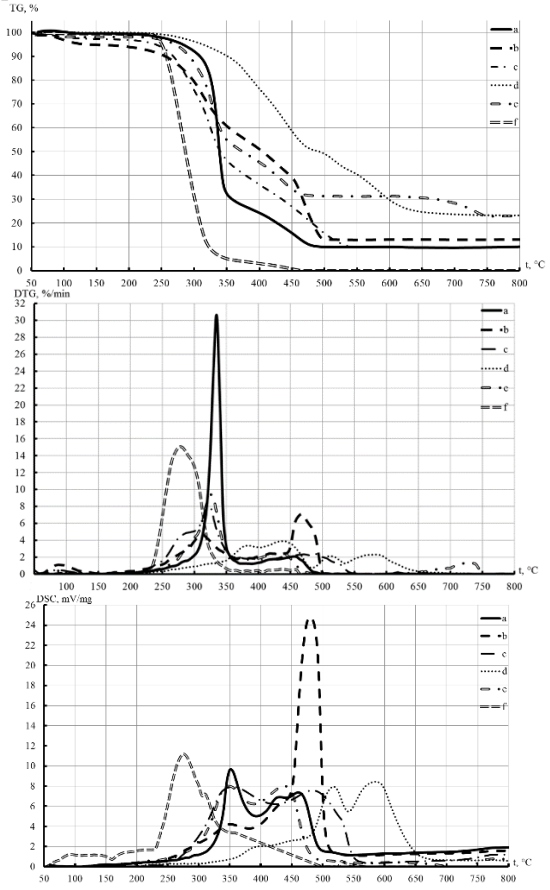


Рис. 2. ТГ (а), ДТГ (б) и ДСК-профили (в) для процесса окисления исследуемых образцов непищевых ТБО в среде воздуха (150 мл/мин). Скорость нагрева 10 °С/мин, температурный интервал 25-1000 °С, масса навески ≈10 мг.

Косвенно, данные предположения подтверждаются относительно низкими значениями относительного теплового эффекта (в пересчете на единицу убыли массы) на первой стадии в температурном диапазоне 200-400 °С, по сравнению с относительным тепловым эффектом прочих стадий.

На рисунке 3 представлены кадры скоростной видеосъемки, иллюстрирующие процесс воспламенения и последующего горения непищевых ТБО в режиме пламени в течение 20 секунд. С истечением времени пребывания образцов в условиях нагрева в воздушной среде наблюдается формирование нарастающего пламени, что обусловлено интенсификацией высвобождения летучих соединений с поверхности и внутреннего объема топливных навесок. Видно, что размер и форма пламени для ряда образцов имеют различный вид. Образующееся вблизи топливной навески пламя имеет сферическую форму, объемный размер которого в 2-3 раза превышает рассматриваемый образец. Равномерность пламени объясняется отсутствием интенсивного воздушного движения в непосредственной близости гранулы.

Для более позднего периода горения наблюдается образование углеродного остатка (за исключением образца пластика).

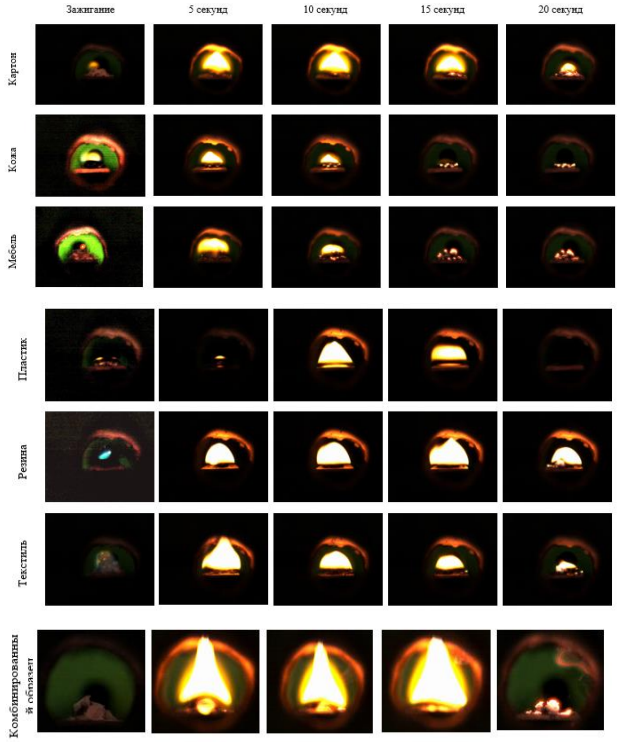


Рис. 3. Кадры высокоскоростной видеосъемки процессов зажигания и последующего пламенного горения непищевых ТБО при T_g = 700 °С.

На основании полученных результатов и литературных данных [44, 45], можно выделить несколько стадий физико-химического преобразования непищевых ТБО: инертный нагрев; испарение влаги; термодеструкция образцов и начало выделения летучих соединений; смешение горючих газов с окислительной средой; воспламенение и выгорание газовой смеси; терморазложение углеродного остатка в режиме беспламенного горения.

Рассматриваемые образцы непищевых ТБО характеризуются газофазным механизмом зажигания при достижении пороговых концентраций и температуры смеси горючих газов, выделяющейся в ходе термического разложения материала.

После воспламенения топлив следует процесс газофазного сгорания летучих веществ, протекающий преимущественно над гранулой, где устанавливается стехиометрическое соотношение концентраций горючих газовых компонент [46]. Образование пламени на поверхности образца можно объяснить относительно низким и интенсивным термическим разложением летучих компонент [45].

По завершении выхода летучих соединений, происходит однородное гетерогенное зажигание образовавшегося углеродного остатка (за исключением образца пластика), без ярко выраженной зоны локального возгорания, фронт которого протекает внутри образца от его поверхности к центру.

Для образца пластика последняя стадия процесса не наблюдается в виду высокого содержания летучих соединений (таблица 2), которые выгорают в режиме пламенного горения.

На рисунке 4 представлены значения времени задержки зажигания исследуемых образцов непищевых ТБО, определенных с помощью высокоскоростной видеосъемки при температуре греющей среды Tg = 700 °C.

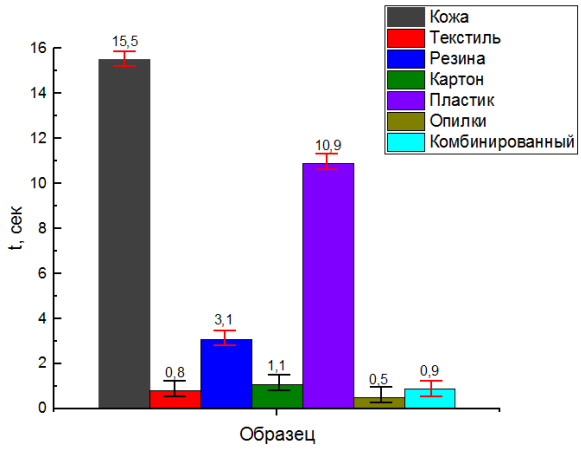


Рис. 4. Значения времени задержки зажигания исследуемых образцов непищевых ТБО. Температура греющей среды Tg = 700 °C.

Наибольшее значение времени задержки зажигания τ_i наблюдается для образцов кожи и пластика 15,5 и 11,0 с соответственно. Для других образцов параметр τ_i определяется в интервале 0,5-3,1 с. Различия значений времени задержки зажигания для рассматриваемых образцов можно объяснить существующими отличиями физико-химических характеристик (таблица 2). Также следует отметить, что образцы кожи и пластика содержат органические полимеры, некоторые из которых, такие как полиамиды и полиэстеры, обладают высокой степенью инертности к термическому воздействию и более высокой температурой воспламенения. Также данные образцы (включая и образец резины) имеют плотную структуру, что затрудняет проникновение окислителя (воздуха) к внутренним слоям материала, что препятствует инициированию и выделению летучих соединений.

На рисунке 5 представлена гистограмма, отражающая значения времени пламенного горения исследуемых образцов непищевых ТБО при Tg = 700 °C.

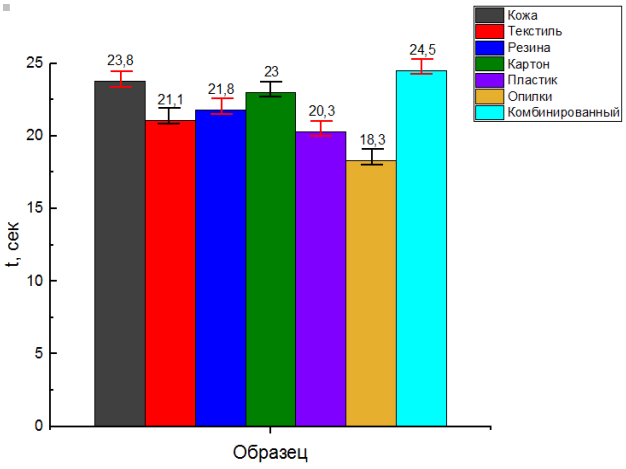


Рис. 5. Значения времени пламенного горения исследуемых образцов непищевых ТБО. Температура греющей среды Tg = 700 °C.

Наименьшим временем пламенного горения характеризуется образец опилок (τ_f = 18,3 с). На рисунке 6 показаны профили изменения концентраций образующихся газофазных продуктов сгорания (CO, CO_2 и NO_2) исследуемых образцов.

Профили газофазных продуктов сгорания для всех компонент (CO, CO_2, NO_x) имеют бимодальную форму или содержат вспомогательное плечо, формирующееся на ранней стадии горения. Это может быть вызвано высвобождением летучих соединений из-за конвективного нагрева образца. Характерный сдвиг экстремума и профиля зависел от времени. Критическая точка для всех образцов отмечается в интервале 50-100 сек., которая описывает экстремум эмиссии газофазных продуктов сгорания. Процесс высвобождения дымовых газов можно описать на два этапа. Вначале с поверхности образца топлива высвобождаются летучие соединения, последовательно с этим происходит высвобожде-

ние летучих соединений с основной массы исследуемых образцов.

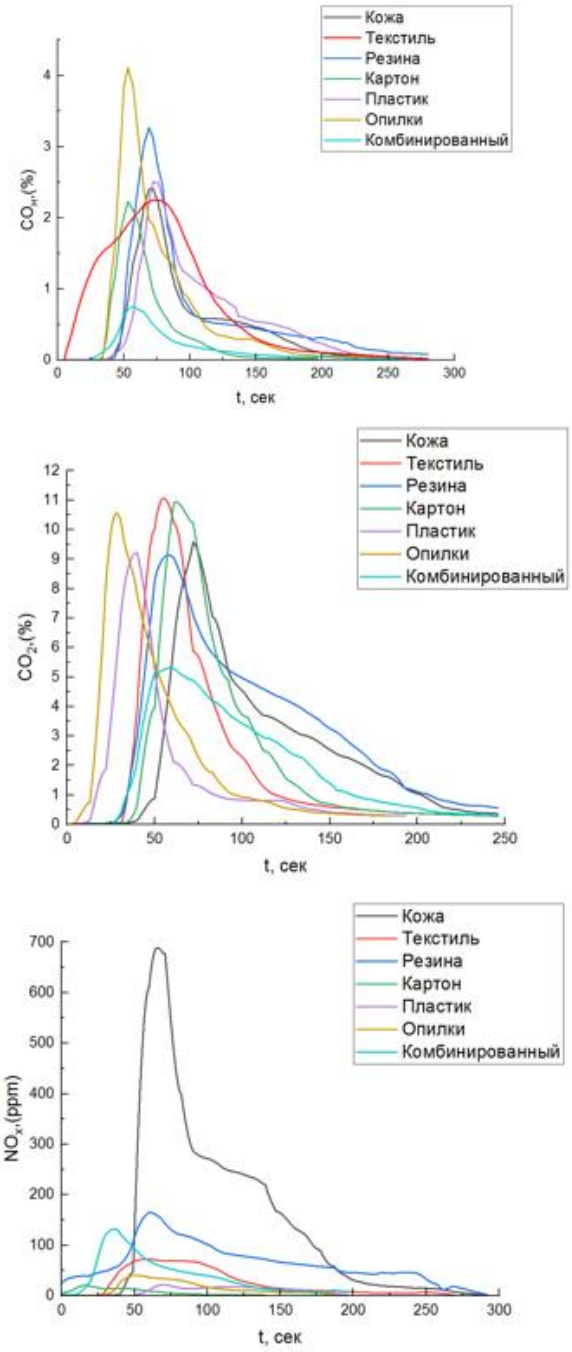


Рис. 6. Газофазные продукты сгорания ТБО в терморегулируемой печи при температуре греющей среды Tg=700 ℃

Диоксид углерода относится к парниковым газам, образующийся при полном сгорании топлива. Полное сгорания топлива соответствует большему количеству выбросов CO_2 как показано на рисунке 6 (б) для образцов текстиля, картона, опилок. Выбросы углекислого газа увеличивались с увеличением процентного содержания кислорода в составе. Можно предположить, что при газификации образуются свободные радикалы -O, -OH, которые при взаимодействии с прекурсорами ускоряют процесс окисления топлива, что соответствует низкому времени задержки зажигания для образцов картона, текстиля, опилок. С другой стороны, высокий процент содержания атомов кислорода в элементном составе образцов (таблица 2) также является катализатором процесса окисления и способствует полному термическому разложению исследуемых образцов.

По картине выбросов CO отмечено, что наибольшее количество выделяемого углекислого газа приходится на образец древесных опилок, что можно обосновать высоким содержанием летучих соединений, а также с недогоревшей частью топлива, которая после эмиссии CO_2 образует ядовитый монооксид углерода CO. Выбросы CO, для образца резины, напрямую зависят от состава образца, которая характеризуется высоким процентным содержанием углерода и относительно низким содержанием летучих веществ в составе. Высокая плотность образца препятствовала конвективному нагреву, что определяет низкую скорость окисления и высокую температуру окисления (таблица 4).

Профиль изменения концентрации NO_x наиболее ярко отмечен изменением концентрации для образца кожи. Это связано с высоким содержанием двухатомного азота и кислорода в составе образца (таблица 2), а также с вовлечением молекулярного азота из воздуха и более быстрым окислением топливного азота. Одним из факторов высокой концентрации также является высокое содержание органических соединений, относительно других образцов. Кожа содержит белки, аминокислоты и другие органические соединения, которые могут содержать азот и способствовать образованию NO_x при термическом разложении. Под воздействием высоких температур, происходят реакции окисления азота свободными радикалами воздуха, которые могут происходить также с группами аминокислот. Для образца резины высокая концентрация

Заключение

Сравнение параметров процесса горения с характеристиками окисления было проведено для шести различных образцов твердых непище-

вых отходов. Исследования проводились с использованием метода термического анализа и экспериментальной установки сжигания твердых топлив.

По результатам термического анализа окисление исследуемых образцов протекает в 3-5 стадий в зависимости от их технических характеристик и элементного состава. Определены температуры начала интенсивного окисления T_i, максимальной скорости реакции T_{max} (при w_{max}) и завершения процесса T_f, а также энергия активации E_a. Параметр E_a был определен с применением метода термического анализа.

По результатам экспериментального исследования процессов зажигания и горения с помощью лабораторного стенда были определены зависимости времени задержки зажигания и пламенного горения.

Наименьшие значения температур интенсивного окисления получены для образцов опилок и кожи и составили 250 и 255 °С соответственно. При этом наименьшее время полного окисления получено для образца текстиля (τ_f=18,5 мин) из-за его высокой реакционной способности.

Установлено, что с повышением температуры увеличивается вклад гетерогенных химических реакций в процессы зажигания и горения, что позволяет использовать параметры окисления для прогнозирования особенностей процессов зажигания и горения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта FZES-2024-0001 (Соглашение № 075-03-2024-082/2).

Список литературы

1. Q. Song, J. Li, X. Zeng Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy Clean. Prod., 104 (2015), pp. 199-210F.R.
2. Рыбак В.А. Научно-методические основы и программные средства автоматизации оценки и анализа параметров перспективных эколого-безопасных технологий / В.А. Рыбак, Ахмад Шокр, А.Д. Гриб. – Минск: РИВШ, 2017. – 263 с.
3. Кривулькин Д.А., Ефремова Л.Б. Международный опыт утилизации ТБО и возможности его применения в России. Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2018. Т.61. №3. С. 8.
4. Пономарев М.В. Комментарий к Федеральному закону "Об отходах производства и потребления": моногр. / М.В. Пономарев, Н.В. Кичигин, Н.А. Енисейская. – М.: Деловой двор, 2019. – 232 с
5. McDogall, P.R. White, M. Franke, P. HindleIntegrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory (second ed.), Blackwell Sci, Oxford, UK/Malden, MA (2001)
6. J. Gutberlet, S.M.N. Uddin Household waste and health risks affecting waste pickers and the environment in low- and middle-income countries Int. J. Occup. Environ. Health, 23 (2017)
7. S. Khan, Z. Dan, Y. Mengling, Y. Yang, H. Haiyan, J. Hao Isotherms, kinetics and thermodynamic studies of adsorption of Ni and Cu by modification of Al2O3 nanoparticles with natural organic matter Fuller.Nanotub.Car.N., 26 (2018), pp. 158-167
8. S. Khan, Z. Dan, H. Haiyan Adsorption mechanism of Pb(II) and Ni(II) from aqueous solution by TiO2 nanoparticles: kinetics, isotherms and thermodynamic studies Desal. Wat. Treat., 155 (2019), pp. 237-249
9. S. Khan, H. Galstyan, N. Ahmed Bazai, M. Idrees Surface interaction of cadmium and zinc metal ions on Al2O3 nanoparticles in aqueous solution Int. J. Environ. Anal. Chem. (2020), pp. 1-18
10. A. Bagchi Design of landfills and integrated solid waste management John Wiley & Sons (2004)
11. K. Mahmood, S.A. Batool, M.N.Chaudhry, A. Daud Evaluating Municipal Solid Waste Dumps Using Geographic Information System Pol. J. Environ. Stud., 24 (2015), pp. 879-886
12. S. Nanda, F. Berruti Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review Environ. Chem. Lett., 19 (2021), pp. 1433-1456, 10.1007/s10311-020-01100-y
13. E. Brown, A. MacDonald, S. Allen, D. Allen The potential for a plastic recycling facility to release microplastic pollution and possible filtration remediation effectiveness J. Hazardous Mater. Adv., 10 (2023), Article 100309, 10.1016/j.hazadv.2023.100309
14. J. Gui, Y. Sun, J. Wang, X. Chen, S. Zhang, D. Wu Microplastics in composting of rural domestic waste: Abundance, characteristics, and release from the surface of macroplastics Environ. Pollut., 274 (2021), Article 116553, 10.1016/j.envpol.2021.116553
15. L.C.Rodrigues, I. PuiVentosa, M. López, F.X. Martínez, A.G. Ruiz, T.G. Bertrán The impact of improper materials in biowaste on the quality of compost J. Clean. Prod., 251 (2020), Article 119601, 10.1016/j.jclepro.2019.119601
16. Teng et al. 2024 Analysis of composition characteristics and treatment techniques of municipal solid waste incineration fly ash in China // Journal of Environmental Management. 2024. (357). С. 120783.
17. Kim et al. 2024 Evaluation of physicochemical properties and combustion behavior of biomass refuse-derived fuel // Fuel. 2024. (366). С. 131439.
18. M. Vithanage, S. Ramanayaka, S. Hasinthara, A. Navaratne Compost as a carrier for microplastics and plastic-bound toxic metals into agroecosystems

Curr. Opin. Environ. Sci. Health., 24 (2021), Article 100297, 10.1016/j.coesh.2021.100297
19. H.K. Jeswani, A. Azapagic Assessing the environmental sustainability of energy recovery from municipal solid waste in the UK Waste Manage., 50 (2016), pp. 346-363, 10.1016/j.wasman.2016.02.010
20. A.C. Medina Jimenez, G.H. Nordi, M.C. Palacios Bereche, R.P. Bereche, A.G. Gallego, S.A. Nebra Evaluation of two different alternatives of energy recovery from municipal solid waste in Brazil Waste Manag. Res., 35 (2017), pp. 1137-1148, 10.1177/0734242X17728123
21. N. Scarlat, F. Fahl, J.-F. Dallemand Status and opportunities for energy recovery from municipal solid waste in Europe Waste Biomass Valor., 10 (2019), pp. 2425-2444, 10.1007/s12649-018-0297-7
22. Zhao Y. et al. 2012 Environmental impact assessment of the incineration of municipal solid waste with auxiliary coal in China // Waste Management. 2012. № 10 (32). С. 1989–1998.
23. J. Akhtar, A. Yaseen, S. Munir Effect of rice husk co-combustion with coal on gaseous emissions and combustion efficiency Energy Sources Part A., 40 (2018), pp. 1010-1018,
24. X. Yang, Z. Luo, X. Liu, et al. Experimental and numerical investigation of the combustion characteristics and NO emission behaviour during the co-combustion of biomass and coal Fuel, 287 (2021), Article 119383, 10.1016/j.fuel.2020.119383
25. N. Peng, Y. Li, Z. Liu, T. Liu, C. Gai Emission, distribution and toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) during municipal solid waste (MSW) and coal co-combustion Sci Total Environ, 565 (2016), pp. 1201-1207, 10.1016/j.scitotenv.2016.05.188
26. S. Hu, X. Ma, Y. Lin, Z. Yu, S. Fang Thermogravimetric analysis of the co-combustion of paper mill sludge and municipal solid waste Energy Convers Manag, 99 (2015), pp. 112-118, 10.1016/j.enconman.2015.04.026
27. X. Xing, Y. Li, Y. Xing, B. Xu, F. Fan, X. Zhang, e t al. Co-Combustion characteristics and kinetic analyses of biomass briquette and municipal solid waste in N2/O2 and CO2/O2 atmosphere Bioresources, 12 (1) (2017), pp. 1317-1334, 10.15376/biores.12.1.1317-1334
28. Mehdi Hassan A. M. et al. 2023 Characterization of municipal solid waste for effective utilization as an alternative source for clean energy production // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 2023. № 4 (16). С. 100683.
29. Jamro I. A. et al. 2022 Optimization of municipal solid waste air gasification for higher H2 production along with the validation via kinetics and statistical approaches // Fuel. 2022. (322). С. 124137.
30. Калинихин О.Н. Топливные брикеты на основе смесей бытового мусора и смолистых отходов коксохимического производства // Вестник Донецкого университета. Серия А: физико-химической науки. – 2006. - № 1. - С. 162-168.
31. Мирный А. Н. Санитарная очистка и уборка населённых мест: Справочник / А. Н. Мирный. – М.: Стройиздат, 1985. – С. 12-40
32. C. Yan, T. Zhang, Y. Sun, H. Tang, and H. Li, “A hybrid variable selection method based on wavelet transform and mean impact value for calorific value determination of coal using laser-induced breakdown spectroscopy and kernel extreme learning machine,” Spectrochim. Acta - Part B At. Spectrosc., vol. 154, no. February, pp. 75–81, 2019.
33. Z. Fu, J. Zhu, S. Barghi, Y. Zhao, Z. Luo, and C. Duan, “Dry coal beneficiation by the semi-industrial Air Dense Medium Fluidized Bed with binary mixtures of magnetite and fine coal particles,” Fuel, vol. 243, no. February, pp. 509–518, 2019.
34. C. Zou, J. Zhao, X. Li, and R. Shi, “Effects of catalysts on combustion reactivity of anthracite and coal char with low combustibility at low/high heating rate,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 126, no. 3, pp. 1469–1480, 2016.
35. R. Kumar and R. I. Singh, “An investigation of co-combustion municipal sewage sludge with biomass in a 20 kW BFB combustor under air-fired and oxygen-enriched condition,” *Waste Manag.*, vol. 70, pp. 114–126, 2017.
36. H. Haykiri-Acma and S. Yaman, “Effects of Dilute Phosphoric Acid Treatment on Structure and Burning Characteristics of Lignocellulosic Biomass,” J. Energy Resour. Technol., vol. 141, no. 8, p. 082203, 2019.
37. COATS A. W., REDFERN J. P. Kinetic Parameters from Thermogravimetric Data // Nature. 1964. № 4914 (201). С. 68–69.
38. Shen D. K. [и др.]. Kinetic study on thermal decomposition of woods in oxidative environment // Fuel. 2009. № 6 (88). С. 1024–1030.
39. Z. Wang, M. Zhang, S. Peng, Q. Yang, and M. Peng, “Kinetics of the thermal decomposition of Eucommia ulmoides Oliver leaves and its fermentation products,” Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff., vol. 41, no. 11, pp. 1315–1325, Jun. 2019.
40. R. Tabakaev et al., “Thermal enrichment of different types of biomass by low-temperature pyrolysis,” Fuel, vol. 245, no. August 2018, pp. 29–38, 2019.
41. Larionov K. B., Berezikov N. I., Kaltaev A. Zh. Gorshkov A. S. Using Metal Carbonates to Intensify Coal Ignition and Combustion // Coke Chem. 2022. Vol. 65. P. 167–173.
42. H. Yang, J. Xie, F. He, S. Mei, and D. Fang, “Thermal Behavior Study of Refuse-Derived Fuel (RDF) during Combustion by Thermogravimetric Analysis,” J. Chem. Eng. Japan, vol. 49, no. 11, pp. 967–972, 2016.
43. P. Lu, Q. Huang, A. C. (Thanos) Bourtsalas, Y. Chi, and J. Yan, “Experimental research of basic properties and reactivity of waste derived chars,” Appl.

Therm. Eng., vol. 119, pp. 639–649, Jun. 2017.
44. D. Glushkov, K. Paushkina, D. Shabardin, P. Strizhak, and N. Gutareva, “Municipal solid waste recycling by burning it as part of composite fuel with energy generation,” *J. Environ. Manage.*, vol. 231, no. September 2018, pp. 896–904, 2019.
45. D. Glushkov, K. Paushkina, D. Shabardin, and P. Strizhak, “Environmental aspects of converting municipal solid waste into energy as part of composite fuels,” J. Clean. Prod., vol. 201, pp. 1029–1042, 2018.
46. D. P. Mishra, A. Patyal, and M. Padhwal, “Effects of gellant concentration on the burning and flame structure of organic gel propellant droplets,” Fuel, vol. 90, no. 5, pp. 1805–1810, 2011.

References

1. Q. Song, J. Li, X. Zeng Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy Clean. Prod., 104 (2015), pp. 199-210F.R.
2. Рыбак В.А. Научно-методические основы и программные средства автоматизации оценки и анализа параметров перспективных эколого-безопасных технологий / В.А. Рыбак, Ахмад Шокр, А.Д. Гриб. – Минск: РИВШ, 2017. – 263 с.
3. Кривулькин Д.А., Ефремова Л.Б. Международный опыт утилизации ТБО и возможности его применения в России. Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2018. Т.61. №3. С. 8.
4. Пономарев М.В. Комментарий к Федеральному закону "Об отходах производства и потребления": моногр. / М.В. Пономарев, Н.В. Кичигин, Н.А. Енисейская. – М.: Деловой двор, 2019. – 232 с
5. McDogall, P.R. White, M. Franke, P. HindleIntegrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory (second ed.), Blackwell Sci, Oxford, UK/Malden, MA (2001)
6. J. Gutberlet, S.M.N. Uddin Household waste and health risks affecting waste pickers and the environment in low- and middle-income countries Int. J. Occup. Environ. Health, 23 (2017)
7. S. Khan, Z. Dan, Y. Mengling, Y. Yang, H. Haiyan, J. Hao Isotherms, kinetics and thermodynamic studies of adsorption of Ni and Cu by modification of Al2O3 nanoparticles with natural organic matter Fuller.Nanotub.Car.N., 26 (2018), pp. 158-167
8. S. Khan, Z. Dan, H. Haiyan Adsorption mechanism of Pb(II) and Ni(II) from aqueous solution by TiO2 nanoparticles: kinetics, isotherms and thermodynamic studies Desal. Wat. Treat., 155 (2019), pp. 237-249
9. S. Khan, H. Galstyan, N. Ahmed Bazai, M. Idrees Surface interaction of cadmium and zinc metal ions on Al2O3 nanoparticles in aqueous solution Int. J. Environ. Anal. Chem. (2020), pp. 1-18
10. A. Bagchi Design of landfills and integrated solid waste management John Wiley & Sons (2004)
11. K. Mahmood, S.A. Batool, M.N. Chaudhry, A. Daud Evaluating Municipal Solid Waste Dumps Using Geographic Information System Pol. J. Environ. Stud., 24 (2015), pp. 879-886
12. S. Nanda, F. Berruti Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review Environ. Chem. Lett., 19 (2021), pp. 1433-1456, 10.1007/s10311-020-01100-y
13. E. Brown, A. MacDonald, S. Allen, D. Allen The potential for a plastic recycling facility to release microplastic pollution and possible filtration remediation effectiveness J. Hazardous Mater. Adv., 10 (2023), Article 100309, 10.1016/j.hazadv.2023.100309
14. J. Gui, Y. Sun, J. Wang, X. Chen, S. Zhang, D. Wu Microplastics in composting of rural domestic waste: Abundance, characteristics, and release from the surface of macroplastics Environ. Pollut., 274 (2021), Article 116553, 10.1016/j.envpol.2021.116553
15. L.C. Rodrigues, I. PuiVentosa, M. López, F.X. Martínez, A.G. Ruiz, T.G. Bertrán The impact of improper materials in biowaste on the quality of compost J. Clean. Prod., 251 (2020), Article 119601, 10.1016/j.jclepro.2019.119601
16. Teng et al. 2024 Analysis of composition characteristics and treatment techniques of municipal solid waste incineration fly ash in China // Journal of Environmental Management. 2024. (357). С. 120783.
17. Kim et al. 2024 Evaluation of physicochemical properties and combustion behavior of biomass refuse-derived fuel // Fuel. 2024. (366). С. 131439.
18. M. Vithanage, S. Ramanayaka, S. Hasinthara, A. Navaratne Compost as a carrier for microplastics and plastic-bound toxic metals into agroecosystems Curr. Opin. Environ. Sci. Health., 24 (2021), Article 100297, 10.1016/j.coesh.2021.100297
19. H.K. Jeswani, A. Azapagic Assessing the environmental sustainability of energy recovery from municipal solid waste in the UK Waste Manage., 50 (2016), pp. 346-363, 10.1016/j.wasman.2016.02.010
20. A.C. Medina Jimenez, G.H. Nordi, M.C. Palacios Bereche, R.P. Bereche, A.G. Gallego, S.A. Nebra Evaluation of two different alternatives of energy recovery from municipal solid waste in Brazil Waste Manag. Res., 35 (2017), pp. 1137-1148, 10.1177/0734242X17728123
21. N. Scarlat, F. Fahl, J.-F. Dallemand Status and opportunities for energy recovery from municipal solid waste in Europe Waste Biomass Valor., 10 (2019), pp. 2425-2444, 10.1007/s12649-018-0297-7
22. Zhao Y. et al. 2012 Environmental impact assessment of the incineration of municipal solid waste with auxiliary coal in China // Waste Management.

2012. № 10 (32). С. 1989–1998.
23. J. Akhtar, A. Yaseen, S. Munir Effect of rice husk co-combustion with coal on gaseous emissions and combustion efficiency Energy Sources Part A., 40 (2018), pp. 1010-1018,
24. X. Yang, Z. Luo, X. Liu, et al. Experimental and numerical investigation of the combustion characteristics and NO emission behaviour during the co-combustion of biomass and coal Fuel, 287 (2021), Article 119383, 10.1016/j.fuel.2020.119383
25. N. Peng, Y. Li, Z. Liu, T. Liu, C. Gai Emission, distribution and toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) during municipal solid waste (MSW) and coal co-combustion Sci Total Environ, 565 (2016), pp. 1201-1207, 10.1016/j.scitotenv.2016.05.188
26. S. Hu, X. Ma, Y. Lin, Z. Yu, S. Fang Thermogravimetric analysis of the co-combustion of paper mill sludge and municipal solid waste Energy Convers Manag, 99 (2015), pp. 112-118, 10.1016/j.enconman.2015.04.026
27. X. Xing, Y. Li, Y. Xing, B. Xu, F. Fan, X. Zhang, e t al. Co-Combustion characteristics and kinetic analyses of biomass briquette and municipal solid waste in N2/O2 and CO2/O2 atmosphere Bioresources, 12 (1) (2017), pp. 1317-1334, 10.15376/biores.12.1.1317-1334
28. Mehdi Hassan A. M. et al. 2023 Characterization of municipal solid waste for effective utilization as an alternative source for clean energy production // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 2023. № 4 (16). С. 100683.
29. Jamro I. A. et al. 2022 Optimization of municipal solid waste air gasification for higher H2 production along with the validation via kinetics and statistical approaches // Fuel. 2022. (322). С. 124137.
30. Калинихин О.Н. Топливные брикеты на основе смесей бытового мусора и смолистых отходов коксохимического производства // Вестник Донецкого университета. Серия А: физико-химической науки. – 2006. - № 1. - С. 162-168.
31. Мирный А. Н. Санитарная очистка и уборка населённых мест: Справочник / А. Н. Мирный. – М.: Стройиздат, 1985. – С. 12-40
32. C. Yan, T. Zhang, Y. Sun, H. Tang, and H. Li, “A hybrid variable selection method based on wavelet transform and mean impact value for calorific value determination of coal using laser-induced breakdown spectroscopy and kernel extreme learning machine,” Spectrochim. Acta - Part B At. Spectrosc., vol. 154, no. February, pp. 75–81, 2019.
33. Z. Fu, J. Zhu, S. Barghi, Y. Zhao, Z. Luo, and C. Duan, “Dry coal beneficiation by the semi-industrial Air Dense Medium Fluidized Bed with binary mixtures of magnetite and fine coal particles,” Fuel, vol. 243, no. February, pp. 509–518, 2019.
34. C. Zou, J. Zhao, X. Li, and R. Shi, “Effects of catalysts on combustion reactivity of anthracite and coal char with low combustibility at low/high heating rate,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 126, no. 3, pp. 1469–1480, 2016.
35. R. Kumar and R. I. Singh, “An investigation of co-combustion municipal sewage sludge with biomass in a 20 kW BFB combustor under air-fired and oxygen-enriched condition,” *Waste Manag.*, vol. 70, pp. 114–126, 2017.
36. H. Haykiri-Acma and S. Yaman, “Effects of Dilute Phosphoric Acid Treatment on Structure and Burning Characteristics of Lignocellulosic Biomass,” J. Energy Resour. Technol., vol. 141, no. 8, p. 082203, 2019.
37. COATS A. W., REDFERN J. P. Kinetic Parameters from Thermogravimetric Data // Nature. 1964. № 4914 (201). С. 68–69.
38. Shen D. K. [и др.]. Kinetic study on thermal decomposition of woods in oxidative environment // Fuel. 2009. № 6 (88). С. 1024–1030.
39. Z. Wang, M. Zhang, S. Peng, Q. Yang, and M. Peng, “Kinetics of the thermal decomposition of Eucommia ulmoides Oliver leaves and its fermentation products,” Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff., vol. 41, no. 11, pp. 1315–1325, Jun. 2019.
40. R. Tabakaev et al., “Thermal enrichment of different types of biomass by low-temperature pyrolysis,” Fuel, vol. 245, no. August 2018, pp. 29–38, 2019.
41. Larionov K. B., Berezikov N. I., Kaltaev A. Zh. Gorshkov A. S. Using Metal Carbonates to Intensify Coal Ignition and Combustion // Coke Chem. 2022. Vol. 65. P. 167–173.
42. H. Yang, J. Xie, F. He, S. Mei, and D. Fang, “Thermal Behavior Study of Refuse-Derived Fuel (RDF) during Combustion by Thermogravimetric Analysis,” J. Chem. Eng. Japan, vol. 49, no. 11, pp. 967–972, 2016.
43. P. Lu, Q. Huang, A. C. (Thanos) Bourtsalas, Y. Chi, and J. Yan, “Experimental research of basic properties and reactivity of waste derived chars,” Appl. Therm. Eng., vol. 119, pp. 639–649, Jun. 2017.
44. D. Glushkov, K. Paushkina, D. Shabardin, P. Strizhak, and N. Gutareva, “Municipal solid waste recycling by burning it as part of composite fuel with energy generation,” *J. Environ. Manage.*, vol. 231, no. September 2018, pp. 896–904, 2019.
45. D. Glushkov, K. Paushkina, D. Shabardin, and P. Strizhak, “Environmental aspects of converting municipal solid waste into energy as part of composite fuels,” J. Clean. Prod., vol. 201, pp. 1029–1042, 2018.
46. D. P. Mishra, A. Patyal, and M. Padhwal, “Effects of gellant concentration on the burning and flame structure of organic gel propellant droplets,” Fuel, vol. 90, no. 5, pp. 1805–1810, 2011.

ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 621.039.4

Способы организации транспортировки парогенераторов по месту требования

Павлова И.А.[1], Худякова В.А.[1], Губин А.В.[1]
[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, 299053, Россия, e-mail: pavlovaira2001@mail.ru, lerakhudiakova96@gmail.com, avgubin@mail.sevsu.ru

Статья поступила 14.05.2024 г.; после доработки 15.05.2024 г.

Аннотация

Изучена совокупность транспортных средств, позволяющих осуществить перевоз крупногабаритного оборудования АЭС с использованием новейших технологий, а также предложен способ создания биологической защиты парогенераторов. Также описаны процессы, связанные с выбором подходящего транспорта, планированием маршрута и обеспечением безопасности при перевозке такого оборудования.

Ключевые слова: Парогенератор, транспортировка, перегрузка, безопасность, технологии, биологическая защита.

Methods of organizing the transportation of steam generators at the place of demand

Pavlova I.A.[1], Khudyakova V.A.[1], Gubin A.V.[1],
[1]Sevastopol State University, Sevastopol, 299053, Russia, e-mail: pavlovaira2001@mail.ru, lerakhudiakova96@gmail.com, avgubin@mail.sevsu.ru,

Received 14.05.2024 y.; received in final form 15.05.2024 y.

Abstract

A set of vehicles allowing the transportation of large-sized NPP equipment using the latest technologies has been studied, and a method for creating biological protection of steam generators has been proposed. The processes related to the selection of suitable transport, route planning and ensuring safety during the trans-portation of such equipment are also described.

Keywords: Steam generator, transportation, transshipment, safety, technology, biological protection.

Введение

Транспортировка парогенераторов для атомных электростанций (АЭС) – это сложная и ответственная операция, требующая высокой точности и аккуратности во всех этапах процесса. При этом уделяется особое внимание к деталям и используются инновационные подходы. Парогенераторы представляют собой неотъемлемую часть работы АЭС, обеспечивая производство электроэнергии и тепла. Их перевозка не только является одним из важнейших элементов строительства новых станций, но и международным технологическим событием, вносящим значительный вклад в область атомной энергетики.

Перед началом процесса транспортировки парогенераторов необходимо провести тщатель-

ные проектирование и планирование, чтобы избежать нестандартных ситуаций, потенциально опасных для общества и окружающей среды. Комплексный анализ всех возможных рисков и принятие соответствующих мер безопасности – неотъемлемая часть работы специалистов в данной области.

Цель и постановка задач

Прибытие парогенераторов по месту выгрузки – это своеобразное торжественное мероприятие, показывающее успех в проведении работ и прогресс в строительстве.

Строгое соблюдение всех мер безопасности и технологических требований обеспечивает сохранность и надежность поставки главного оборудования на стройплощадку.

Целью исследования является изучение совокупности транспортных средств, позволяющих осуществить перевоз крупногабаритного оборудования АЭС, способа создания биологической защиты парогенераторов. А также изучение реализованных проектов, которые были успешно проведены, зарекомендовав себя как безопасный способ перегрузки парогенератора.

Этапы и методы транспортировки парогенераторов АЭС

Парогенераторы являются ключевыми компонентами атомных электростанций (АЭС), ответственными за преобразование тепловой энергии ядерного реактора в механическую энергию, которая затем преобразуется в электрическую энергию. Однако, перед тем как парогенераторы могут быть установлены на месте, необходимо преодолеть ряд транспортных вызовов. В данном разделе будут рассмотрены этапы и методы транспортировки парогенераторов АЭС.

Первый этап включает подготовку парогенераторов к транспортировке. Этот процесс включает проверку и упаковку компонентов парогенераторов для обеспечения их безопасности, и защиты во время перевозки. Важно убедиться, что все компоненты правильно упакованы и защищены от вибраций, ударов и других факторов, которые могут повредить их.

Второй этап включает выбор подходящего транспортного средства для перевозки парогенераторов. Обычно для таких целей используются специальные грузовые автомобили, поезда, корабли или даже самолеты, в зависимости от расстояния и условий перевозки. При выборе транспортного средства следует учитывать его грузоподъемность, скорость, безопасность и маршрут следования.

Третий этап связан с разработкой оптимального маршрута для транспортировки парогенераторов. При планировании маршрута необходимо учитывать такие факторы, как состояние дорог, наличие мостов и туннелей, ограничения по весу и размерам транспортного средства, а также возможные перекрестки или узкие повороты. Целью маршрутного планирования является выбор наиболее безопасного и эффективного пути доставки парогенераторов.

Четвертый этап представляет собой загрузку парогенераторов на транспортное средство и их последующую разгрузку на месте. Загрузка и разгрузка парогенераторов являются сложными процессами, требующими специального оборудования и навыков. Необходимо обеспечить правильное распределение веса и равномерную поддержку парогенераторов во избежание повреждений или деформаций во время перевозки.

Последний этап связан с обеспечением безопасности транспортировки парогенераторов. Это включает контроль скорости, проверку состояния транспортного средства перед отправкой и по ходу пути, а также обеспечение соблюдения всех правил и норм, касающихся транспортировки грузов такого рода. Безопасность должна быть на первом месте во время перевозки парогенераторов, чтобы избежать возможных аварий или повреждений.

Транспортировка парогенераторов АЭС является сложным и ответственным процессом, требующим тщательной подготовки, согласованного планирования и предосторожности. Правильная подготовка, выбор транспортного средства, маршрутное планирование, загрузка, разгрузка и обеспечение безопасности являются основными этапами, которые необходимо учесть для успешной транспортировки парогенераторов АЭС. Только при соблюдении всех этих этапов можно гарантировать эффективность и безопасность транспортировки парогенераторов АЭС.

Применение новейших технологий

Технологический прогресс и постоянное развитие индустрии энергетики породили потребность в эффективных и безопасных методах транспортировки компонентов и оборудования для атомных электростанций. В частности, од-

ной из наиболее важных задач является перевозка парогенераторов, которые являются неотъемлемой частью ядерных реакторных установок.

В настоящее время на рынке существует несколько инновационных технологий, которые обеспечивают безопасную и эффективную перевозку парогенераторов АЭС.

Одним из наиболее популярных методов является использование специализированных контейнеров и устройств для поднятия 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.

Другой передовой технологией, применяемой в транспортировке парогенераторов АЭС, является использование специализированных судов. Эти суда специально разработаны и оснащены системами для перевозки габаритных и тяжеловесных грузов. Они имеют специальные погрузочные и разгрузочные устройства, позволяющие эффективно и безопасно перемещать парогенераторы с суши на плавучий транспорт и наоборот.

Благодаря инновационным решениям в сфере морской логистики, такие суда способны обеспечить высокую скорость и сохранность грузов при их транспортировке на большие расстояния.

Безусловно, с каждым годом технологии в области транспортировки парогенераторов АЭС продолжают развиваться и совершенствоваться. Компании-разработчики и производители активно работают над созданием новых инновационных решений, учитывая требования к безопасности, надежности и эффективности. В результате этой работы технологии перевозки парогенераторов становятся все более совершенными, что способствует развитию ядерной энергетики и повышению безопасности атомных электростанций.

Реализованные проекты

В марте 2017 года компания SWTRANS выиграла конкурс на организацию и выполнение транспортно-экспедиционных услуг, связанных с погрузкой и доставкой сверхгабаритного оборудования по маршруту: г. Балаково – г. Подольск.

Изучив, документацию по запросу предложений, инженеры компании, выехали на место нахождения тяжеловесного негабаритного оборудования обследовали возможности погрузки, разработали варианты перегрузки, подачи и крепления груза на специализированный железнодорожный транспортер. Разработав план производства работ (ППР) и составив транспортно-технологическую схему транспортировки крупногабаритного реакторного оборудования с территории Балаковской АЭС до территории ПАО «ЗиО-Подольск», отдел исполнения компании приступил к выполнению работ.

Тяжеловесное реакторное оборудование – Парогенератор ПГВ-1000М хранился на площадке тяжеловесов на Балаковсклой АЭС. К моменту, когда все подготовительные и согласовательные работы были выполнены, отдел исполнения приступил непосредственно к работе над погрузкой крупногабаритного груза для отправки в точку назначения.

Первоначально была установлена гидравлическая портальная система СВТ-П300М, согласно схеме установки, а также паспорта на данный подъемник. Далее в зоне сборки ж/д оснастки произвели работы по разметке и сборке двух рам и стяжки на платформе автоприцепа марки SCHEUERLE модели InterCombi. В тупик, рядом с местом установки портальной системы была подана первая секция ж/д транспортера ТСЧ-400. А непосредственно под портальную систему на специальной облегченной ж/д платформе был подан парогенератор ПГВ-1000М. В зоне погрузки, согласно схеме строповки, с применением стальных кольцевых стропов длиной 12 м и грузоподъемностью 113 тонн каждый, выполнили строповку тяжеловесного негабаритного груза ПГВ-1000М.

Следующим этапом произвели подъем крупногабаритного атомного оборудования на высоту с использованием гидравлического стоечного подъемника, освободив тем самым специальную ж/д платформу, и отвели ее из зоны погрузки.

Далее самый ответственный момент в погрузке и креплении крупногабаритного груза –

это когда ж/д оснастка на транспортных средствах вывозится с площадки сборки и подается в зону перегрузки под поднятый ПГВ-1000М строго по осевым аппарата и ж/д путей согласно ранее произведенной разметке. Прицеп с транспортной оснасткой, за счет своей гидравлики, поднимается на максимальную высоту, под места расположения рам оснастки устанавливаются проставки таким образом, чтобы при опускании прицепа продольные балки прошли с зазором от проставок. Далее прицеп опускается на минимум таким образом, чтобы рамы оснастки легли на проставки.

Следующим этапом перегрузки была подача с обеих сторон от ПГВ-1000М с оснасткой секций железнодорожного транспортера. Далее секции ж/д транспортера были присоединены к транспортировочной оснастке согласно паспорту эксплуатации ж/д транспортера ТСЧ-400 и произведено полное опускание тяжеловесного негабаритного груза, который теперь удерживается над железнодорожными путями за счет транспортной оснастки, соединенной с ж/д транспортером сочлененного типа. Этап погрузки парогенераторов завершен, далее железнодорожный состав доукомплектовался вагоном сопровождения, оборудованного контрольной рамой, вагоном-лабораторией, оснащенной лазерным габаритомером, и несколькими вагонами прикрытия.

Рис. 1. Транспортировка парогенератора в г. Подольск [1]

Так как ранее были получены и согласованы сроки отправки железнодорожного состава с негабаритным грузом, то к указанному сроку погрузочные работы были завершены и оборудование отправилось до станции назначения по железной дороге.

В 2018 году при помощи компании «КинМарк» комплект парогенераторов ПГВ-1000 (общая масса груза составила 340 тонн) для Белорусской АЭС был доставлен использованием водного транспорта в Великий Новгород.

После прибытия, оборудование было погружено на специализированный железнодорожный транспортер. Комплект парогенераторов был направлен по железной дороге в Белоруссию [2].

Отгрузка изделий является одной из самых сложных логистических операций. От завода «Атоммаш» до спецпричала на Цимлянском водохранилище парогенераторы доставлялись на специализированном автотранспорте в ночное время суток в течение четырех дней. От причала на баржебуксирном составе оборудование прибыло в Великий Новгород.

Рис.2. Транспортировка парогенераторов на барже [3]

Рис. 3. Перегрузка парогенератора гидравлическим порталом на сочлененный ж/д транспортер [4]

Дальнейшая перегрузка изделий на ж/д транспортер для отправки к площадке монтажа осуществлялась специалистами компании «КинМарк». Для доставки всех четырех парогенераторов на строительную площадку транспортеру и остальному оборудованию было необходимо дважды совершить повтор маршрута от Великого Новгорода до Белорусской АЭС и обратно, так как в одном ж/д составе перевозилось только 2 парогенератора.

В ходе проекта перевозка оборудования была выполнена с помощью двух груженых транспортеров типа ТСЧ-500К г/п (массой 500т)

в составе одного поезда, за рекордные для железных дорог Российской Федерации сроки доставки.

Этапы перевозки включали в себя автоперевозку модульными прицепами по Волгодонску до спецпричала Атоммаш, далее водным транспортом по маршруту Волгодонск - Великий Новгород на одной барже. Автотранспорт в виде модульных прицепов до ж/д станции Новгород-на-Волхове, в завершении, большой и сложный промежуток транспортировки - железнодорожная перевозка на сочлененных железнодорожных транспортерах ТСЧ-500К г/п 500т с использованием уникальной транспортной оснастки по маршруту ж/д станция Новгород-на-Волхове – ж/д станция Бобровники Белорусской железной дороги и доставка модульными прицепами до энергоблока №2 Белорусской АЭС [3].

Биологическая защита

Защитный слой вокруг парогенератора требуется для его безопасной транспортировки до требуемого места. Если же такого решения принято не будет, то это приведет к выходу нейтронного излучения и дальнейшим негативным последствиям [5].

Свойствами, отвечающими требованиям по безопасности от нейтронного излучения, обладают боросодержащие стали, борированный полиэтилен и другие боросодержащие материалы [6-8].

Наиболее подходящим материалом защиты от γ -излучения является свинец. Так как свинец не относится к конструкционным материалам, для закрепления его в блоках защиты обычно используют оболочки из стали.

Существует множество исследований и патентов в области измерения и защиты от γ -излучения [9-11].

Часто в качестве защитных материалов используется бетон с различными наполнителями – лимонитовыми и серпентинитовыми минералами. Но бетонная защита имеет большие толщины и массы, поэтому широкое применение ее в судовых условиях крайне затруднительно.

Борированный полиэтилен в сравнении с другими материалами обладает рядом преимуществ [12]:

1. Уникальная молекулярная структура позволяет достигать большие показатели износостойкости, чем у традиционных металлопластиковых изделий;
2. Обладает малым коэффициентом трения, поэтому трудно склеивается с другими материалами;
3. Малый коэффициент трения, хорошая самосмазка, малое сопротивление потоку;
4. Устойчивость к воздействию серной кислоты, азотной кислоты и других сильных окислителей за пределами кислоты, щелочи, солевой среды;
5. Хорошая удароустойчивость, даже при низких температурах;

Одной из компаний, являющихся крупным производителем плит из борированного полиэтилена, является «ПромБорЗащита» [13]. Изготовление осуществляется по стандарту ТУ 20.16.10.111 – 012. – 27395268 – 2021. Согласно положениям этого документа, плиты состоят из высокомолекулярного полиэтилена. Минимальная концентрация бора — 3%, максимальная — 30%.

По требованиям, содержание бора в полиэтилене должно составлять [13]:

- 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 (ПЭВД) — плиты обладают удовлетворительными показателями прочности (предел прочности 2,45 МПа) в интервале температур от -50 °С до +50 °С, являются более дешевыми, отсутствует мутность, и легко подвергаются вторичной переработке [14,15];
2. Полиэтилен низкого давления (ПЭНД) — плиты обладают более удовлетворительными прочностными свойствами, нежели ПЭВД (предел прочности – 4,9 МПа), хорошие показатели водонепроницаемости, химически инертен, низкое значение теплопроводности и безопасностью для организма человека, и более высоким диапазоном рабочих температур (до +100°С) [15-17].

Благодаря малой разветвленности цепей ПЭНД имеет большую плотность, что и обосновывает хорошие прочностные свойства [17].

При соблюдении всех технологических требований, описанных выше, полученный борсодержащий материал обладает соответствующими механическими, физическими и химическими свойствами. Таким образом, данные материалы позволят избежать вытеснения ионизирующего излучения за рамки биологической

защиты.

Заключение

В ходе исследования были рассмотрены основные этапы транспортировки парогенераторов, изучены технологии перегрузки крупногабаритного оборудования и реализованные проекты, а также предложен способ создания биологической защиты парогенераторов.

Транспортировка парогенераторов для АЭС – это сложный и уникальный процесс, требующий высокой профессиональной подготовки и строгого соблюдения всех норм безопасности. Она играет ключевую роль в развитии энергетики и позволяет обеспечивать население электроэнергией, необходимой для комфортной и безопасной жизни.

Список литературы

1. SWTRANS [Электронный ресурс] // Погрузка, крепление и перевозка. URL: https://www.nizkoramnik.ru/proekty/pogruzka-kreplenie-i-perevozka-parogeneratora/ (дата обращения: 29.03.2017);
2. Парогенераторы для второго блока БелАЭС доставлены в Великий Новгород [Электронный ресурс] // Центральный металлический портал. URL: https://metallicheckiy-portal.ru/news/2017/7/12/parogeneratori_dla_vtorogo_bloka_belaes_dostavleni_v_velikii_novgorod (дата обращения: 3-4 квартал 2017);
3. Phortis [Электронный ресурс] // Доставка четырёх комплектов парогенераторов на энергоблок №2 Белорусской АЭС. URL: http://www.phortis.com/projects/dostavka-chetyrekh-komplektov-parogeneratorov-na-energoblok-2-belorusskoy-aes/ (дата обращения: 3-4 квартал 2017);
4. Кинмарк [Электронный ресурс] // Доставка парогенераторов на Белорусскую АЭС. URL: https://www.heavy-lift.ru/proektyi/peregruzka-parageneratorov-na-zh-d-tra/
5. Ионизирующее излучение и его последствия для здоровья [Электронный ресурс] // Всеминая организация здравоохранения. URL: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-and-health-effects
6. Патент № 2737188 C1 Российская Федерация, МПК C08J 3/12, C08J 3/20, C08L 23/06. способ получения нейтронозащитного материала на полимерной основе : № 2019129775 : заявл. 20.09.2019 : опубл. 25.11.2020 / И. А. Острецов, В. В. Ярошенко, В. В. Корнеев [и др.] ; заявитель Российская Федерация, от имени которой выступает Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом" (Госкорпорация "Росатом"), Федеральное государственное унитарное предприятие "Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики" (ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ"). – EDN UUYZIM.
7. Патент № 2362225 C2 Российская Федерация, МПК G21F 9/00. Материал-стабилизатор и способ его получения : № 2007114387/06 : заявл. 16.04.2007 : опубл. 20.07.2009 / Л. М. Шарыгин, А. Ю. Муромский, М. Л. Калягина [и др.] ; заявитель ОАО "Концерн Энергоатом", ЗАО ПНФ "Термоксид". – EDN YDHMLS.
8. Патент № 2208022 C1 Российская Федерация, МПК C08L 23/12, C08K 3/38. способ приготовления боросодержащей композиции : № 2002108072/04 : заявл. 29.03.2002 : опубл. 10.07.2003 / В. И. Ермаков, М. Х. Нурутдинов, И. М. Плешков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие Комбинат "Электрохимприбор". – EDN ZNNTLF.
9. Патент № 2591207 C1 Российская Федерация, МПК G21F 1/00. Защитный материал от нейтронного излучения и сцинтилляционный детектор гамма-излучения : № 2015120453/07 : заявл. 29.05.2015 : опубл. 20.07.2016 / Ю. И. Ольшанский, М. Н. Жуков, Н. Ю. Илькухин [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "РатэкЛаб". – EDN ZEVSJV.
10. Стряхнин, В. Л. Методика измерения набора дозы гамма-излучения в поле гамма-нейтронного излучения на основе конденсатора К-52 / В. Л. Стряхнин, В. Т. Громов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. – 2006. – № 3-4. – С. 84-85. – EDN NBFYCT.
11. Патент на полезную модель № 90923 U1 Российская Федерация, МПК G21C 17/032. устройство детектирования гамма-излучения жидких сред и спектрометрический жидкостной монитор гамма-излучения : № 2009135141/22 : заявл. 22.09.2009 : опубл. 20.01.2010 / А. В. Друзягин, Г. М. Михайлов, Д. Е. Мелета, В. В. Чигир ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие "Радиационный контроль. Приборы и методы". – EDN GVAQES.
12. Защитные листовые блоки из 30% борированного полиэтилена [Электронный ресурс] // Sanyou Plastic URL: https://ru.syuhmwpe.com/30-borated-polyethylene-ru.html
13. ПромБорЗащита [Электронный ресурс] // Сферы использования борированного полиэтилена. URL: https://prombor.ru/sfery-ispolsovania-bolirpoliet.html.
14. Иманаев, И. Р. Смесевые композиции на основе полиэтилена высокого давления и линейного полиэтилена высокого давления / И. Р. Иманаев, В. В. Жуков, Р. Р. Спиридонова // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 6. –

С. 29-31. – EDN YIXJZZ.
15. Химические свойства полиэтилена низкого давления, полиэтилена высокого давления, полиэтилентерефлата, полистирола и способы их различия / А. К. Брель, Н. В. Атапина, Ю. Н. Будаева [и др.] // ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ и ПРИКЛАДНАЯ НАУКА: СОСТОЯНИЕ и ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ : сборник статей II Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 24 ноября 2019 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2019. – С. 256-262. – EDN PTKBUW.
16. Патент № 2471821 C1 Российская Федерация, МПК C08J 3/22, C08L 23/06, C08L 23/08. Способ получения стабилизированных композиций на основе полиэтилена низкого давления с повышенной стойкостью к растрескиванию : № 2011123074/04 : заявл. 08.06.2011 : опубл. 10.01.2013 / А. А. Баулин, А. А. Баулин, А. В. Каландин, Н. А. Кудрявцева ; заявитель Российская Федерация, от имени которой выступает МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. – EDN ZGOWTB.
17. Харченко, И. С. Производство полиэтилена низкого давления в жидкой фазе: обзор и сопоставительная характеристика процессов / И. С. Харченко // Современные научные исследования и разработки. – 2017. – № 8(16). – С. 579-586. – EDN YMJFPD.

References

1. SWTRANS [Electronic resource] // Loading, fastening and transporta-tion. URL: https://www.nizkoramnik.ru/proekty/pogruzka-kreplenie-i-perevozka-parogeneratora / (accessed: 03/29/2017);
2. Steam generators for the second unit of the Belarusian NPP were deliv-ered to Veliky Novgorod [Electronic resource] // Central Metal Port. URL: https://metallicheckiy-portal.ru/news/2017/7/12/parogeneratori_dla_vtorogo_bloka_belaes_dostavleni_v_velikii_novgorod (date of completion: 3-4 quarter 2017);
3. Phortis [Electronic resource] // De-livery of four sets of steam genera-tors to the power unit No. 2 of the Belarusian NPP. URL: http://www.phortis.com/projects/dostavka-chetyrekh-komplektov-parogeneratorov-na-energoblok-2-belorusskoy-aes / (accessed: 3-4 quarter 2017);
4. Kinmark [Electronic resource] // De-livery of steam generators to the Belarusian NPP. URL: https://www.heavy-lift.ru/proektyi/peregruzka-parageneratorov-na-zh-d-tra/
5. Ionizing radiation and its conse-quences for health [Electronic re-source] // The universal organization of health care. URL: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-and-health-effects
6. Patent No. 2737188 C1 Russian Federation, IPC C08J 3/12, C08J 3/20, C08L 23/06. method for obtaining a polymer-based neutron-protective material : No. 2019129775 : application 09/20/2019 : publ. 11/25/2020 / I. A. Ostretsov, V. V. Yaroshenko, V. V. Korneev [et al.] ; the applicant is the Russian Federation, on behalf of which the State Atomic Energy Cor-poration Rosatom (Rosatom State Corporation), the Federal State Uni-tary Enterprise Russian Federal Nu-clear Center - All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics (FSUE RFNC-VNIIEF). – EDN UUYZIM.
7. Patent No. 2362225 C2 Russian Federation, IPC G21F 9/00. Material stabilizer and method of its prepara-tion : No. 2007114387/06 : applica-tion 16.04.2007 : publ. 20.07.2009 / L. M. Sharygin, A. Yu. Muromsky, M. L. Kalyagina [et al.] ; applicant JSC Concern Energoatom, CJSC PF Thermoxide. – EDN YDHMLS.
8. Patent No. 2208022 C1 Russian Federation, IPC C08L 23/12, C08K 3/38. method of preparation of bo-ron-containing composition : No. 2002108072/04 : application 29.03.2002 : publ. 10.07.2003 / V. I. Ermakov, M. H. Nurutdinov, I. M. Pleshkov [et al.] ; applicant Federal State Unitary Enterprise Combine "Electro-trochimpribor". – EDN ZNNTLF.
9. Patent No. 2591207 C1 Russian Federation, IPC G21F 1/00. Neutron radiation shield material and gamma radiation scintillation detector : No. 2015120453/07 : application. 05/29/2015 : publ. 07/20/2016 / Yu. I. Olshansky, M. N. Zhukov, N. Y. Il-kukhin [et al.] ; the applicant is a Limited Liability Company "Rate-kLab". – EDN ZEVSJV.
10. Stryakhnin, V. L. Method of meas-uring the gamma radiation dose set in the gamma neutron radiation field based on the K-52 capacitor / V. L. Stryakhnin, V. T. Gromov // Issues of atomic science and technology. Series: Physics of radiation exposure to radioelectronic equipment. - 2006. – No. 3-4. – pp. 84-85. – EDN NBFYCT.
11. Utility Model Patent No. 90923 U1 Russian Federation, IPC G21C 17/032. gamma radiation detection device for liquid media and spec-trometric liquid gamma radiation monitor : No. 2009135141/22 : pub-lished on 09/22/2009 : publ. 20.01.2010 / A.V. Druzyagin, G. M. Mikhailov, D. E. Meleta, V. V. Chi-gir ; applicant Limited Liability Company Scientific and Production Enterprise "Radiation control. Devices and methods". – EDN GVAQES.
12. Protective sheet blocks made of 30% borinated polyethylene [Elec-tronic resource] // Sanyou Plastic URL: https://ru.syuhmwpe.com/30-borated-polyethylene-ru.html
13. Promborzashchita [Electronic re-source] // Spheres of use of borinat-ed polyethylene. URL: https://prombor.ru/sfery-ispolsovania-bolirpoliet.html.
14. Imanaev, I. R. Mixed compounds based on high-

pressure polyethylene and high-pressure linear polyeth-ylene / I. R. Imanaev, V. V. Zhukov, R. R. Spiridonova // Bulletin of the Technological University. - 2017. – Vol. 20, No. 6. – pp. 29-31. – EDN YIXJZZ.

15. Chemical properties of low-pressure polyethylene, high-pressure poly-ethylene, polyethylene polyethylene, polystyrene and ways to distinguish them / A. K. Brel, N. V. Atapina, Yu. N. Budaeva [et al.] // FUNDA-MENTAL and APPLIED SCIENCE: STATE and DEVELOPMENT TRENDS : collection of articles of the II International Scientific and practical Conference conferences, Petrozavodsk, November 24, 2019. – Petrozavodsk: International Center of Scientific Partnership "New Sci-ence", 2019. – pp. 256-262. – EDN PTKBUW.
16. Patent No. 2471821 C1 Russian Federation, IPC C08J 3/22, C08L 23/06, C08L 23/08. Method of obtaining stabilized compounds based on low-pressure polyethylene with increased resistance to cracking : No. 2011123074/04 : application 08.06.2011 : publ. 10.01.2013 / A. A. Baulin, A. A. Baulin, A. V. Kalandin, N. A. Kudryavtseva; the applicant is the Russian Federation, on behalf of which the MINISTRY OF INDUSTRY AND TRADE of the RUSSIAN FEDERATION acts. – EDN ZGOWTB.
17. Kharchenko, I. S. Production of low-pressure polyethylene in the liquid phase: a review and comparative characteristics of processes / I. S. Kharchenko // Modern scientific research and development. – 2017. – № 8(16). – Pp. 579-586. – EDN YMJFPD.

УДК 621.039.738

Анализ возможности замыкания ядерного топливного цикла с помощью проекта "Прорыв"

Ретунский Д.М.[1], Сакерин А.О.[1], Губин А.В.[1]
[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, 299053, Россия, e-mail: retunsky.denis@yandex.ru, sakerin_andrey@mail.ru, avgubin@mail.sevsu.ru

Статья поступила 20.05.2024 г.; после доработки 21.05.2024 г.

Аннотация
В статье представлены основные особенности проекта «Прорыв», а также реактора «БРЕСТ-ОД-300». Рассмотрена технология переработки смешанного нитридного уран-плутониевого топлива для обеспечения возможности замыкания ядерного топливного цикла.

Ключевые слова: ядерный топливный цикл, БРЕСТ, переработка, отработавшее ядерное топливо, радиоактивные отходы.

Analysis of the possibility of closing the nuclear fuel cycle using the Proryv project

Retunskiy D.M.[1], Sakerin A.O. [1], Gubin A.V.[1]
[1]Sevastopol State University, Sevastopol, 299053, Russia, e-mail: retunsky.denis@yandex.ru, sakerin_andrey@mail.ru, avgubin@mail.sevsu.ru,

Received 20.05.2024 y.; received in final form 21.05.2024 y.

Abstract
The article presents the main features of the Proryv project, as well as the BREST-OD-300 reactor design. The technology for processing mixed nitride uranium-plutonium fuel to ensure the possibility of closing the nuclear fuel cycle is considered.

Keywords: nuclear fuel cycle, BREST, reprocessing, spent nuclear fuel, radioactive waste.

Введение

Атомная промышленность остаётся актуальной по нескольким причинам. Во-первых, атомная энергия считается относительно чистым источником энергии, по сравнению с традиционными источниками, такими как уголь и нефть, поскольку при производстве электроэнергии на атомных электростанциях практически не выделяются парниковые газы и другие загрязнители. Это приводит к уменьшению вредного воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

Во-вторых, атомная энергия обеспечивает стабильное и надёжное энергоснабжение, так как является почти непрерывным источником энергии. Из-за зависимости возобновляемых источников энергии (солнечные и ветровые электростанции) от климатических и территориальных условий, атомная энергия может выступать в качестве базовой нагрузки, обеспечивая электроэнергией даже в периоды отсутствия ветра или солнечного света.

Кроме того, атомная энергия вносит значительный вклад в развитие экономики, создавая рабочие места и способствуя инновациям в сфере технологий. Многие страны видят в развитии атомной промышленности возможность улучшения своей энергетической безопасности и

снижения зависимости от импорта энергоресурсов.

Наконец, в свете стремления к снижению выбросов парниковых газов и уменьшению зависимости от ископаемых топлив, атомная энергетика становится важным инструментом для достижения энергетической и экологической устойчивости.

Проект прорыв

Проект «Прорыв» госкорпорации «Росэнергоатом» нацелен на развитие чистой двухкомпонентной атомной энергетики на основе быстрых реакторов с жидкометаллическими теплоносителями.

На территории Сибирского химического комбината строится опытно-демонстрационный энергетический комплекс (Рис.1) [2,3], включающий в себя энергоблок с реактором БРЕСТ-ОД-300 (быстрый реактор естественной безопасности со свинцовым теплоносителем, опытный демонстрационный, мощностью 300 МВт), и завод для реализации закрытого ядерного топливного цикла, включающий в себя:

1) Модуль переработки облученного смешанного нитридного уран-плутониевого топлива (СНУП-топлива);

2) Модуль фабрикации/рефабрикации (МФР) для изготовления твэлов из переработанного ядерного топлива.

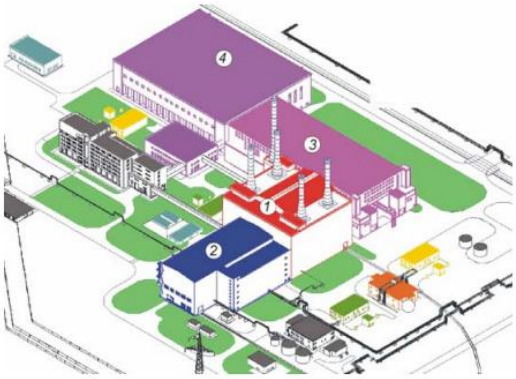


Рис. 1. Опытно-демонстрационный энергетический комплекс (ОДЭК) с реактором БРЕСТ-ОД-300 (1 – реактор; 2 – турбоустановка; 3 – комплекс хранения и переработки радиоактивных отходов; 4 – комплекс пристанционного ядерного топливного цикла)

Частью этого проекта является строительство реактора БРЕСТ-ОД-300 (Рис.2) [4], который использует свинцовый теплоноситель и аварийноустойчивое смешанное нитридное уран-плутониевое топливо. Основная особенность данного реактора заключается в принципе естественной безопасности, который исключает два наиболее серьезных типа аварий – неконтролируемый рост мощности и потерю отвода тепла – благодаря физическим свойствам используемых материалов.

Тепловая система состоит из двух контуров: в первом используется свинец высокой чистоты, а во втором - вода-пар сверхкритических параметров. Второй контур не содержит радиоактивных материалов и включает в себя парогенераторы, главные паропроводы, систему питательной воды и турбоагрегат. Водно-химический режим второго контура без деаэратора является нейтрально-кислородным.

Турбоустановка К-300-240-3 включает в себя паровую турбину с системами смазки, валоповорота, регулирования и гидроподъема роторов и др. Функция аварийного отвода тепла не возлагается на второй контур. Проектирование строений основного корпуса учитывает сейсмостойкость и предполагает симметричное расположение для уменьшения инерционных сил при землетрясениях. В качестве проектного принято землетрясение силой 6 баллов, в качестве максимально расчетного – 7 баллов по шкале MSK-64 [5].

С точки зрения безопасности, БРЕСТ-ОД-300 обладает несколькими значительными преимуществами по сравнению с существующими реакторами:

1) Он автоматически самостоятельно заглушается при любых отклонениях режимных параметров.
2) Использование высококипящего (~2000 K), радиационно стойкого, слабо активирующегося свинцового теплоносителя в БРЕСТ-ОД-300 исключает необходимость высокого давления в контуре и предотвращает аварии с пожарами и взрывами.
3) Надежность и устойчивость механических дефектов и температурных режимов используемого плотного нитридного топлива по сравнению с оксидным.
4) Комбинация свойств свинцового теплоносителя и нитридного топлива создает условия для полного воспроизводства делящихся нуклидов в активной зоне, стабилизации размножающих свойств реактора (что позволяет работать при малом и стабильном запасе реактивности) и предотвращения аварий с неконтролируемым ростом мощности, разрушением топлива и выбросом радиоактивных материалов.

5) Интегральная конструкция реакторной установки позволяет локализовать течи теплоносителя в объеме корпуса реакторной установки и исключить осушение активной зоны. Это исключает аварии, требующие эвакуации населения.

Также из достоинств можно выделить экономические. Особенности реактора позволили отказаться от больших объёмов гермооболочки, ловушки расплава, большого объема обеспечивающих систем, а также снизить класс безопасности внереакторного оборудования.

К основным недостаткам данного ядерного реактора можно отнести следующие:

1) Долгий разогрев теплоносителя до температуры в 750°С.
2) Малая мощность по сравнению со всеми современными строящимися реакторами.
3) Большое количество парогенераторов (8) что в два раза больше чем используется в современных водо-водяных энергетических реакторах (ВВЭР).
4) После двух лет облучения свинца в активной зоне реактора в нём образуется ^{205}Pb с периодом полураспада 17,3 млн. лет, что ведёт к дорогостоящему глубинному захоронению при выводе из эксплуатации.

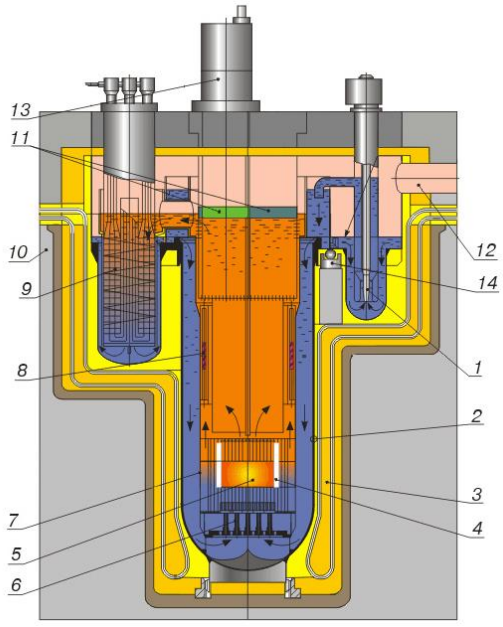


Рис. 2. Реактор БРЕСТ (1 – насос первого контура; 2 – корпус реактора; 3 – теплоизоляция; 4 – стержни СУЗ; 5 – активная зона; 6 – опорные стойки; 7 – разделительная обечайка; 8 – хранилище ТВС; 9 – парогенератор; 10 – бетонная шахта; 11 – поворотные пробки барабана перегрузки топлива; 12 – аварийный сброс паровой смеси; 13 – перегрузочная машина; 14 – опоры)

Замкнутый ядерный топливный цикл

К современным технологиям переработки облученного ядерного топлива в быстрых реакторах (ОЯТ БР) предъявляют такие требования, как:

- Высокий уровень безопасности;
- Снижение воздействия радиоактивных отходов на окружающую среду в результате дожигания минорных актинидов в реакторе;
- Снижение риска распространения ядерных материалов, пригодных для изготовления ядерного оружия (исключение возможности выделения плутония при переработке ОЯТ);
- Устойчивость к внешним воздействиям (землетрясения, наводнения, падение самолетов и т.д.); экономическая конкурентоспособность).

На данный момент в Государственной корпорации "Росатом", совместно с Российской академией наук и другими заинтересованными организациями, разработана новаторская технология переработки отработанного ядерного топлива для быстрой и эффективной обработки топлива различных типов, включая плотное топливо с высокой степенью выгорания и коротким временем выдержки (Рис.3) [6,7]. Результатом данного процесса являются оксиды урана-нептуния-плутония, которые могут быть использованы для рефабрикации топлива в соответствии с таблеточной технологией.

К настоящему времени проверены в лабораторных условиях на реальных продуктах следующие основные технологические операции:

- снятие нержавеющей оболочки твэла в расплавах цинка;
- пироэлектрохимический аффинаж U, Pu и Np;
- экстракционный аффинаж U, Pu и Np;
- разделение редкоземельных и трансплутониевых элементов, улавливание летучих продуктов деления.

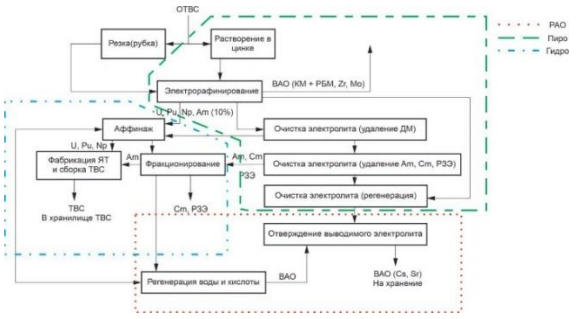


Рис. 3. Принципиальная схема переработки СНУП-топлива

Технический проект пристанционного ЯТЦ БРЕСТ-ОД-300 разрабатывался на принципах естественной безопасности: детерминистическое исключение тяжелых радиационных, ядерных аварий при переработке и изготовлении ядерного топлива путем создания ядерно-безопасных аппаратов.

На модуле переработки ОДЭК предполагается поэтапно реализовать комбинированную технологию переработки СНУП ОЯТ, состоящую из головных пирохимических операций, гидрометаллургического аффинажа урана, плутония и нептуния (U-Pu-Np), включая выделение и разделение америция (Am) и кюрия (Cm), а также получение порошков оксидов U-Pu-Np-Am. Для пирохимического передела на лабораторном уровне подтверждена техническая реализуемость основных операций. Выбран окончательный вариант технологической схемы пирохимического передела [8].

Годовая производственная программа цикла предусматривает регенерацию и изготовление 29 ТВС БРЕСТ-ОД-300. При этом разделываются, регенерируются и изготавливаются три типоразмера твэлов и ТВС для реактора БРЕСТ. В технический проект оборудования пристанционного ядерного топливного цикла входят аппарат для растворения ТВС, установки регенерации топлива (электролизер), получения мононитридов, кассетного пресса, печи удаления связующего материала и спекания непрерывного действия, оборудование камеры сборки, герметизации и контроля твэлов, оборудование участка изготовления ТВС, проекты систем управления. Пристанционный ЯТЦ БРЕСТ-ОД-300 разбит на две очереди, которые представлены на рисунке 4: первая включает участки для изготовления порошка из исходных ядерных материалов, таблеток, твэлов, ТВС и предназначена для изготовления первых топливных загрузок БРЕСТ-ОД-300 (145 ТВС, 17,6 т) в течение года. Вторая включает участки разделки и регенерации облученного топлива [9].

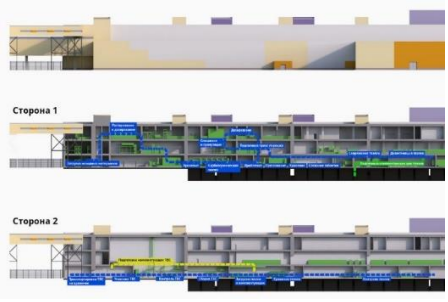


Рис. 4. Модуль фабрикации и рефабрикации

Заключение

Исходя из всего вышеперечисленного, стоит отметить значимость и потенциал проекта «Прорыв» для развития атомной энергетики. Несмотря на то, что это экспериментальный проект, он представляет собой важный шаг в развитии безопасных и эффективных технологий в области ядерной энергетики. Реактор БРЕСТ-ОД-300 открывает новые возможности для уменьшения зависимости от источников энергии с высоким содержанием углерода, предлагая перспективные решения для будущего энергетического развития. Его инновационные решения в области безопасности и экологичности могут стать образцом для следующего поколения ядерных установок. Реактор БРЕСТ-ОД-300 – это не только технологическое достижение, но и символ стремления к устойчивому и экологически чистому будущему.

Список литературы

1. Топливный цикл реакторов БРЕСТ. Решение проблем РАО и нераспространения / В. В. Орлов, А. В. Лопаткин, А. Г. Глазов [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. – 2004. – № 4. – С. 232-237. – EDN UQDOOW.
2. Лемехов, В. В. Активная зона реактора БРЕСТ: современное состояние и перспективы / В. В. Лемехов, В. С. Смирнов, А. А. Уманский // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2013. – № 2. – С. 89-93. – EDN QBNMBB.
3. Реактор БРЕСТ и пристанционный ядерный топливный цикл / А. Г. Глазов, В. Н. Леонов, В. В. Орлов [и др.] // Атомная энергия. – 2007. – Т. 103, № 1. – С. 15-21. – EDN JVSODT.
4. Орлов, В. В. Детерминистическая безопасность реакторов Брест / В. В. Орлов, В. С. Смирнов, А. И. Филин // Энергия: экономика, техника, экология. – 2003. – № 10. – С. 13-20. – EDN NCUFGW.
5. Экспериментально-расчетное обоснование нейтронно-физических характеристик реактора БРЕСТ-ОД-300 / В. В. Орлов, А. Л. Кочетков, А. В. Лопаткин [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Обеспечение безопасности АЭС. – 2004. – № 4. – С. 113-121. – EDN XOBADZ.
6. Рогозкин Б.Д., Степеннова Н.М., Прошкин А.А. Мононитридное топливо для быстрых реакторов. — Атомная энергия, 2003, т. 95, вып. 3, с. 209—221.
7. РН-процесс - технология переработки смешанного уран-плутониевого топлива реактора БРЕСТ-ОД-300 / А. Ю. Шадрин, К. Н. Двоеглазов, А. Г. Масленников [и др.] // Радиохимия. – 2016. – Т. 58, № 3. – С. 234-241. – EDN VXPVIV.
8. Сила-Новицкий А.Г., Костюков Ю.А., Рогозкин Б.Д. и др. Результаты изготовления смешанного

мононитридного топлива и макетов твэл РУ БРЕСТ-ОД-300 для испытаний в составе ЭТВС реактора БОР-60. Годовой отчет НИКИЭТ, 2005, с.19—20.
9. Моисеев А.В., Реакторная установка БРЕСТ-ОД-300. Основные результаты расчетно-экспериментального обоснования безопасности // Проектное направление «Прорыв»: результаты реализации новой технологической платформы ядерной энергетики, 2015.

References

1. Fuel cycle of BREST reactors. Solving the problems of radioactive waste and non-proliferation / V.V. Orlov, A.V. Lopatkin, A.G. Glazov [etc.] // Questions of atomic science and technology. – 2004. – No. 4. – P. 232-237. – EDN UQDOOW.
2. Lemekhov, V.V. BREST reactor core: current state and prospects / V.V. Lemekhov, V.S. Smirnov, A.A. Umansky // Problems of mechanical engineering and automation. – 2013. – No. 2. – P. 89-93. – EDN QBNMBB.
3. BREST reactor and on-site nuclear fuel cycle / A. G. Glazov, V. N. Leonov, V. V. Orlov [etc.] // Atomic Energy. – 2007. – T. 103, No. 1. – P. 15-21. – EDN JVSODT.
4. Orlov, V.V. Deterministic safety of Brest reactors / V.V. Orlov, V.S. Smirnov, A.I. Filin // Energy: economics, technology, ecology. – 2003. – No. 10. – P. 13-20. – EDN NCUFGW.
5. Experimental and computational substantiation of the neutronic characteristics of the BREST-OD-300 reactor / V. V. Orlov, A. L. Kochetkov, A. V. Lopatkin [etc.] // Questions of Atomic Science and Technology. Series: Ensuring the safety of nuclear power plants. – 2004. – No. 4. – P. 113-121. – EDN XOBADZ.
6. Rogozkin B.D., Stepennova N.M., Proshkin A.A. Mononitride fuel for fast reactors. - Atomic Energy, 2003, v. 95, issue. 3, p. 209-221.
7. RN-process - technology for processing mixed uranium-plutonium fuel of the BREST-OD-300 reactor / A. Yu. Shadrin, K. N. Dvoeglazov, A. G. Maslennikov [etc.] // Radiochemistry. – 2016. – T. 58, No. 3. – P. 234-241. – EDN VXPVIV.
8. Sila-Novitsky A.G., Kostyukov Yu.A., Rogozkin B.D. and others. Results of manufacturing mixed mononitride fuel and mock-ups of BREST-OD-300 reactor fuel rods for testing as part of the fuel assemblies of the BOR-60 reactor. Annual report of NIKIET, 2005, pp. 19-20.
9. Moiseev A.V., Reactor plant BREST-OD-300. Main results of computational and experimental safety justification // Project direction “Breakthrough”: results of the implementation of a new technological platform for nuclear energy, 2015.

УДК 620.92

Обзор существующих решений по совершенствованию и оптимизации подогревателей высокого давления

К.А. Умаров[1,2], В.Е. Губин[2]
[1] АО "Атомтехэнерго", ул. Тверская, д. 5, г. Удомля, Тверская обл., 171841, Россия [1,2] umarov@klnate.ru
[2] ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, [2]vegubin@sevsu.ru

Статья поступила 22.05.2024 г.; после доработки 24.05.2024 г.

Аннотация

Приведен анализ научных данных о решениях проблем по совершенствованию и оптимизации систем регенерации пара высокого давления турбинных установок. Дано представление о уже внедренных в эксплуатацию механизмов оптимизации с учетом особенностей различных конструкций подогревателей. Освещены факторы, приводящие к понижению КПД турбинного агрегата вследствие отключения системы регенерации тепла. Дана оценка приведенным статьям, патентам, полезным моделям. Обобщены современные тенденции развития практических мер повышения эффективности подогревателей.

Ключевые слова: подогреватель высокого давления, паровая турбина, система регенерации паровой турбины.

Overview of existing solutions for improving and optimizing high-pressure heaters

K.A. Umarov[1,2], V.E. Gubin[2]
[2] JSC "Atomtekhenergo", st. Tverskaya, 5, Udomlya, Tver region, 171841, Russia, [1,2] umarov@klnate.ru
[1]Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, [2]vegubin@sevsu.ru

Received 22.05.2024 y.; received in final form 24.05.2024 y.

Abstract

Analysis of scientific data on solutions to problems on improvement and optimization of high-pressure steam regeneration systems of turbine plants is adduced. An idea about the already introduced optimization mechanisms taking into account the peculiarities of various heater designs is given. Factors leading to reduction of efficiency of turbine unit due to shutdown of steam regeneration system are described. The cited articles, patents, useful models are evaluated. Current trends of development of practical measures to increase efficiency of heaters are summarized.

Keywords: high pressure heater, steam turbine, steam regeneration system.

Введение

Система регенерации высокого давления обычно представляет собой две ступени подогрева питательной воды в поверхностных подогревателях высокого давления. Устанавливаются параллельно в две группы по два, три аппарата. Теплоносителем выступает отборы пара из цилиндров высокого давления турбины. По водяной стороне каждая группа может быть отключена, и блок может работать с пропуском питательной воды по одной группе и по байпасу другой, или только по байпасам обеих групп. Конденсат пара сливается каскадно из ПВД более высокого давления в ПВД более низкого давления.

Трубная система состоит из:

- трубной доски;
- П-образных теплообменных труб, закрепленных в трубной доске вальцовкой и сваркой;
- каркаса, выполненного из труб, и приваренных к ним поперечных дистанцирующих перегородок.

Трубная система конструктивно разделена на две зоны: зону конденсации и зону охлаждения конденсата. Внутри «корпуса» ОК установлены десять параллельных перегородок, обеспечивающих десять ходов конденсата в охладителе конденсата.

Трубная система размещена в облегающем ее кожухе, через который входит пар на трубы второго хода поверхности теплообмена.

Камера водяная расположена в нижней части подогревателя и включает в себя цилиндрическую обечайку и эллиптическое днище. На водяной камере, разделенной внутренней перегородкой, установлены патрубки входа и выхода питательной воды, люк-лаз для внутреннего осмотра. На обечайке – штуцера для опорожнения трубной системы.

Корпус подогревателя представляет собой сварную конструкцию из цилиндрических обечаек и эллиптическое днище. На поверхности установлены:

- патрубки для входа и выхода греющего пара;
- патрубки для входа и выхода конденсата греющего пара 1-й ступени СПП и из ПВД;
- патрубки для входа и выхода конденсата из паропровода;
- штуцер для выхода воздуха из корпуса;
- штуцер для входа неконденсирующихся газов.

При работе питательная вода поступает через патрубок во входную часть камеры, а из нее в трубы поверхности теплообмена, в которых совершает два хода и выводится из подогревателя через патрубок. При своем движении в трубах питательная вода нагревается за счет конденсации пара и переохлаждения конденсата.

Поток греющего пара поступает в зазор между корпусом и кожухом трубной системы. Равномерно распределяясь по высоте в этом зазоре, греющий пар через «окно» в кожухе поступает в трубную системы, где происходит его конденсация.

Конденсат греющего пара через зазор, имеющийся между кожухом и кромкой горизонтальных перегородок, стекает в зону охлаждения конденсата.

В центральной части горизонтальных перегородок предусмотрены отверстия, под которыми установлены лотки с наклонными днищами. По этим элементам, соединенным с каркасными трубами, также осуществляется отвод конденсата с перегородок в зону охлаждения конденсата. В охладителе конденсата конденсат охлаждается до расчетной температуры. Неконденсирующиеся газы отводятся из подогревателя через штуцер специальным устройством, состоящим из вертикальной перфорированной трубы, установленной на периферии трубного пучка.

Отвод воздуха при заполнении или впуск воздуха при опорожнении трубной системы и корпуса подогревателя осуществляется через соответствующие воздушники.

Опорожнение корпуса и трубной системы осуществляется через соответствующие дренажи.

Основные вопросы о необходимости рассмотрения темы и ее актуальности

Конструктивные особенности и и режимы работы подогревателей оказывают влияние на эффективность работы турбиной установки.

При появлении течи в одном подогревателе вся группа отключается по питательной воде, что приводит к снижению электрической мощности на 30 МВт, в турбинных установках турбин мощностью 1 ГВТ и за время ремонтных работ приносит уменьшение выручки более чем на 20 млн. рублей в год [1]. Тут можно отметить важность бесперебойной работы системы и поднять вопросы по увеличению ее надежности, чтобы не допустить потерю дохода.

Исходя из различных конструкций ПВД и опыту их эксплуатации можно выделить существенные слабые стороны:

- недогрев из-за термических сопротивлений передачи тепла; повышается со временем из-за отложений на поверхностях теплообмена;
- размытие металла трубок питательной водой под большим давлением;
- течи вследствие износа, коррозии;
- высокая металлоемкость.

Анализ ресурсной надежности теплообменной поверхности подогревателей

Полученные данные ресурсной надежности поверхностей ПВД [2] на 1,2, блоках КлнАЭС за 1987-1992 года свидетельствуют о том, что блоки работали с одной или двумя отключенными подогревателями 37,1% и 28,4% от обработанного в работе времени соответственно.

Отказы ПВД начались на 3-ем, 4-ом годах эксплуатации блоков. Подогреватель же из нержавеющем стали стабильно работал более 10 лет на 5 блоке НВАЭС (анализ за 1981-1988, 1989-1992 года)

В экономическом обосновании замены ПВД [1] на блоках мощностью 1000 МВт отключение группы по питательной воде приводит к снижению мощности блока на 30 МВт. И во время ремонтных работ уменьшает выручку на 26 млн. рублей в год (данные для 1 блока КлнАЭС).

Можем сделать вывод, что первостепенной задачей является повышение надежности подогревателей.

Основные отказы происходили из-за появления течей вследствие сквозных брешей в змеевиках коллекторно-спиральных ПВД. На разных участках происходит как утонение змеевиков и появляются сквозные бреши, так и утолщение [2].

Утонение зависит от многих факторов (температура, давление питательной воды и др.) и происходит интенсивнее на входных участках змеевиков.

Утолщение происходит из-за образования отложений на поверхностях теплообмена, что увеличивает недогрев.

В обзорной статье о тенденциях проектировании и эксплуатации ПВД и ПНД в России и за рубежом [3] так же отмечается эрозийное разрушение трубок и сквозные бреши на спиралях из-за динамического воздействия теплоносителей.

Обслуживание и ремонт подогревателей

Основными способами ремонта являются подвальцовывание соединений (при нарушении соединений) либо заглушка с двух сторон поврежденного участка. Но сокращение площади теплообмена ухудшает свойства ПВД и не допускается заглушка более 10% поверхности трубок. Одних из современных способов является сливинг (sleeving) – установка тонкостенного вкладыша из высокопрочных сплавов внутри поврежденной трубки. Этот способ увеличивает срок службы, и хоть и повышается термическое сопротивление, практически не уменьшает поверхность теплообмена как заглушки.

Из-за высокой частоты отказов (37,1% времени отключена одна группа или две [2]) ПВД коллекторно-спирального типа начали заменять на камерные [1]. Его основная конструкция представлена на рис 1. Они имеют лучшую ремонтопригодность и надежность, но естественно не лишены поломок, обусловленных параметрами работы с высоким давлением, скоростью теплоносителя.

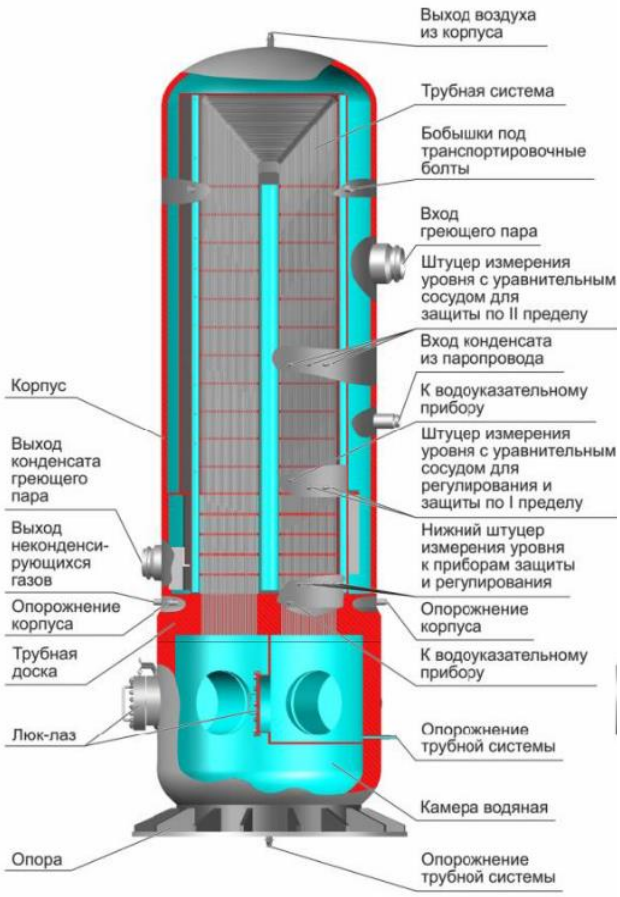


Рис. 1 Конструкция Подогревателя высокого давления.

Модернизация и перспективные методы регенерации пара

Одной из задач при проектировании является сохранение высокой эффективности и уменьшение металлоемкости.

В направлении увеличения поверхности теплообмена без увеличения конструктивных размеров существуют статьи и патенты [4].

Для наиболее компактного заполнения корпуса одна из спиралей змеевиков – «капли» вы-

полнена меньшего диаметра (рис.2.). Поверхность теплообмена содержит двухспиральные змеевики из двух соединенных в единую конструкцию, навитых раздельно друг от друга спиралей, при этом концы каждой из этих спиралей присоединены к входу и выходу коллекторов.

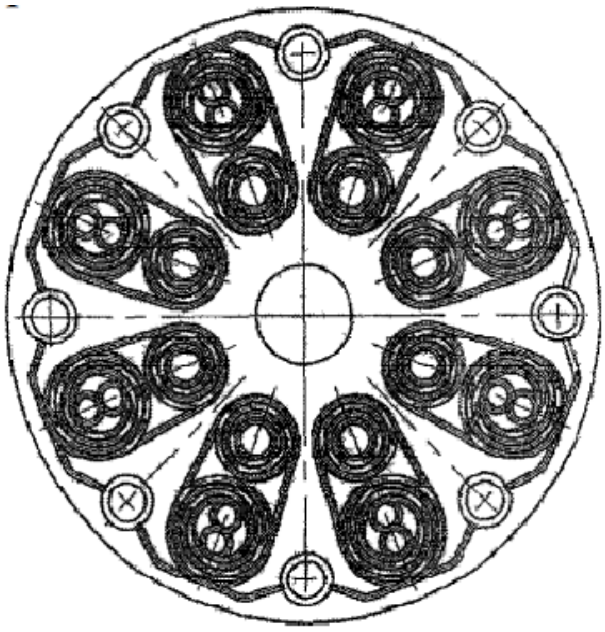


Рис 2. Схема расположения змеевиков в виде «капли» внутри корпуса

В рассматриваемом [4] примере двухспиральные змеевики лучше заполняют внутрикорпусное пространство, что не удается в случае стандартных спиралей круглой формы – центральная часть ПВД остается «пустой».

Так как было доказано, что подогреватели (парогенератор на НВАЭС [1]) из нержавеющей стали надежнее чем из углеродистых сталей, возможно экономический эффект от более продолжительного срока межремонтного периода превысит расходы на нержавеющую сталь.

При этом увеличив теплообменную поверхность, т.е. повысив компактность заявленной полезной моделью можно уменьшить расходы на создание аппаратов.

Смешивающие подогреватели высокого давления

Учитывая современный уровень и тенденции в проектировании подогревателей в России и за рубежом, большую надежду на замкнутый ядерный цикл (ЗЯТЦ) с перспективными энергоблоками стоит уделить внимание другим типам ПВД.

Двухконтурные перспективные блоки с реактором на свинцовом теплоносителе могут использовать регенерацию пара смешивающими типами ПВД (Рис.3.).

В экспериментальном обосновании конструкции [5] предлагается отойти от практически основной причины отказов ПВД – полностью ее убрав.

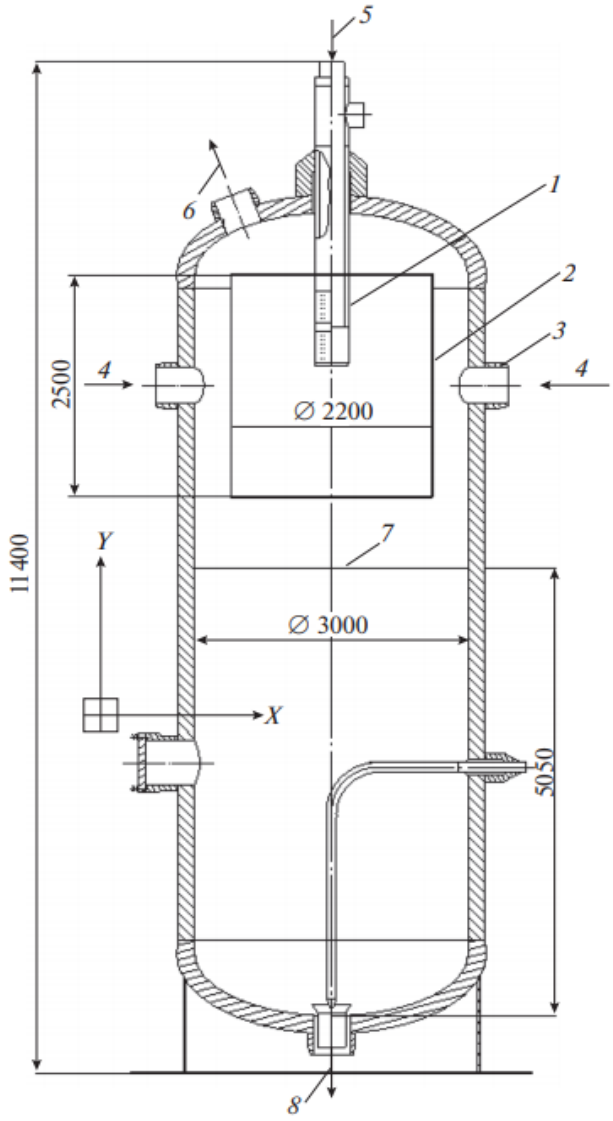


Рис 3. Смешивающий подогреватель питательной воды высокого давления.
1- Водоподгатавливающее устройство; 2 – защитная обечайка; 3 – подвод греющей среды; 4 – греющая среда; 5 – питательная вода; 6 –выпар; 7 – средний уровень; 8 нагретая питательная вода.

Предложенный смешивающий подогреватель (без поверхности теплообмена) догревает воду до 400°С, в качестве греющей среды используется свежий пар после парогенератора,

охлажденный до 400ºС. Такой подогреватель работая на блоке АС с ультрасверхкритическими параметрами лишен главного недостатка – выход из строя поверхности теплообмена.

При этом новое устройство может работать в более широком диапазоне параметров, обеспечивая подогрев воды до требуемых температур.

Выводы

Подогреватели высокого давления имеют обширную историю и прошли множество видоизменений. На данный момент самым перспективным является создание подогревателей смешивающего типа для регенерации пара высокого давления. Учитывая, что смешивающий тип уже применяется в ПНД, то есть большая база материалов и уже внедренные на АЭС решения, направленные на защиту от повышения уровня, перегревов, и видоизменив их под новые требования среды получится надежная, эффективная система регенерации пара.

Направлением перспективных исследований является возможность использования бездеаэраторных систем регенерации пара на новых энергоблоках

Список литературы

1. Умаров К.А. Технико-экономическое обоснование замены подогревателя высокого давления на энергоблоке атомной электростанции. Восемнадцатая всероссийская (десятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. 2023. Том 2, С. 65.
2. Бараненко В.И., Кравченко В.П., Туркин В.Е. [и др.] Ресурсная надежность теплообменной поверхности подогревателей высокого давления на АЭС и ТЭС. // Теплоэнергетика. 1995. – № 9. – С. 42-46.
3. Бродов Ю.М., Аронсон К.Э., Рябчиков А.Ю. [и др.] Современный уровень и тенденции в проектировании и эксплуатации подогревателей высокого и низкого давления паровых турбин ТЭС и АЭС в России и за рубежом. Часть 2. Особенности проектирования и эксплуатации подогревателей. // Теплоэнергетика. 2020. – № 11. – С. 17-27.
4. Капуста П.Э., Масленников Д.Л., Шитов К.А. [и др.] Патент на полезную модель № 105418 U1 Российская Федерация, МПК F28D 7/04. Теплообменная поверхность подогревателя высокого давления: № 2011107787/06: заявл. 28.02.2011: опубл. 10.06.2011
5. Сомова Е.В., Шварц А.Л., Туркин А.В. Экспериментальное обоснование конструкции смешивающего подогревателя высокого давления для перспективных энергоблоков. // Теплоэнергетика. - 2016. – № 11. – С. 68-73.
6. МУ 34-70-010-82 СО 34.30.738 Методические указания по испытаниям конденсационных установок паровых турбин / ПО «Союзтехэнерго». Москва, 1982 г.
7. Ефимочкин Г.И., Вербицкий В.Л., Беренштейн В.М. Авторское свидетельство № 1384799 А1 СССР, МПК F01K 7/40. Бездеаэраторная система регенерации паровой турбины: № 4000795: заявл. 02.01.1986: опубл. 30.03.1988

References

1. Umarov K.A. Feasibility study for replacing a high-pressure heater at a nuclear power plant power unit. Eighteenth All-Russian (tenth international) scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists. 2023. Volume 2, p. 65.
2. Baranenko V.I., Kravchenko V.P., Turkin V.E. [etc.] Resource reliability of the heat exchange surface of high-pressure heaters at nuclear power plants and thermal power plants. // Thermal power engineering. 1995. – No. 9. – P. 42-46.
3. Brodov Yu.M., Aronson K.E., Ryabchikov A.Yu. [etc.] Current level and trends in the design and operation of high and low pressure heaters for steam turbines at thermal power plants and nuclear power plants in Russia and abroad. Part 2. Features of the design and operation of heaters. // Heat and power engineering. 2020. – No. 11. – P. 17-27.
4. Kapusta P.E., Maslennikov D.L., Shitov K.A. [etc.] Utility model patent No. 105418 U1 Russian Federation, IPC F28D 7/04. Heat exchange surface of the high pressure heater: No. 2011107787/06: application. 02/28/2011: publ. 06/10/2011
5. Somova E.V., Shvarts A.L., Turkin A.V. Experimental substantiation of the design of a high-pressure mixing heater for promising power units. // Thermal power engineering. - 2016. – No. 11. – P. 68-73.
6. MU 34-70-010-82 SO 34.30.738 Guidelines for testing condensing units of steam turbines / PA Soyuztechenergo. Moscow, 1982
7. Efimochkin G.I., Verbitsky V.L., Berenshtein V.M. Copyright certificate No. 1384799 A1 USSR, IPC F01K 7/40. Deaerator-free steam turbine regeneration system: No. 4000795: application. 01/02/1986: publ. 03/30/1988

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (В ЭНЕРГЕТИКЕ)

УДК 659.118

Мир больших данных и конфиденциальной информации в гиперинформационную эпоху

А.О. Егорова[1], А.А. Тырышкин[2], Н.М. Беспалова[2], Л.А. Горбунова[2]
[1] ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, aokalita@sevsu.ru
[2] Краснодарское высшее военное орденов Жукова и Октябрьской Революции Краснознамённое училище имени генерала армии С.М. Штеменко Министерства обороны Российской Федерации (КВВУ). ул. Красина, 4, г. Краснодар, 450063,.Россия

Статья поступила 15.05.2024 г.; после доработки 16.05.2024 г.

Аннотация

В данной статье приводится краткий обзор объемов современного информационного поля сети Интернет через различные бизнес-структуры. Акцентируется внимание на информационных потоках и местах хранения данных, которые имеют множество характеристик и методов их исследования. Представлены прогнозы экспертов компаний Seagate и IDC по вопросу увеличения объемов современных дата-центров, а также возникающие при этом проблемы edge-технологий и cloud-технологий.

Ключевые слова: цифровые технологии, информация, корпорации, большие данные, искусственный интеллект.

The world of big data and confidential information in the hyperinformation era

A.O. Egorova[1], A.A. Tyryshkin[2], N.M. Bespalova[2], L.A. Gorbunova[2]
1 Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Sevastopol State University", Universitetskaya, 33, Sevastopol, 299053, Russia, aokalita@sevsu.ru
2 Krasnodar Higher Military Order of Zhukov and the October Revolution Red Banner School named after Army General S.M. Shtemenko of the Ministry of Defense of the Russian Federation (KVVU). st. Krasina, 4, Krasnodar, 450063, Russia

Received 15.05.2024 y.; received in final form 16.05.2024 y.

Abstract

This article provides a brief overview of the scope of the modern information field of the Internet through various business structures. Attention is focused on information flows and data storage locations, which have many characteristics and methods of their research. The forecasts of experts from Seagate and IDC companies on the issue of increasing the volume of modern data centers, as well as the problems of edge technologies and cloud technologies that arise in this case, are presented.

Keywords: digital technologies, information, corporations, big data, ar-tificial intelligence.

Введение

Современный мир сильно изменился за последние двадцать пять лет. Кардинально он начал меняться с усиленным внедрением в жизнь каждого человека относительно доступных технологий: высокоскоростная беспроводная связь, портативные устройства передачи, обработки и хранения информации различных форм-факторов. Так в 2000 году появился первый смартфон.

Очередной виток креативных решений задало появление в 2007 году первого Apple IPhone. А сегодня возникает необходимость в новом стандарте связи 5G, который позволит передавать больше информации в единицу времени. При этом никто из нас, в большинстве своем, не выступал против такого бурного развития мира гаджетов и информационного поля, создающих новые витки цифровизации для самих себя. Это воспринималось как естественный этап. И вот уже без высокотехнологичных вещей ни один из нас не мыслит провести свой будний день. Изменилось наше поведение, наши привычки, наши интересы. Взаимодействие с информацией зашкаливает. Поэтому мы живем в гиперинформационную эпоху [1], а так как численность населения нашей планеты в настоящее время составляет около 8,0 миллиардов человек и продолжает расти, мы должны хоть немного понимать и прогнозировать дальнейшие пути развития, в основе которых современные риски и тренды.

Ежемесячно мы обмениваемся почти 10 триллионами сообщений и писем. Ежедневная статистика социальной сети Facebook[1]: 500 терабайт данных, 2,5 миллиарда единиц контента, 2,7 миллиарда лайков, 300 миллионов фотографий.

Например, если коснуться других социальных интернет-ресурсов, то мы увидим следующую картину инфообмена (инфополя):

– 1 641 600 000 000 WhatsApp-сообщений в месяц;
– 8 078 400 000 000 электронных писем в месяц;
– 105 000 000 000 запросов Google в месяц [2-5].

Маленький масштаб

Так как многие из нас являются пользователями Android-смартфонов мы почти невольно создаем Google-аккаунты, чтобы раскрыть весь потенциал своих гаджетов, и соответственно получаем индивидуальные облачные хранилища (по умолчанию по 15 гигабайт) и автоматическую синхронизацию памяти нашего устройства с ним, используемого программного обеспечения с другими облачными сервисами, серверами разработчиков.

Так формируются данные о каждом «маленьком» человеке по законам, которые планомерно вводились под руководством транснациональных корпораций, IT-компаний и других участников цифровой социальной инженерии.

Еще один пример из жизни. Допуск во многие учебные заведения осуществляются по электронным пропускам, созданным на базе электронных банковских карт. Можно только представить, как будут использоваться персональные данные студентов, работников университета, сформированные за счет банковского «сервиса» (фактографические данные, транзакции и т.п.). Информация будет взята в оборот аналитиками банка, аналитическими системами банка и добавятся в копилку Big Data с присвоением метки «бизнес-данные».

Поэтому многие банки активно развивают деятельность своих лабораторий, среди которых: лаборатории искусственного интеллекта, робототехники, виртуальной реальности (англ. Virtual reality, VR), дополненной реальности (англ. Augmented reality, AR) и другие [6].

Описывая очень поверхностно происходящее, стоит уделить внимание большим аналитическим работам, которые являются основой стратегического планирования бизнеса для серьезных участников инфополя. Среди них можно выделить труд аналитиков компании Seagate «Rethink Data. Put More of Your Business Data to Work From Edge to Cloud» [7].

В Seagate было отмечено, что беспрецедентный рост и распространение данных в наши дни приводят к их сложному перемещению во все более разнообразной информационной экосистеме, которая включает в себя мультиоблачные (англ. multicloud) и периферийные (англ. edge) технологии.

Сложные формы расположения и представления данных усложняют задачи владельцев бизнеса по управлению ими. Большинство доступных данных для бизнеса остаются неиспользованными. Исследования [7] были направлены на решение сегодняшних дилемм управления данными DataOps2. При этом акцент сделан на то, что владельцы бизнес-структур (корпораций), которые внедряют технологии DataOps, могут рассчитывать на лучшие бизнес-результаты.

Для этого были выделены ключевые аспекты:

[1] Социальная сеть, запрещенная на территории Российской Федерации, принадлежащая корпорации Meta, которая признана экстремистской и запрещена в России

[2] Data Operations – направление в IT, объединяющее создателей данных с потребителями данных.

1) в течение следующих нескольких лет объемы бизнес-данных, по прогнозам, увеличатся на 42,2 % в годовом исчислении;
2) только 32 % собранных данных используются компаниями в работе, а 68 % – остаются не у дел;
3) в настоящее время около 36 % edge-данных периодически берут в базовую обработку. Всего за два года это число вырастет до 57 %. Объем данных, которые будут немедленно передаваться из edge-хранилищ для обработки, удвоится с 8 % до 16 %. Это означает, что компаниям придется управлять гораздо большим потоком информации;
4) управление данными в мультиоблачных экосистемах станет главной задачей в течение следующих нескольких лет, при этом вопросы управления данными в гибридном облаке уйдут на второй план;
5) эффективное использование данных в свою очередь порождает ряд сложностей, которые необходимо решать:
– использование собранных данных;
– управление хранением собранных данных;
– обеспечение сбора необходимых данных;
– обеспечение безопасности собранных данных;
– предоставление доступа к различным хранилищам собранных данных;
6) наряду с другими решениями для управления данными необходимо внедрять системы Data Ops, искусственного интеллекта, что позволит значительно улучшить бизнес-результаты: повысить лояльность клиентов, доходы, прибыль и др.
7) обеспечение безопасности и конфиденциальности данных – факторы, которые сильно беспокоят участников инфополя. Две трети респондентов опроса сообщают о недостаточной эффективности систем защиты информации, что в свою очередь нарушает становление алгоритмов централизованного хранения.

Большой масштаб

2020 год создал тенденцию к удаленной работе. Все больше и больше людей работают из дома. Такие технологии, как Интернет вещей (англ. Internet of Things, IoT), развитие периферийных вычислений (англ. Edge Computing), периферийных центров обработки данных (англ. Edge Data Centers) и искусственного интеллекта (англ. Artificial Intelligence, AI), получают широкое распространение.

Все эти факторы приводят к увеличению объема корпоративных данных.

Чтобы разумно управлять постоянно увеличивающимся объемом информации, владельцам бизнеса необходимо понимать, как и где данные увеличиваются в объеме. Две концепции помогают проиллюстрировать эту тенденцию: рост и разрастание.

Рост объема данных (англ. Data Groth) оценивается в процентном соотношении, на который сфера данных увеличивается с течением времени. Сфера данных в научных кругах чаще рассматривается как постоянно расширяющееся измерение «живых» данных человечества, которое отражает и бесконечно расширяет жизнь. А разрастание данных (англ. Data Sprawl) описывает движение этих растущих данных в различных конфигурациях – технологических решениях (от edge-структур до cloud-систем).

Рост объема данных был и будет оставаться беспрецедентным по объему. Проведенный опрос показывает, что всего за два года, с начала 2020 года по конец 2022 года, предприятия увидят ежегодный прирост объема генерируемых данных на 42,2 % (рисунок 1). Чтобы спрогнозировать рост объема корпоративных данных, IDC использует емкость корпоративного хранилища в качестве прокси-сервера.

Данные опроса показывают, что три фактора являются наиболее важными катализаторами роста объема хранимых данных:
1. Расширение использования аналитики.
2. Распространение устройств Интернета вещей.
3. Инициативы по переходу к облачным технологиям хранения.

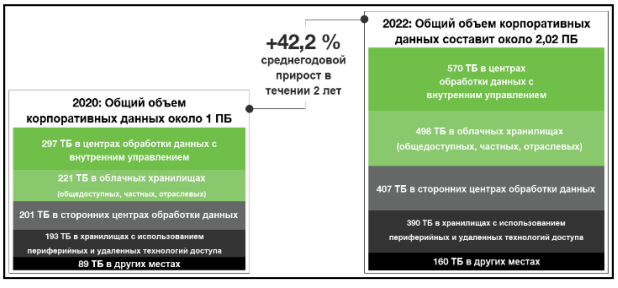


Рис. 1 Ожидаемые годовые темпы роста данных в мире

Разрастание данных отражает то, как распределены бизнес-данные. Корпоративные данные не хранятся в одном месте, что усложняет

управление данными. Респонденты опроса указывают, что примерно 30 % хранимых данных находятся во внутренних центрах обработки данных, 20 % – в сторонних центрах обработки данных, 19 % – в периферийных центрах обработки данных или удаленных местах, 22 % – в облачных хранилищах и 9 % – в других местах (рисунок 2).

Это распределение в ближайшее время существенно не изменится, что указывает на то, что корпоративные среды хранения данных в обозримом будущем останутся разрозненными и сложными.

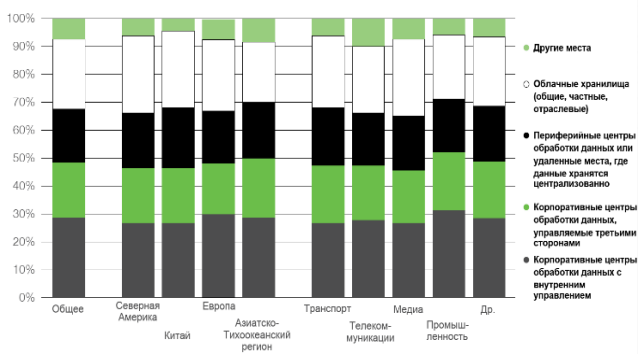


Рис. 2 Где будут храниться данные

Участники инфополя будут испытывать все возрастающую потребность в управлении этими разрозненными данными, где бы они ни существовали.

Вот что в рамках исследований сказал генеральный директор компании Seagate Дейв Мосли:

«Инновации обусловлены не трендами, а необходимостью создавать больше ценности в условиях ограничений – а ограничения существуют повсюду. Доступ к полной ценности данных является одним из них.

Заключение

Объем данных растет, и темпы роста ускоряются. Сумма данных, сгенерированных к 2025 году, должна увеличиться экспоненциально до 175 зеттабайт. Сейчас в час создается больше данных, чем за целый год всего два десятилетия назад. Данные – это человеческий потенциал. Самые острые умы пытаются использовать мощь данных.

Ограничения на использование всего потенциала данных носят как системный, так и оперативный характер. В масштабе зеттабайтов должен быть создан простой, безопасный и экономичный способ захвата, хранения и активации данных. Обычные люди, которые используют данные, не хотят вникать в эту «технологическую кухню» и беспокоиться об этом. Как мы можем решить эту головоломку управления данными в масштабе и внедрить другие инновации, которые изменят наш образ жизни, работу, поездки на работу и заботу о нашей планете?

Если мы рассмотрим возможности, преодолевая эти ограничения, и обеспечим максимальную отдачу, то имеет ли значение, использовала ли инновация последний тренд или нет? Тенденции могут захватить наши умы, но если первоначальное волнение не превратится в ценность для компаний и для человечества, инновации не закрепятся. Когда мы решаем масштабные проблемы, нам нужно объединить несколько миров и обеспечить их синергию».

Получается, что и в информационных технологиях бывают проблемы, сложности и своеобразные кризисы, которые не обошли стороной и сферу хранения электронных данных.

Темы, затрагиваемые компанией Seagate в исследовании [7] и другими участниками «рынка» Big Data [8], наполнены нотами сухой статистики, которая заставляет почувствовать себя «нулем» или «единицей» в игре корпораций. Мы должны понимать, что многое в этом современном цифровом мире подчинено прибыли.

Получается, что чем лучше мы научимся работать с информацией, тем больше ошибок мы избежим в будущем. В этом нам должны помочь новые технологии поиска, анализа и хранения только нужной информации, основу которых активно создает искусственный интеллект.

Список литературы

1. Трансформация человека в цифровую эпоху. Доклад Курпатова А. В. в Совете Федерации. Февраль 2020 года [Электронный ресурс]. – Режим до-ступа: https://youtu.be/X3a_7xR_gyk
2. О компании IDC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://idcrussia.com/ru/about-idc/company-overview
3. Статья «Зеттабайт данных» от 17.08.2018. Автор Д. Кусайкин Ин-формационно-аналитический портал Nag.Ru. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nag.ru/material/32783
4. ГОСТ 8.417-2002. Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин
5. Журнал Nature. Выпуск посвященный Big Data. Volume 455 Issue 7209, 4 September 2008 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.nature.com/nature/volumes/455/issues/7209

6. Пресс-релиз «Сбербанк принял решение о создании Лаборатории нейронаук и поведения человека» от 12.02.2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sberbank.ru/ru/press_center/all/article?newsID=a1ad1d1d-d0e2-41d6-b0e6-d6ee4b727919&blockID=1303&regionID=77&lang=ru&type=NEWS
7. A SEAGATE TECHNOLOGY REPORT. RETHINK DATA: Put More of Your Business Data to Work – From Edge to Cloud [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/rethink-data/files/Rethink_Data_Report_2020.pdf
8. Статья «Это рекорд: Apple «арендует» у Google около 8 эксабайт облачного хранилища» от 30.06.2021. Информационно-аналитический сайт iXBT.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ixbt.com/news/2021/06/30/apple-google-8.html

References

1. Human transformation in the digital era. Report of Kurpatov A.V. in the Federation Council. February 2020 [Electronic resource]. – Access mode: https://youtu.be/X3a_7xR_gyk
2. About the IDC company [Electronic resource]. – Access mode: http://idcrussia.com/ru/about-idc/company-overview
3. Article “Zettabyte of data” dated 08/17/2018. Author D. Kusaykin Information and analytical portal Nag.Ru. [Electronic resource]. – Access mode: https://nag.ru/material/32783
4. GOST 8.417-2002. Interstate standard. State system for ensuring the uniformity of measurements. Units of quantities
5. Nature magazine. Issue dedicated to Big Data. Volume 455 Issue 7209, 4 September 2008 [Electronic resource]. – Access mode: https://www.nature.com/nature/volumes/455/issues/7209
6. Press release “Sberbank decided to create a Laboratory of Neuroscience and Human Behavior” dated February 12, 2019 [Electronic resource]. – Access mode: https://www.sberbank.ru/ru/press_center/all/article?newsID=a1ad1d1d-d0e2-41d6-b0e6-d6ee4b727919&blockID=1303&regionID=77&lang=ru&type=NEWS
7. A SEAGATE TECHNOLOGY REPORT. RETHINK DATA: Put More of Your Business Data to Work – From Edge to Cloud [Electronic resource]. – Access mode: https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/rethink-data/files/Rethink_Data_Report_2020.pdf
8. Article “This is a record: Apple “rents” about 8 exabytes of cloud storage from Google” dated 06/30/2021. Information and analytical site iXBT.com [Electronic resource]. – Access mode: https://www.ixbt.com/news/2021/06/30/apple-google-8.html

УДК 659.118

Организация работы Управления МВД по г. Севастополю в системе противодействия киберпреступлениям

В.В. Пелись[1], А.И. Ищенко[1]
[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33,г. Севастополь, 299053, Россия, artem425438@mail.ru

Статья поступила 15.05.2024 г.; после доработки 16.05.2024 г.

Аннотация

Данная статья посещена организационной работе в системе противодействия киберпреступлениями на примере работы Управления министерства внутренних дел по г. Севастополю. Предоставлена концепция разработки и внедрения новых технологий в уже имеющуюся структуру информационной безопасности и разобрана информация, как и какими способами взаимодействуют с информацией киберпреступников.

*Ключевые слова:*Министерство внутренних дел, МВД, киберпреступлений, защищенная информационная система, информационная безопасность, информационные ресурсы.

Organization of the work of the Department of the Ministry of Internal Affairs of Sevastopol in the cybercrime counteraction system

V.V. Pelis[1] , A.I. Ishchenko[1]
[1,2]Sevastopol State University, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia, artem425438@mail.ru

Received 15.05.2024 y.; received in final form 16.05.2024 y

Abstract

This article is devoted to the organizational work in the cybercrime counteraction system using the example of the work of the Department of the Ministry of Internal Affairs in Sevastopol. The concept of developing and implementing new technologies into the existing information security structure is provided and information is analyzed on how and in what ways cybercriminals interact with information.

Keywords: Ministry of Internal Affairs, MIA, cybercrimes, secure information system, information security, information resources.

Введение

В нынешнее время наиболее серьезным становится вопрос о безопасности и простом поиске информации в пространстве информационных ресурсов. С каждым годом происходит усовершенствование технологий, внедрение все более мощных информационных систем, средств передачи связи. Все эти аспекты технологий на данный момент приобретают не только социальную, но и стратегическую значимость. [1, 2] Данные вопросы исследовались в различных научных работах, которые помогут выявить правильные направления в создании концепции защищенной информационной системы. [3, 4]

Постановка задачи

В данной аналитической работе во главе становится именно стратегическая значимость всех инновационных средств, которая требуется не только для безопасности мелких организаций и даже регионов, здесь идет речь об обеспечении суверенитета, обороноспособности (в рамках УМВД), безопасности субъектов и экономического развития страны в целом. [5, 6]

Для обработки и синхронизации всей массы информационных систем требуется разработать

специальную концепцию, которая в дальнейшем должна помочь в обеспечении информационной безопасности в структуре УМВД на территории рассматриваемого субъекта.

Анализ нынешней ситуации в системе Управления МВД на территории рассматриваемого субъекта

На данный момент в Российской Федерации существует стратегия развития информационного общества, которая расписана до 2030 года включительно. В ней рассматриваются поставленные задачи по обеспечению информационной безопасности и дальнейшее развитие специальных систем, направленных на улучшения защиты информации и ценных данных, которые должны быть максимально защищены, так как за этой информацией стоит целостная безопасность систем. В дальнейшем данная стратегия должна разрабатывать процессы, ускорять их, придавать специальный системный характер для данных на уровне государственной безопасности.

Нынешний темп развития технологий и самой информационной отрасли в целом, в котором на данный момент заинтересовано каждое государство. Так как без защиты информационных систем происходит брешь в безопасности государства, которая плохо сказывается на всех аспектах целостности и жизни в нем. Россия так же заинтересованно в улучшении защиты систем от преступных посягательств со стороны неприятелей. На Федеральном уровне данную безопасность обеспечивает Министерство цифрового развития РФ, которое было создано не так давно, в 2018 году. Все эти процессы происходят сообща, и каждая система постоянно обновляется все более новыми данными и совершенствуется с каждым днём, те же информационные технологии в своем развитии ведут к появлениям сложных социальных явлений в государстве, которые требуют постоянного контроля от специальных органов. И как можно уже понимать по настоящему времени, то темпы развития информационных технологий опережают все системы, включая правоохранительную, и адаптация к данных технологическим прорывам в сфере информатизации становится трудно выполнимой задачей для нынешних систем и отношений. Особое место среди новых угроз, которые требуют непосредственного вмешательства со стороны правоохранительной системы, занимают преступления, которые совершаются с помощью новых технологий. [7, 8] То есть с помощью компьютеров, смартфонов и иных средств коммуникаций, которые имеют доступ в сеть Интернет и иные особенности получения информации посредством использования информационно-телекоммуникационных средств.

На данный период преступные организации и сами преступники активно используют все возможные технологии, которые могут реализовывать их преступные намерения. Они не только стараются создавать новые методы обхода существующих систем безопасности, но и стараются проинвестировать развитие и адаптацию специальных средств для взлома и обходы действующих систем безопасности и защиты информационных систем в разных сферах государственной безопасности и информации.

На данный момент в городе федерального значения Севастополе в Управлении МВД России существует отделение по борьбе с противоправным доступом к информационно- коммуникационным технологиям. Данный отдел является самостоятельным структурным подразделением, который обеспечивает и осуществляет регулирование в области противодействия преступлениям, которые совершатся в сфере информационно-коммуникационных технологий и иных информационных ресурсов, которые способны влиять на структуру систематизации информации в целом. Данное подразделение занимается не только противодействие преступникам, но и информированием для граждан, проведение специальных мероприятий и изучение поведений преступников в сфере информационных систем, которые промышляют свои противоправные действия на просторах Интернет сетей, таких как: мессенджеры, интернет-сайты для обращения граждан, фишинговые сайты и т.д. Касаясь данной тематики действий в информационной безопасности, следует понимать, что самая главная задача идет от искусственного характера, которые зависят напрямую от человека. И как все угрозы, да и в обычной жизни, их можно разделить на преднамеренные и непреднамеренные. Конечно, киберпреступления имеют только преднамеренный характер, так как используют информацию, специально направленную на подрыв систем безопасности и их обход для преступного получения информации. К таким видам угроз относятся всякого рода создание контента на просторах сети интернет, которые используют в своей системе контент опасного содержания. Это «фишинговый» сайт, который используют личную информацию о вас, крадут ее, и используют в дальнейших преступлениях. К этому

относится мошенничество и вымогательство, посредством которых крадут денежные средства. На данный момент среди общественности – это самый распространенный вид мошенничества, при котором с жертвы преступления списываются денежные средства, либо на его имя открывается «левый счет» на который жертва берет кредит и переводит деньги мошенникам.

Но все эти преступления нацелены на обычных граждан, которые в принципе могут не иметь особых навыков для предотвращения мошеннических деяний. Именно поэтому органы внутренних дел всячески стараются обезопасить граждан через специальные мероприятия, направленные на поддержания общественного понимания о мошеннических схемах. Если говорить о более изощрённых способах воздействия на систему, то можно выделать киберперступников. Данные индивиды специально создают особые программы и программное обеспечение, которое нацелено на кражу данных из особо охраняемых серверов данных. Так называемый - «кибертерроризм», является ответвлением в системе киберпреступлений, способен ощутимо навредить общественной безопасности. На данный момент времени Российская Федерация проводит специальную военную операцию, которая нацелена на защиту интересов страны. В данной ситуации используются новейшие методы борьбы, и мы говорим не только о техническом вооружении, но и об информационном. Информационная война ведется постоянно, все вражеские ресурсы постоянно нацелены на целостность информационной безопасности нашей страны.

И так как наша тема относится в г. Севастополю, который является самостоятельным субъектом, мы более подробно рассмотрим, какие задачи стоят перед Управлением МВД в системе информационной безопасности, и как они взаимодействуют с этими посягательствами, через какие инструменты бороться с ними, и какие есть недостатки этой системы.

Чтобы сформировать более четкое представление о том, какие угрозы стоят перед органами внутренних дел в г. Севастополе, следует для начала понимать, что есть киберпреступность. Для неё характерен ряд черт, который следует обязательно принимать во внимание, когда производится анализ.

Следует обязательно учитывать специфику угроз, которые возникают в киберпространтстве. Как раз-таки эта специфика связанна и с действующими приложениями в стране, так как если происходит информационная война, то преступники готовы на все, чтобы дестабилизировать информационную структуру страны, а в особенности и каждого субъекта по отдельности, для понимания работы защиты информационных ресурсов. То есть если простыми словами, нападения на субъект может показать какие погрешности существуют в системе безопасности и в дальнейшем разработать план по внедрению специальных программ, которые могут распространять вирус и находится в невидимой зоне для тех же антивирусных программ либо для человеческого глаза, который может просматривать код программы. Так что с учетом всех данных можно выделить некоторые особенности угроз, которые характерны для киберпреступников.

Во-первых, это сложность в установлении личности и локализации преступника. Так как если мы говорим об удаленном доступе и подключении через специальные программы невидимки, то сложно представить, как найти этого преступника. Такие преступления часто проходят даже не в регионе, на который нацелена атака. Это может быть не только другой город и регион, а даже страна. То есть даже если узнать откуда этот сигнал, то он может привести к точке доступа, которая так же использовалась удаленно и только больше запутывает следствие. Поэтому с помощью современных технологий, которые обеспечивают анонимность, и происходят данные преступные посягательства.

Во-вторых, это черта непредсказуемости. Атака может произойти в любой момент времени, и продолжаться может днями и часами даже без ведома служб, так как было описано выше про несанкционированный вход в систему.

В-третьих, это фрагментация руководства и разнородность вовлеченных лиц в саму структуру кибератак. Даная структура взаимодействия помогает разрастаться преступным организациям связанных с кибератаками по всему миру и дифференцированно управляться посредством технологических ресурсов.

Концепция защищенной информационной системы для борьбы с киберпреступлениями

Все эти обстоятельства показывают насколько мощной системой может быть эта угроза. Поэтому требуется понимать, что все традиционные методы с использованием устаревших технологий не могут обеспечить достаточный уровень безопасности информации.

В данном случае, как уже говорилось ранее, нужно представлять насколько быстро развивается данная сфера, ведь все будущее идет к полной цифровизации. То есть в дальнейшем требуется отойти от всех старых ресурсов и хранить информацию в огромных дата центрах и хранилища информации, которые в свою очередь должны быть защищены наперед. То есть развиваться намного быстрее, чем угрозы. Предотвращать их появление и представлять, какие же негативные последствия могут быть в дальнейшем для системы.

В нынешних условиях в различных регионах России используются тестовые методы для защиты информации, в данной структуре они признаны на защиту, а не нападение. В Краснодарском УМВД разработана концепция защищенной информационной среды, которая в дальнейшем должна самообучаться. Речь идет о программе, в которую будут заноситься специальные теги для обработки существующих программ взломщиков и в дальнейшем для обнаружения этих программ будет оповещение и сотрудник ответственный за ту или иную структуру безопасности будет уведомлен о надвигающейся опасности посредством вычитаний множества алгоритмов самой системы, которая стоит на защите данных. Но все эти нововведения могут помочь, только если сами сотрудники достаточно компетентны и постоянно самообучаются. В ином случае как же они смогут обращаться правильно с предоставленной им программой. Здесь и кроется самый интересный момент всей деятельности. Это человеческий фактор, который в своем понимании является ключевой угрозой в дальнейшем развитии всей системы защиты. Ведь даже взломщики вкладываются в обеспечении более мощной атакующей силы, которая подразумевает собой специально наученную программу, которая может самообучаться, без поддержки человека в дальнейшем, то есть главная угроза еще впереди.

Заключение

То есть в дальнейшем вся эта мощь кибератак может обрушится на субъекты, так как противник только и хочет, чтобы дестабилизировать нашу систему и обеспечить пропажу информации и «слив» её в открытые источники либо заполучив данные использовать в шантаже против государства. Современная тенденция показывает, что враги нацелены на близлежащий субъекты, которые находятся рядом с действиями специальной военной операции. Так еще и один из важных субъектов для них является город Севастополь. Поэтому на плечи Управления МВД возлагается огромная ответственность не только в поддержании общественного порядка, но и новой угрозе со стороны враждебных нам государств. С учетом всего сказанного можно выявить некоторое недостатки в системе УМВД, такие как устаревающие, с учётом времени, программы по защите информации. Как уже было сказано ранее, требуется создать достаточно мощный потенциал для дальнейшего обеспечения информационной безопасности и недопущения атак от киберпреступников.

На момент написания данной статьи сама структура безопасности в полной защищенности, так как информационные системы поддерживаются в надлежащем виде, но в дальнейшем системы атаки начнут создаваться искусственно, то есть через искусственный интеллект самой программы атаки. В данный период времени происходят многочисленные вычислительные действия, которые направленны на создание такой программы, которая в дальнейшем сама сможет просчитывать и определять уязвимые места в самой структуре безопасности. Поэтому предложение по внедрение специализированной программы является очень важным аспектом в информационной безопасности. Для внедрения следует создать с нуля программу, которая будет нацелена только на защиту данных от кибератак, то есть с помощью данной концепции и внедрение ее в систему можно будет создать серьезную защиту для информации, которая содержит государственную тайну или индивидуальную информацию о граждан страны. Поэтому все технологии ведут нас к разработке и внедрению программного обеспечения, которое позволит минимизировать человеческий фактор в действиях против преступных посягательств на защищенную информационную систему в целом. Дальнейшая разработка сможет помочь не только органов внутренних дел, но и в обеспечении безопасности на всей территории нашего государства. Внедрение его в оборонный комплекс, например, так же будет защищать эту систему, хотя стоит начать только с небольших структур и в дальнейшем развивать эту систему в противодействие угрозам, которые связаны с киберпреступлениями.

Список литературы

1. Ожиганова М.И. Архитектура безопасности киберфизической системы// Защита информации. Инсайд. 2022. № 2 (104). С. 5-9.
2. Люльченко А.Н., Швед В.Г., Ожиганова М.И.,

Костюков А.Д. Метод количественной оценки ущерба от воздействия угроз безопасности информации// Защита информации. Инсайд. 2021. № 5 (101). С. 11-15.
3. Ожиганова М.И., Шейко А.О., Исакова Е.М., Миронова А.О. Методы и средства проведения анализа угроз локальной вычислительной сети предприятия// цифровая трансформация науки и образования. Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции
4. Полтавцева М.А., Ожиганова М.И., Егорова А.О., Костюков А.Д., Миронова А.О. Модели форензики и расследование инцидентов в субд //Защита информации. Инсайд. 2021. № 3 (99). С. 18-23.
5. Пилькевич П.В., Голиков С.Е., Луцышен В.А., Ожиганова М.И. Исследование аномалий сетевой активности на основании эвристического анализа трафика //Modern Science. 2021. № 6-1. С. 578-584
6. Ожиганова М.И., Куртаметов Э.С. Применение машинного обучения в защите веб-приложений //НБИ технологии. 2020. Т. 14. № 2. С. 16-20.
7. Калита А.О., Ожиганова М.И., Тищенко Е.Н. Основы организации адаптивных систем защиты информации // НБИ технологии. 2019. Т. 13. № 1. С. 11-15.
8. Ожиганова М.И., Калита А.О., Тищенко Е.Н. Построение адаптивных систем защиты информации //НБИ технологии. 2019. Т. 13. № 4. С. 12-21.

References

1. Ozhiganova M.I. Security architecture of a cyber-physical system // Information protection. Insider, 2022. – pp. 5-9. [electronic resource]. – Access to art.: https://elibrary.ru (date of issue 12.05.2024).
2. Lyulchenko A.N., Shved V.G., Ozhiganova M.I., Kostyukov A.D. Method of quantitative assessment of damage from the impact of threats to information security // Information protection. Insider - 2021. [Electronic resource]. – Access mode to the article: https://elibrary.ru (accessed 12.05.2024).
3. Ozhiganova M.I., Sheiko A.O., Isakova E.M., Mironova A.O. Methods and means of analyzing threats to the local computer network of an enterprise // digital transformation of science and education. Collection of scientific papers of the II International Scientific and Practical Conference
4. Poltavtseva M.A., Ozhiganova M.I., Egorova A.O., Kostyukov A.D., Mironova A.O. Forensic models and investigation of incidents in subdatabase // Information protection. Insider 2021. No. 3 (99). pp. 18-23.
5. Pilkevich P.V., Golikov S.E., Lutsyshen V.A., Ozhiganova M.I. Study of network activity anomalies based on heuristic traffic analysis //Modern Science. 2021. No. 6-1. pp. 578-584
6. Ozhiganova M.I., Kurtametov E.S. Application of machine learning in protecting web applications // NBI technologies. 2020. T. 14. No. 2. P. 16-20.
7. Kalita A.O., Ozhiganova M.I., Tishchenko E.N. Fundamentals of organizing adaptive information security systems // NBI technologies. 2019. T. 13. No. 1. P. 11-15.
8. Ozhiganova M.I., Kalita A.O., Tishchenko E.N. Construction of adaptive information security systems // NBI technologies. 2019. T. 13. No. 4. P. 12-21.

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

УДК 678

Оценка материального баланса термического преобразования отработанных шин и использования получаемых продуктов

Губина Е.Д.[1,2], Ларионов К.Б.[2,3]

[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, 299053, Россия, e-mail: edgubina@mail.sevsu.ru,

[2]ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, 634050, Россия, e-mail: edk6@tpu.ru;

[3]ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева», Кемерово, 650000, Россия, e-mail: larionovkb@kuzstu.ru

Статья поступила 13.05.2024 г.; после доработки 14.05.2024 г.

Аннотация

В статье представлен анализ существующих подходов утилизации отработанных автомобильных шин. Рассмотрены перспективы использования технологии пиролиза для обеспечения замкнутого технологического цикла производства, использования и переработки шин. Произведена оценка материального и энергетического балансов на основе полученных экспериментальных данных термической конверсии отработанных шин.

Ключевые слова: отработанные шины, отходы, пиролиз, термическая конверсия, утилизация, углеродный остаток, жидкие углеводороды, некоденсируемые газофазные соединения

Assessment of the material balance of the thermal transformation of waste tires and the use of the resulting products

Gubina E.D.[1,2], Larionov K.B.[2,3]

[1]Sevastopol State University, Sevastopol, 299053, Russia, e-mail: edgubina@mail.sevsu.ru,

[2]National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 634050, Russia, e-mail:edk6@tpu.ru;

[3]T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russia, e-mail: larionovkb@kuzstu.ru

Received 13.05.2024 y.; received in final form 14.05.2024 y.

Abstract

The article presents an analysis of existing approaches to recycling waste tires. The prospects for using pyrolysis technology to ensure a closed technological cycle for the production, use and recycling of tires are considered. The material and energy balances were assessed based on the obtained experimental data on the thermal conversion of waste tires.

Keywords: waste tires, waste, pyrolysis, thermal conversion, recycling, carbon residue, liquid hydrocarbons, non-condensable gas-phase compounds.

Введение

В настоящее время сложно представить жизнь человека без различных видов транспорта, будь то личный автомобиль или же общественный транспорт. Эти средства передвижения упрощают повседневную жизнь и заметно экономят время. Грузовой транспорт позволяет оптимизировать логистику доставки необходимой и стра-

тегически важной продукции в отдаленные регионы. Но несмотря на вышеперечисленные достоинства автотранспорта, не стоит забывать о негативном влиянии эксплуатационных факторов.

Рост промышленных мощностей в различных сферах производства ведет к росту отходов, образованных на различных стадиях производства, а также при эксплуатации готового продукта. Мировое сообщество ставит перед собой множество актуальных задач по утилизации и переработке отходов различной степени вредного воздействия.

Одним из основных видов отходов эксплуатации автомобилей – отработанные шины. Их невозможно использовать повторно. Складирование и сжигание любых резинотехнических отходах на свалках приводит к пагубному воздействию на окружающую среду, а также и негативно отражается на здоровье человека [1]. Остальные методы переработки, представляющие из себя более экологически выгодное решение, на данный момент не имеют экономического обоснования, которое позволило бы внедрить их для переработки и вторичного использования отходов резинотехнических изделий и замыкания производственного цикла по производству этой продукции.

Наибольший интерес вызывает утилизация отработанных шин путем термической конверсии, используя технологию пиролиза. Данный процесс представляет из себя разложение материала при высоких температурах без доступа кислорода, либо же в обедненной кислородом среде.

Существующие методы переработки отработанных шин

Структурная схема наиболее распространённых технологических направлений переработки и/или утилизации отработанных шин представлена на рисунке 1.

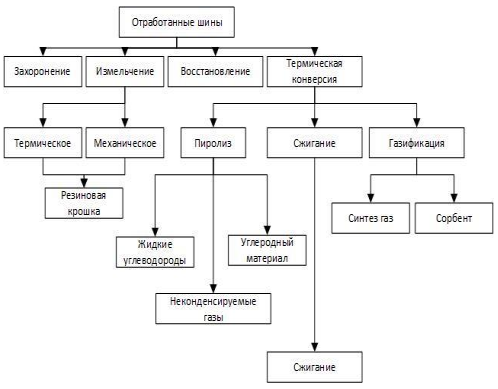


Рис. 1. Структурная схема технологических направлений переработки и/или утилизации отработанных шин

На сегодняшний день, наиболее распространенными путями переработки отработанных шин являются измельчение и термическая конверсия, при которых получают различные источники энергии или полезные продукты. [2].

Измельчение отработанных шин

Измельчение резинотехнических изделий с помощью механических методов считается самым экологически безопасным способом переработки. В процессе переработки, шины фракционируются на различные размеры, что расширяет возможности их использования в различных сферах [3,4].

Предприятий, использующих данную технологию для переработки отработанные шины большое количество по всему миру. Но тем не менее, общий объем переработки таких объектов не превышает 20 % от их годового накопления. Это обусловлено ограниченным спросом на резиновую крошку по сравнению с производством шин и резинотехнических изделий. Технология заключается в разрезании шин на куски с помощью специального оборудования, удалении металлокорда от резины с помощью валковых или молотковых дробилок, сепарации корда и последующее мелкое дробление резины. Для тонкого измельчения полученных фрагментов используются шредеры, ножевые дробилки, фрезерные дробилки и мельницы для тонкого помола.

Полученные продукты измельчения имеют широкое применение в сфере строительства, будь то покрытия для спортивных площадок, либо же добавление в материалы для обретения им определенных технических свойств. Тем не менее, данный способ проблематично назвать экономически выгодным, так как издержки на оборудование и оборотные средства для поддержания рабочих параметров процесса достаточно велики.

Технология пиролиза отработанных шин

Пиролиз – один из возможных и самых экологически перспективных способов термической переработки отходов промышленных предприятий. Сам процесс представляет из себя высокотемпературное разложение материалов в

окружающей среде в бескислородной или обедненной кислородом среде.

Данный метод позволяет получать из исходного образца полезные энергетические материалы, такие как углеродные материалы, жидкие углеводороды и газообразные соединения.

Предварительно, образец подвергается механическому измельчению, после чего предварительно подогревается. Далее, в реакторе, при температурах порядка 400 - 600 °C происходит деструкция материала на различные фазовые состояния.

Благодаря данной технологии, помимо достижения экологической выгоды, можно добиться и экономической выгоды. Полученные продукты имеют большую ценность для промышленности, в частности для энергетического сектора.

Замкнутый цикл переработки отработанных шин

Самым распространенным на данный момент вариант жизненного цикла отработанных шин является открытым. Он заключается в целевом использовании шин после их производства и захоронение их на свалках после окончания срока эксплуатации. Данная схема представлена на рисунке 2.

Рис. 2. Открытый жизненный цикл автомобильной шины

Данный вариант является экономически выгодным, так как не требует дополнительного вложения средства на дальнейшую переработку или захоронение. Тем не менее, стоит учитывать и экологически вредное влияние таких свалок на окружающую среду, а также неэффективное использование больших территорий, которые можно потенциально использовать под строительство важной для экономики страны инфраструктуры.

Для решение вышеупомянутой проблематики, возможно внедрение замкнутого жизненного цикла, одна из вариаций которого показана на рисунке 3. Данная схема, после выхода шин из эксплуатации, предусматривает дальнейшую переработку методом пиролиза. Как было упомянуто ранее, основной особенностью данного процесса являются ценные продукты.

Данные продукты могут играть роль вторичного сырья в различных производственных процессах [5]. В ходе термического разложения в бескислородной среде в качестве продуктов получаются следующие составляющие: технический углерод, жидкие углеводороды, неконденсирующиеся газы и металл.

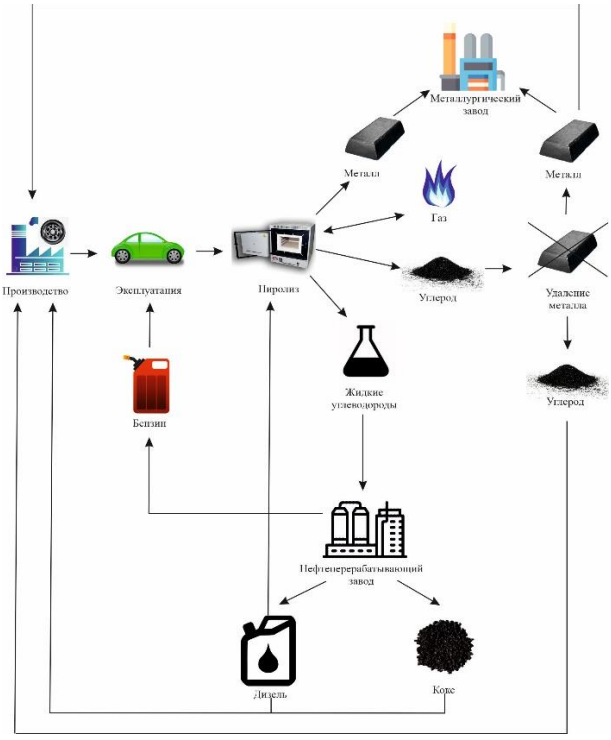


Рис. 3. Замкнутый жизненный цикл автомобильной шины

Жидкие продукты пиролиза, после отчистки от влаги, осадков и примесей превращается в синтетическую нефть, которая по своим химическим свойствам схожа с естественной нефтью. Такая нефть применяется как на энергетических объектах в качестве топлива (ТЭЦ, котельные и др.), а очищенная применяется как заменитель бензина, керосина, масла и других горюче-смазочных материалов.

Газофазные продукты пиролиза представляют из себя летучее соединение, химически похожее на природный газ. Благодаря бескислородной среде, в которой протекает процесс пиролиза, данное соединение является экологически чистым и не содержит диоксинов.

Твердый углеродный остаток представляет из себя полукокс – материал, быстро воспламеняющийся и содержащий в своем составе боль-

шое количество углерода. Использование углеродного остатка имеет широкий спектр использования:

1. Высококалорийное твердое топливо используется в промышленности, на ТЭЦ и котельных;
2. Черный краситель применяется на предприятиях лакокрасочной и цементной промышленности;
3. Полукокс используется как дополнительный компонент при производстве резиновых изделий и деталей (таких как транспортные ленты, утеплители, новые шины);
4. Сорбент используется на производстве как альтернатива обычному углю.

Помимо вышеупомянутых продуктов, также в процессе пиролиза изымаются металлические включения, которые представляют в конструкции шины металлический корд. Благодаря использованию высокопрочной стали, металлический корд не подвержен изменениям при пиролитической обработке и сохраняет свою первоначальную форму.

Из всего вышесказанного, замыкание жизненного цикла автомобильной шины имеет высокий потенциал, является более экологичным способом и позволяет получить ценные продукты, которые в дальнейшем позволят улучшить экономический аспект переработки отходов.

Материальный баланс замкнутого цикла утилизации отработанных шин

Материальный баланс позволяет оценить эффективность использования использованных веществ по отношению к полученным продуктам.

Для расчета материальных балансов в качестве исходных объектов принятые данные отработанных шин в количестве четырех единиц, средняя масса которых составляет около 7 кг.

В основе материальных расчетов лежит закон сохранения масс:

$$G_{\text{исх}} = G_{\text{получ}}$$

$G_{\text{исх}}, G_{\text{получ}}$ – суммы масс исходных и полученных веществ, кг.

В процессе пиролиза использованных автомобильных шин получены металл, неконденсируемый газ, углерод, жидкий углеводород.

Массовый доли полученных продуктов представлены в таблице 1.

***Таблица 1**. Массовые доли продуктов пиролиза*

Название продукта	Массовая доля, g_i, масс. %
Металл	10
Технический углерод	32
Жидкие углеводороды	47
Неконденсирующиеся газы	11

Жидкие углеводороды подразделяются на три фракции: легкая, средняя и тяжелая, массовые доли которых представлены в таблице 2.

Таблица 2. Массовые доли фракций жидких углеводородов

Фракция	Массовая доля, g_i, масс. %
Легкая	29
Средняя	28
Тяжелая	43

Массовые доли твердых продуктов пиролиза после восстановления технического углерода и удаления металла представлены в таблице 3.

***Таблица 3.** Массовые доли твердых продуктов*

Название продукта	Массовая доля, g_i, масс. %
Удаленный металл	12
Очищенный технический углерод	88

Все вышеупомянутые исходные параметры позволяют произвести расчет материального баланса процесса пиролиза отработанных шин.

Полученные массы твердых продуктов процесса пиролиза:

$$G_{\text{мет}} = G_{\text{шин}} \cdot g_{\text{мет}} = 28 \cdot 0{,}1 = 2{,}8 \text{ кг};$$

$$G_{\text{тех.у}} = G_{\text{шин}} \cdot g_{\text{тех.у}} = 28 \cdot 0{,}32 = 8{,}96 \text{ кг}$$

Масса удаленных металлов:

$$G_{\text{уд.мет}} = G_{\text{тех.у}} \cdot g_{\text{уд.мет}} = 8{,}96 \cdot 0{,}12 = 1{,}075 \text{ кг};$$

Масса очищенного технического углерода:

$$G_{\text{уг.очищ}} = G_{\text{тех.у}} \cdot g_{\text{уг.очищ}} = 8{,}96 \cdot 0{,}88 = 7{,}885 \text{ кг}.$$

Материальный баланс по полученному техническому углероду:

$$G_{\text{тех.у}} = G_{\text{уд.мет}} + G_{\text{уг.очищ}} = 1{,}075 + 7{,}885 = 8{,}96 \text{ кг}.$$

Масса жидких углеводородов:

$$G_{\text{жид.у}} = G_{\text{шин}} \cdot g_{\text{жид.у}} = 28 \cdot 0{,}47 = 13{,}16 \text{ кг}.$$

Массы фракционных составляющих жидких

продуктов пиролиза:

$$G_{\text{л.ф.}} = G_{\text{жид.у}} \cdot g_{\text{л.ф.}} = 13{,}16 \cdot 0{,}29 = 3{,}816 \text{ кг};$$

$$G_{\text{с.ф.}} = G_{\text{жид.у}} \cdot g_{\text{с.ф.}} = 13{,}16 \cdot 0{,}28 = 3{,}685 \text{ кг};$$

$$G_{\text{т.ф.}} = G_{\text{жид.у}} \cdot g_{\text{т.ф.}} = 13{,}16 \cdot 0{,}43 = 5{,}659 \text{ кг}.$$

Материальный баланс по полученным жидким углеводородам:

$$G_{\text{жид.у}} = G_{\text{л.ф.}} + G_{\text{с.ф.}} + G_{\text{т.ф.}} = 3{,}816 + 3{,}685 + 5{,}659 = 13{,}16 \text{ кг}.$$

Масса неконденсируемых газов:

$$G_{\text{н.газ}} = G_{\text{шин}} \cdot g_{\text{н.газ}} = 28 \cdot 0{,}11 = 3{,}08 \text{ кг}.$$

Материальный баланс процесса пиролиза изношенных шин:

$$G_{\text{шин}} = G_{\text{мет}} + G_{\text{тех.у}} + G_{\text{жид.у}} + G_{\text{н.газ}} = 2{,}8 + 8{,}96 + 13{,}16 + 3{,}08 = 28 \text{ кг}.$$

Заключение

Пиролиз является более эффективным способом утилизации отходов по сравнению с традиционным захоронением на свалках и сжиганием, так как является более экологичным. Помимо этого, данный метод позволяет получать полезные продукты и является менее трудоемким, что делает его привлекательнее чем механическое измельчение.

В процессе пиролиза отработанных шин, в итоговых продуктах большее массовое содержание составляет твердый углеродный остаток (32 %) и жидкие углеводороды (47%), которые можно далее использовать в качестве вторичного сырья для различных сфер производства. По данным результатам вышеприведенных аналитических данных и расчетов, термическая конверсия является перспективным методом утилизации резинотехнических отходов, требующего дальнейшего изучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта FZES-2024-0001 (Соглашение № 075-03-2024-082/2).

Список литературы

1. Вольфсон, С. И. Методы утилизации шин и резинотехнических изделий / С. И. Вольфсон, Е. А. Фафурина, А. В. Фафурин // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 1. – С. 74-79. – EDN LUMYUH.
2. Свечинский, С. А. Снижение углеродного следа путем восстановления и утилизации автомобильных шин / С. А. Свечинский // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук : Сборник докладов Национальной конференции с международным участием, Белгород, 18–20 мая 2022 года. Том Часть 9. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 311-316. – EDN WEYBTQ.
3. Ситникова Н.А. Рынок сбора и переработки изношенных автомобильных шин / Н.А. Ситникова // Научно-практический журнал. Обращение с отходами. – 2023. – № 8. – С. 35–39.
4. Калачева, М. С. Проблемы утилизации автомобильных шин / М. С. Калачева // Инновации в науке и образовании - 2011 : Труды IX Международной научной конференции. В 2-х частях, Калининград, 18–20 октября 2011 года. Том Часть 2. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2011. – С. 55-57. – EDN ZSZBRD.
5. Чич, С. К. Пиролиз как оптимальный метод утилизации отработанных автомобильных шин / С. К. Чич // Новые технологии. – 2009. – № 3. – С. 62-65. – EDN KWYREH.

References

1. Wolfson, S. I. Methods for recycling tires and rubber products / S. I. Wolfson, E. A. Fafurina, A. V. Fafurin // Bulletin of the Kazan Technological University. – 2011. – No. 1. – P. 74-79. – EDN LUMYUH.
2. Svechinsky, S. A. Reducing the carbon footprint by restoring and recycling car tires / S. A. Svechinsky // International scientific and technical conference of young scientists of BSTU. V.G. Shukhov, dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences: Collection of reports of the National Conference with international participation, Belgorod, May 18–20, 2022. Volume Part 9. – Belgorod: Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova, 2022. – P. 311-316. – EDN WEYBTQ.
3. Sitnikova N.A. Market for collection and processing of used car tires / N.A. Sitnikova // Scientific and practical journal. Waste management. – 2023. – No. 8. – P. 35–39.
4. Kalacheva, M. S. Problems of recycling car tires / M. S. Kalacheva // Innovations in science and education - 2011: Proceedings of the IX International Scientific Conference. In 2 parts, Kaliningrad, October 18–20, 2011. Volume Part 2. – Kaliningrad: Kaliningrad State Technical University, 2011. – P. 55-57. – EDN ZSZBRD.
5. Chich, S.K. Pyrolysis as an optimal method for recycling waste tires / S.K. Chich // New technologies. – 2009. – No. 3. – P. 62-65. – EDN KWYREH.

УДК 620.92

Газографитовый реактор

К.В Муреева
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33 г.Севастополь, 299053, Россия, ksesha_31169@mail.ru

Статья поступила 16.05.2024 г.; после доработки 23.05.2024г.

Аннотация

Была изучена структура и используемые материалы в газографитовом реакторе. Проведен анализ систем безопасности для конструкции активной зоны данного вида реакторной установки. Рассмотрены области применения газографитового реактора в контексте решения задач ядерной энергетики. Также рассмотрено применение газографитового реактора для утилизации радиоактивных материалов.

Ключевые слова: газографитовый реактор, отработанное ядерное топливо, развитие ядерной энергетики, теплоноситель.

Gas graphite reactor

K.V. Mureeva
Sevastopol stat university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
[1]ksesha_31169@mail.ru

Received 16.05.2024 y.; received in final form 16.05.2024 y.

Abstract

The structure and materials used in the gas graphite reactor were studied. The analysis of safety systems for the design of the core of this type of reactor installation has been carried out. The fields of application of the gas graphite reactor in the context of solving nuclear energy problems are considered. The use of a gas graphite reactor for the disposal of radioactive materials is also considered.

Keywords: gas graphite reactor, spent nuclear fuel, development of nuclear energy, coolant.

Введение

Получение высоких параметров пара на АЭС позволит увеличить КПД. В связи с этим современные ученые обращают свое внимание на высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы, т.к они имеют потенциал для использования в различных отраслях промышленности благодаря своей способности генерировать тепло при высоких температурах.

Цель и постановка задачи

Целью данной работы является анализ возможности широкого распространения газографитовых реакторов в ядерной энергетике.

Общие сведения

Газографитовые реакторы представляют особый интерес благодаря использованию гелия в качестве теплоносителя и возможности работы при высоких температурах. Использование других газов было отклонено по ряду причин. Использование водорода опасно из-за возможности взрыва при контакте с воздухом и высокая химическая активность по отношению к конструкционным материалам активной зоны при температуре выше 800 ℃ и выше. Применение азота затруднено из-за его низких теплофизических свойств и высокой химической активностью в области высокой температуры. А при использовании углекислоты при высокой температуре

CO_2 - диссоциирует, а продукты диссоциации взаимодействуют с конструкционными материалами активной зоны. Итак, гелий наиболее многообещающий газ в качестве теплоносителя. Его использование позволяет получать пар высокого давления на атомных электростанциях с высокотемпературными реакторами и использовать стандартные турбины, применяемые в тепловой энергетике. Более того, в будущем это открывает путь к прямому циклу с газовой турбиной.

Активная зона

Конструкция активной зоны зависит от типа применяемого твэл. В каждом из них используются микротопливные сферические частицы из делящегося материала с керамическим покрытием, известные как микротвэлы.

В первом типе микротвэлы прессуются в цилиндрических графитовых топливных компактах высотой 50 мм и диаметром 12,5 мм. Эти компактные топливные элементы затем помещаются в шестигранные графитовые блоки с каналами для топлива, теплоносителя и стержней управления и защиты. Из этих блоков формируется активная зона, известная как призматическая. Радиальные и торцевые отражатели выполнены из аналогичных призматических блоков активной зоны, но без делящегося материала. Преимущества такого типа - простота гидравлического профилирования в активной зоне, использовать традиционные стержни СУЗ.

Во втором типе активная зона имеет форму "шаровой засыпки". В этой конструкции микротвэлы размещаются внутри графитовых шаров диаметром 60 мм. Загрузка топлива происходит путем засыпания шаровых твэлов в корпус активной зоны сверху, а отработавшие шары высыпаются снизу.

Шаровые твэлы, которые не достигли проектного выгорания, возвращаются обратно в активную зону с помощью пневмотранспорта. Отличительная черта данного типа активной зоны - возможность перегрузки шаровых твэл может осуществляться непрерывно, в процессе работы реактора.

В реакторе с шаровыми ТВЭЛами возможны два способа загрузки ТВЭЛов: первый, когда одни и те же многократно проходят через активную зону, и второй, когда ТВЭЛы проходят через зону только один раз. Второй цикл приемлем для ТВЭЛов с низко обогащенным топливом. При многократном прохождении ТВЭЛов через активную зону достигается равномерное и оптимальное выгорание топлива во всех ТВЭЛах, однако в реакторе появляется сложная и разветвленная система циркуляции ТВЭЛов.

Безопасность использования данного типа реактора

Вопросы безопасности являются ключевыми при строительстве атомных электростанций. Важно учитывать все возможные риски и принимать меры для их минимизации. Обеспечение безопасности персонала и населения должно быть приоритетом номер один при проектировании и эксплуатации АЭС.

В силу особенностей состава конструкции и активной зоны и компоновки оборудования обладают благоприятными характеристиками в отношении ядерной безопасности. В них практически исключено расплавление активной зоны, состоящей в основном из графита, имеющего температуру сублимации -3600 °С. Высокотемпературные газографитовые реакторы имеют высокий отрицательный температурный коэффициент реактивности. Это обстоятельство является важнейшим фактором безопасности, так как предотвращает в подобных реакторах самопроизвольное увеличение мощности. Применение в качестве теплоносителя инертного газа (гелия) исключает химические реакции его с топливом и конструкционными материалами, К тому же гелий не активируется и при его использовании отсутствуют проблемы, связанные с фазовыми превращениями.

Важным элементом, обеспечивающим безопасность реактора высокотемпературного газоохлаждаемого реактора (ВТГР), является его силовая конструкция. Современные требования к безопасности повысились, поэтому для ВТГР применяется модульная концепция. Она предполагает использование нескольких однотипных ядерных реакторов меньшей мощности, которые могут работать независимо друг от друга. Эти реакторы помещаются в металлические корпуса, где реализуется принцип пассивной безопасности.

Особенность ВТГР заключается в том, что они способны поддерживать высокую температуру в активной зоне без повреждения топливных элементов. Это свойство лежит в основе идеи по отводу остаточного тепловыделения в случае аварии с полной потерей теплоносителя и отсутствием принудительного охлаждения активной зоны. Тепло отводится через поверхность корпуса реактора к системе охлаждения шахты и

затем к конечному поглотителю тепловой энергии, которым может быть воздух атмосферы или водные бассейны.

Достоинства данного типа реактора

Газографитовые реакторы обладают множеством достоинств:

- высокая температура, в наиболее совершенных конструкциях приближающаяся к 1000 °С. Это позволяет, во-первых, существенно увеличить электрический КПД реакторной установки, используя при этом либо паровую турбину со сверхкритическими параметрами, либо теплоноситель в качестве, одновременно, рабочего тела газовой турбины; впрочем, в построенных до сих пор ВТГР эти преимущества реализованы лишь отчасти, прямой газотурбинный цикл пока не применялся;
- высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы могут использоваться в качестве источника тепловой энергии для различных технологических процессов, таких как: производство водорода, водородно-метановых смесей, опреснение воды и другие. Они обладают рядом преимуществ перед традиционными источниками энергии: они потребляют меньше топлива, образуют минимальное количество отходов и практически не выделяют парниковые газы.;
- обладают высокой маневренностью. В некоторых конструкциях изменение мощности может осуществляться путем регулирования подачи теплоносителя при стабильном положении органов системы управления и защиты (СУЗ) и незначительном изменении температуры топлива. Это позволяет использовать ВТГР в различных производственных процессах и в качестве источников энергии для небольших энергосистем.;
- характерен отрицательный температурный коэффициент реактивности;
- применение дублированной системы аварийного гашения реактивности, в качестве «дублеров» на случай отказа механических СУЗ применяются засыпаемые в активную зону по отдельным каналам твердые поглотители, например, борсодержащие пеллеты.

Недостатки данного типа реактора

К сожалению, несмотря на все достоинства применения газографитовых реакторов, необходимо сказать о его недостатках:

- увеличен объем отработанного ядерного топлива;
- большой объем облученного графита, утилизация которого пока остается вопросом для атомной энергетики;
- Из-за наличия хорошей маневренности такие реакторы имеют бóльшие размеры, чем PWR соответствующей мощности, и требуют более громоздкой теплоизоляции, что, среди прочего, делает их непригодными в качестве основы транспортных силовых установок, в которых маневренность — одно из наиболее востребованных качеств;
- высокое давление во втором контуре по сравнению с первым, вследствие этого при повреждении барьеров между ними в реакторный контур могут проникать водяной пар и другие примеси. Необходимо считаться также с рисками, связанными с потенциальной (при маловероятном доступе окислителя) пожароопасностью разогретого графита.

Реализация проекта

В настоящее время акционерное общество «Концерн Росэнергоатом» осуществляет крупный инвестиционный проект под названием «Разработка технологий атомно-водородной энергетики для крупномасштабного производства и потребления водорода». Целью данного проекта является разработка и создание инфраструктуры, которая позволит производить, хранить, транспортировать и использовать водород.

Один из проектов, осуществляемых концерном «Росэнергоатом», предусматривает создание демонстрационного комплекса с использованием реактора ВТГР и химико-технологической части (ХТЧ) для крупномасштабного производства водорода. Реактор ВТГР представляет собой универсальный инструмент, который может заменить ископаемое топливо в различных высокотемпературных промышленных процессах. Он использует гелий в качестве теплоносителя, температура которого на выходе достигает 850 °С. Это тепло затем используется в ХТЧ для производства водорода.

Предполагается, что атомный энерготехнологический комплекс будет включать четыре блока с тепловой мощностью 200 МВт каждый, что в сумме даст мощность в 800 МВт. Это позволит ежегодно производить около 440 тысяч тонн водорода. Запуск атомной энерготехнологической станции (АЭТС) планируется на начало 2030-х годов.[4]

Заключение

Вопрос о газографитовых реакторах набирает все больший интерес, так как данный проект привлекает степенью своей безопасности. Нет риска возникновения пароциркониевой реакции, так как в конструкции микротвэлов не используются сплавы с цирконием, а в активной зоне нет воды. Помимо этого, реактор имеет отрицательный температурный коэффициент и при разогреве сам затухает. В микротвэлах все продукты распада остаются внутри многослойных керамических оболочек, что позволяет хранить отработавшие топливные элементы в сухом хранилище.

Список литературы

1. Широков С.В. Ядерные энергетические реакторы / С.В. Широков – Киев: НТУУ КПИ., 1997. - 280.
2. «Вестник Автопрома» Режим доступа: https://atomvestnik.ru/2022/12/26/atomnyj-vodorod/?ysclid=lw6m5dfemi374429115.
3. Дементьев Б.А. Ядерные энергетические реакторы / Б.А. Дементьев – Москва: Энергоатомиздт, 1984. - 280.
4. Атомный эксперт Режим доступа: https://atomicexpert.com/hot_forgotten_old?ysclid=lw9ctad396817353292.
5. Гребенник В.Н., Кухаркин Н.Е., Пономарев-Степной Н.Н. Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы - инновационное направление развития атомной энергетики / В.Н. Гребенние, Н.Е. Кухаркин, Н.Н. Пономарев-Степной – М.: Энергоатомиздат, 2008. - 136.

References

1. Shirokov S.V. Nuclear power reactors / S.V. Shirokov – Kiev: NTUU KPI., 1997. - 280.
2. " Bulletin of the Automotive Industry" Access mode: https://atomvestnik.ru/2022/12/26/atomnyj-vodorod/?ysclid=lw6m5dfemi374429115.
3. Dementiev B.A. Nuclear power reactors / B.A. Dementiev – Moscow: Energoatomizdt, 1984. - 280.
4. Atomic Expert Access mode: https://atomicexpert.com/hot_forgotten_old ?ysclid=lw9ctad396817353292.
5. Grebennik V.N., Kukharkin N.E., Ponomarev-Stepnoy N.N. High-temperature gas-cooled reactors – an innovative direction in the development of nuclear energy / V.N. Grebennie, N.E. Kukharkin, N.N. Ponomarev-Stepnoy - M.: Energoatomizdat, 2008. - 136.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал

16+

Выпуск № 2,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 27.06.2024. Заказ 15/24. Дата выхода в свет: . Тираж 65 экз.
Цена: Бесплатно. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Объем усл. печ. л. 19,6.

Севастополь, 2024