

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 № 3

**Севастополь
2024**

Э 651 Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ ВО СевГУ, 2024. – Т. 10. - № 3. – 96 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; Электротехнические 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); 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.

Комишин 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 биомедицинских 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.

Мостовицков 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 университета путей сообщения», г. Омск.

Яковилин 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»!

Третий номер журнала посвящен рассмотрению проблем использования современных информационных технологий в электроэнергетике и теплоэнергетике, а также перспективам использования традиционной и возобновляемой энергетики в морской сфере.

В статьях ученых из Севастопольского государственного университета предложены оригинальные решения использования информационных технологий в системах управления различными энергетическими объектами. Сотрудниками Таджикского технического университета им. М.С. Осими, Таджикского государственного университета коммерции и института энергетики Таджикистана рассмотрены основные области применения AVR-микроконтроллеров в электроэнергетике.

Эффективному использованию возобновляемой энергетики в судовых установках и припортовых сооружений посвящен ряд статей ученых, аспирантов и сотрудников Севастопольского государственного университета.

Следует отметить актуальную работу, выполненными учеными Национального исследовательского Томского политехнического университета, выполненную в области турбогенераторов.

Сотрудничеству университетов России и Китая посвящена статья, представленная Российской инженерной академией.

Уважаемые коллеги, приглашаем Вас к сотрудничеству и надеемся, что материалы третьего номера будут полезны в вашей научной и образовательной деятельности.

*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	9
<i>Александрова К.М., Груздева А.В., Шахова Н.В.</i> Оптимизация систем автоматического регулирования в среде SimInTech	9
<i>Жуков А.О., Карцан И.Н.</i> Разработка системы защиты автоматизированного рабочего места сотрудника научно-исследовательской организации в режиме удалённой работы	13
Энергетические системы и комплексы	19
<i>Артеменко И.Д., Стрижак В.Н., Фролова А.Н., Косий А.Г., Касницкий А.Д.</i> Установки на основе возобновляемой энергетики для обеспечения морской инфраструктуры	19
<i>Аль-Малики М.Н., Шахова Н.А., Кувшинов В.В., Якимович Б.А., Смирнов В.В.</i> Повышение эффективности комбинированных фотоэлектрических систем за счёт охлаждения	26
<i>Бордан Д.Ф., Конева С.А., Шахова Н.В., Артёменко И.Д., Березняк В.А.</i> Фотоэлектрическая установка для вспомогательного электроснабжения морского транспорта	32
<i>Бордан Д.Ф., Скидан А.А., Цалоев В.М., Ивантеев И.С., Владимиров А.С.</i> Использование фотоэлектрических систем для энергоснабжения припортовых сооружений	38
<i>Владимиров А.С., Нагирняк А.А., Ивантеев И.С., Фролова А.Н., Жильцов А.С.</i> Системы резервного питания для судового оборудования на основе фотоэлектрических преобразователей	43
<i>Егорова А.О., Якимович Б.А., Черкашина Н.И., Кувшинов В.В.</i> Модель системы мониторинга окружающей среды с использованием энергетических установок на основе возобновляемых видов энергии	47
<i>Жильцов А.С., Ходак Е.Н., Фролова А.Н., Косий А.Г., Касницкий А.Д.</i> Комбинированные энергетические установки с накопителями энергии для обеспечения судовых систем питания	51
<i>Исса Х.А., Муровский С.П., Шахова Н.В., Гусева Е.В., Кувшинов В.В.</i> Комбинированная энергетическая система с использованием фотоэлектрических преобразователей и топливных элементов	56
<i>Лукутин Б.В., Шандарова Е.Б., Попов М.М.</i> Стабилизация параметров электроэнергии автономного турбогенератора с нерегулируемой турбиной	63
<i>Раскосов Я.А., Гусева Е.В., Борисов Б.Е., Меджитов М.Р., Березняк В.А.</i> Проектирование наружного освещения с использованием альтернативных источников энергии	70
<i>Ситников С.А., Шайтор Н.М., Черкашина Н.И., Скидан А.А., Артёменко И.Д.</i> Анализ аварийности в энергосистеме и методы устранения	75
Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность	79
<i>Карцан И.Н., Нуриев С.А.</i> Защита от распространения экстремизма и терроризма на предприятиях энергетики	79
<i>Малахов А.И., Дементьев Г.С., Ван Хайчао, Березняк В.А., Абдали Л.М.</i> Синергия компетенций в укреплении сотрудничества	84

<i>Ретунский Д.М., Сакерин А.О., Сероев И.А., Губин А.В.</i> Определение минимальной толщины стенки трубопровода рециркуляции и конденсатопровода на АЭС	88
Электротехнические комплексы и системы	92
<i>Абдуллозода Р.Т., Абдуллоев Б.Т., Бобоев Х.Д.</i> Применение аппаратных особенностей AVR-микроконтроллеров при мониторинге состояния заземляющих устройств	92

CONTENTS

Automation and control of technological processes and productions	9
<i>Alexandrova K.M., Gruzdeva A.V., Shahova N.V.</i> Optimization of automatic control systems in the SimInTech Environment	9
<i>Zhukov A.O., Kartsan I.N.</i> Development of the system of protection of the automated workplace of the employee of the research organization in the remote work mode	13
Energy systems and complexes	19
<i>Artemenko I.D., Strizhak V.N., Frolova A.N., Kosiy A.G., Kasnitsky A.D.</i> Renewable energy installations for providing marine infrastructure	19
<i>Al-Maliki M.N., Shakhova N.A., Kuvshinov V.V., Yakimovich B.A., Smirnov V.V.</i> Improving the efficiency of combined photovoltaic systems by cooling	26
<i>Bordan D.F., Koneva S.V., Shakhova N.V., Artemenko I.D., Bereznyak V.A.</i> Photovoltaic installation for auxiliary power supply for marine transport	32
<i>Bordan D.F., Skidan A.A., Tsaloev V.M., Ivanteev I. S., Vladimirov A.S.</i> Use of photovoltaic systems for power supply of port facilities	38
<i>Vladimirov A.S., Frolova A.N., Nagirnyak A.A., Ivanteev I.S., Zhiltsov A.S.</i> Backup power systems for marine equipment based on photovoltaic converters	43
<i>Egorova A.O., Yakimovich B.A., Cherkashina N.I., Kuvshinov V.V.</i> Model of the environmental monitoring system using renewable energy power plants	47
<i>Zhiltsov A.S., Khodak E.N., Frolova A.N., Kosii A.G., Kasnitsky A.D.</i> Combined energy plants with energy storages for providing ship power systems	51
<i>Issa H.A., Murovskiy S.P., Shakhova N.V., Guseva E.V., Kuvshinov V.V.</i> Combined energy system using photoelectric converters and fuel cells	56
<i>Lukutin B.V., Shandarova E.B., Popov M.M.</i> Stabilization of electric power parameters of an autonomous turbogenerator with an unregulated turbine	63
<i>Raskosov Y.A., Guseva E.V., Borisov B.E., Medjitov M.R., Bereznyak V.A.</i> The design of outdoor lighting using alternative sources of electricity – solar panels	70
<i>Sitnikov S.A., Shaitor N.M., Cherkashina N.I., Skidan A.A., Artemenko I.D.</i> Analysis of accidents in the power system and methods of elimination	75
Nuclear power plants, fuel cycle, radiation safety	79
<i>Kartsan I.N., Nuriev S.A.</i> Protecting against the spread of extremism and terrorism at energy enterprises	79
<i>Malakhov A.I., Dementyev G.S., Wang Haichao, Bereznyak V.A, Abdali L.M.</i> Synergy of competencies in strengthening cooperation	84
<i>Retunskiy D.M., Sakerin A.O., Seroev I.A., Gubin A.V.</i> Determination of the minimum wall thickness for the recirculation and condensate pipelines at a nuclear power plant	88
Electrical engineering complexes and system	92
<i>Abdullozoda R.T., Abdulloev B.T., Boboev Kh.D.</i> Application of hardware features AVR microcontrollers when monitoring the condition of grounding devices	92

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 681.515:004.9

Оптимизация систем автоматического регулирования в среде SimInTech

К.М. Александрова¹, А.В. Груздева², Н.В. Шахова³

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, alexandrovanirak58@gmail.com¹, gruzdeva2002@mail.ru², nvshakhova@sevsu.ru³

Статья поступила 15.08.20204 г.; после доработки 16.08.2024 г.

Аннотация

Рассматривается среда динамического моделирования технических систем, предназначенная для расчетной проверки работы системы регулирования со сложными техническими объектами – SimInTech, возможности применения среды SimInTech для расчета оптимальных параметров систем автоматического регулирования. Представлен пример оптимизации системы автоматического регулирования с ПИД-регулятором в среде SimInTech.

Ключевые слова: динамическое моделирование, регулятор, оптимальные параметры, система автоматического регулирования.

Optimization of automatic control systems in the SimInTech Environment

K.M. Alexandrova¹, A.V. Gruzdeva², N.V. Shahova³

Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, alexandrovanirak58@gmail.com¹, gruzdeva2002@mail.ru², nvshakhova@sevsu.ru³

Received 15.08.20204 y.; received in final form 16.08.2024 y.

Abstract

An environment of dynamic modeling of technical systems is considered, designed for computational verification of the operation of a control system with complex technical objects – SimInTech, the possibility of using the SimInTech environment to calculate the optimal parameters of automatic control systems. An example of optimization of an automatic control system with a PID controller in a SimInTech environment is presented.

Key words: dynamic modeling, controller, optimal parameters, automatic control system.

Введение

В современных реалиях, характеризующихся непостоянством и частыми изменениями, становится актуальным применение инновационных методов управления технологическим процессом. Появляется возможность прогнозирования поведения системы с течением времени в зависимости от принимаемых решений. Для этого чаще всего строится компьютерная модель, имитирующая работу системы. Суще-

ствует множество сред для разработки математических моделей управления. В данной статье рассматривается отечественная среда динамического моделирования технических систем, предназначенная для расчетной проверки работы системы регулирования со сложными техническими объектами – SimInTech. Описывается процесс работы в программе, ее преимущества в сравнении с аналитическим решением задачи оптимизации управления, в частности ПИД-регуляторов, а также сложности, возникающие во

время работы в среде [2].

Постановка задачи

Целью работы является анализ процесса оптимизации и настройки систем автоматического регулирования на примере типового ПИД-регулятора в среде SimInTech, а также анализ работы системы автоматического управления в программе.

Для решения задачи были определены следующие этапы:

1. Настройка системы автоматического регулирования с типовым ПИД-регулятором.
2. Анализ процесса оптимизации и сравнение его с аналитическим решением задачи.
3. Выявление преимуществ работы в программе, а также учет недоработок среды.

Описание исследования

Закон регулирования определяет характер переходного процесса и динамические свойства системы автоматического регулирования (САР). С одной из основных задач, которые возникают при разработке САР, связан выбор оптимального закона регулирования для конкретного объекта. Для настройки регуляторов необходимо определить численные значения параметров настройки, при которых переходные процессы в САР соответствуют заданным показателям качества. В регуляторах применяются специальные средства настройки, позволяющие в определенных пределах изменять числовые параметры, что позволяет адаптировать один и тот же регулятор для работы с объектами, имеющими различные характеристики регулирования.

Регулятор – это комплекс устройств, осуществляющий регулирование технологического процесса без участия человека посредством воздействия на объект регулирования в соответствии с заложенными в нем законами регулирования.

Главная функция регулятора – формирование сигнала рассогласования между регулируемой величиной и ее заданным значением и динамическое преобразование сигнала рассогласования по типовым законам регулирования.

Пропорциональный регулятор с введением в закон регулирования интеграла и производной от регулируемой величины (ПИД-регулятор) производит перемещение регулирующего органа пропорционально отклонению, интегралу и скорости изменения регулируемой величины регу-

лирования интеграла и производной от регулируемой величины [1].

Одним из способов задания ПИД-регулятора на практике является сборка структурной схемы с обратными связями. На рисунке 1 представлена структурная схема моделируемой системы автоматического регулирования.

Для лучшего приближения к ПИД-регулятору необходимо в этом случае стремиться к возможно большему коэффициенту передачи k и возможно меньшей постоянной времени T дифференцирующего звена. Получаемые при этом соединения значения параметров настройки k_P , T_I и T_D определяются формулами Циглера-Никольса [2]:

$$\begin{aligned} k_P &= 0,6 \cdot k_{п\text{кр}}; \\ k_I &= \frac{1,2 \cdot k_{п\text{кр}}}{T}; \\ k_D &= 0,075 \cdot k_{п\text{кр}} \cdot T_{кр}. \end{aligned}$$

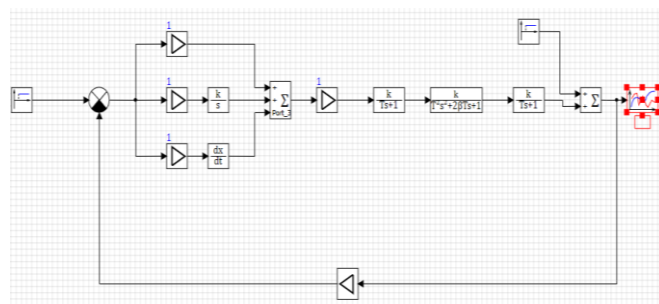


Рис. 1. Структурная схема моделируемой САР

Из графика переходного процесса статической системы автоматического регулирования, представленного на рисунке 2, видно, что исследуемая система не способна удовлетворить строгим требованиям, предъявляемым к характеристикам качества мехатронных систем, которые относятся к точным техническим устройствам.

При параметрической оптимизации по конкретному алгоритму происходит итеративный перебор численных значений параметров для нахождения оптимальных значений, которые соответствуют заданным критериям оптимизации. Для данной САР параметрами оптимизации ПИД – закона регулирования являются k_n , k_u , k_d , а критериями оптимизации – время $t_{пр}$ ПП и максимальное значение регулируемой величины Y_{max} [3].

Для их расчета удобно использовать блок «Субмодель», в котором создают субмодель – специальную расчетную структурную схему, которая представлена на рисунке 3.

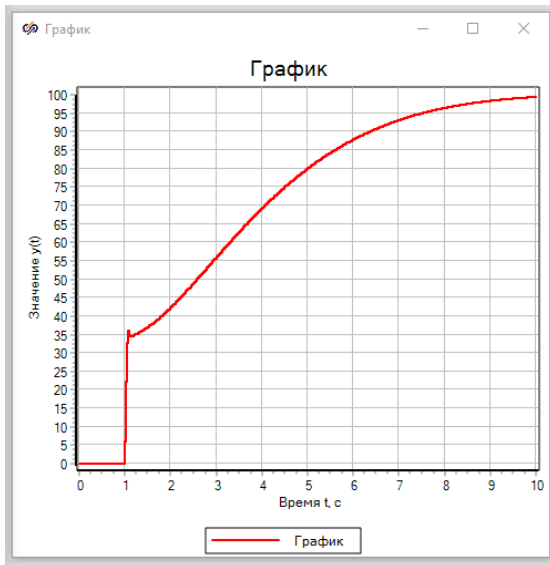


Рис. 2. График переходного процесса регулирования САР при значениях k_p , k_i , k_d , определенных по формулам

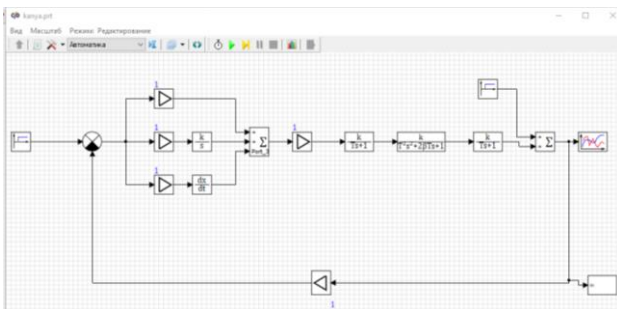


Рис. 3. Схемное окно с введенным блоком «Субмодель»

В блоке «Субмодель» сформирована специальная структурная схема для расчета параметров переходного процесса t_{pr} и Y_{max} , представленная на рисунке 4.

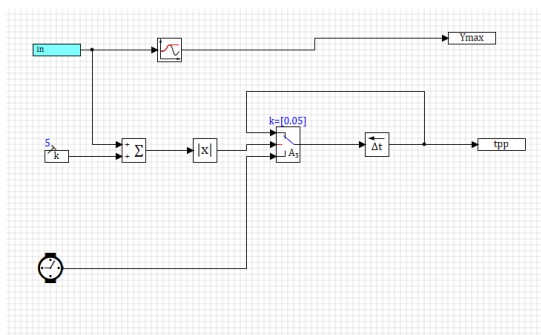


Рис. 4 Субмодельное схемное окно с введенной структурной схемой расчета параметров переходного процесса и необходимыми свойствами блока.

Для настройки критериев оптимизации t_{pr} и Y_{max} в нижней части схемного окна сформирована структурная схема «Оптимизация параметров модели», которая показана на рисунке 5.

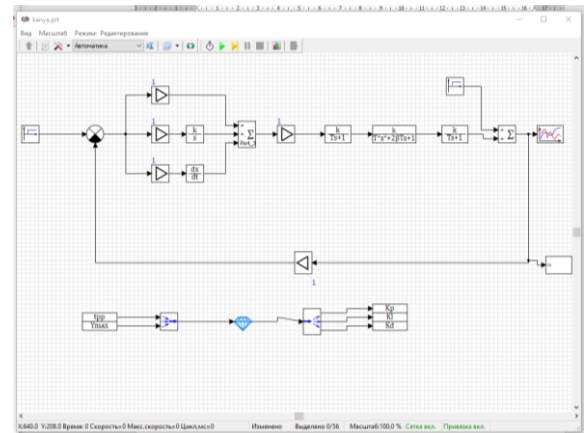


Рис. 5. Схемное окно с окончательной структурной схемой моделирования САР для оптимизации ПИД-законов регулирования

В результате оптимизации получены следующие значения параметров САР:

- Максимальное значение $Y_{max} = 4,9$
- Коэффициент усиления $k_p = 1,23$
- Коэффициент усиления $k_i = 0,86$
- Коэффициент усиления $k_d = 0,33$
- Время переходного процесса $t_{pr} = 1,1$

Все параметры были сравнены с аналитическими значениями и совпадают с ними с минимальной погрешностью 0,01 %.

График переходного процесса после оптимизации представлен на рисунке 6.

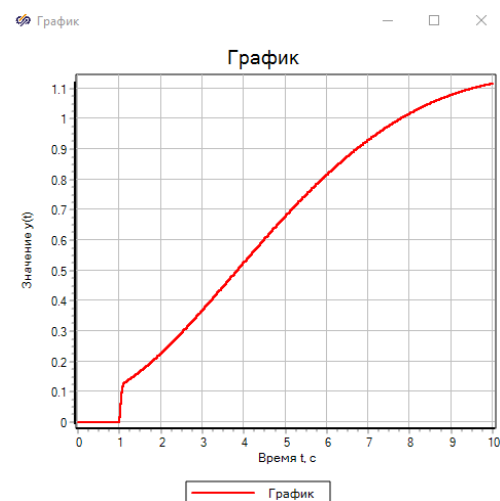


Рис. 6. Оптимизированный график переходного процесса

Заключение

В ходе работы была проведена настройка системы автоматического регулирования типового ПИД-регулятора. Проведен анализ процесса оптимизации и сравнение полученных параметров с аналитическим решением задачи. Все параметры практически совпадают. Явным преимуществом работы в среде SimInTech является понятный интерфейс, возможность настройки параметров моделей, многофункциональность программы, а также быстрота выполнения расчетов, в сравнении с аналитическим решением. Однако, программа имеет множество инструментов и функций, для изучения которых требуется дополнительное время.

Список литературы

1. Дикусар Ю. Г. Законы регулирования и расчет параметров настройки автоматического регулирования. Учеб. пособие / Дикусар Ю. Г., Аникевич К. П. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2006. – 88с.: ил.
2. Карташов Б. А. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования/ Карташов Б. А., Шабаетов Е. А., Козлов О. С., Шечкатуров А. М. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 424 с.
3. Герман-Галкин С. Г. Модельное проектирование электромеханических мехатронных модулей движения в среде SimInTech/ Герман-Галкин С. Г., Карташов Б. А., Литвинов С. Н. - М.: ДМК Пресс, 2021. – 494 с.

References

1. Dikusar Yu. G., Anikevich K. P. *Laws of regulation and calculation of automatic control settings. Textbook.* Sevastopol: SNUYEiP, 2006. – 88s.: ill.
2. Kartashov B. A., Shabaev E. A., Kozlov O. S., Shchekaturov A.M. *The environment of dynamic modeling of SimInTech technical systems: A workshop on modeling automatic control systems.* M.: DMK Press, 2017. - 424 p.
3. Herman-Galkin S. G., Kartashov B. A., Litvinov S. N. *Model design of electromechanical mechatronic motion modules in the SimInTech environment.* M.: DMK Press, 2021. – 494 p.

УДК 002.056.5

Разработка системы защиты автоматизированного рабочего места сотрудника научно-исследовательской организации в режиме удалённой работы

А.О. Жуков¹, И.Н. Карцан²¹ФГБНУ «Аналитический центр», г. Москва, 109316, Россия, aozhukov@mail.ru²Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, 299011, Россия, kartsan2003@mail.ru

Статья поступила 19.08.2024 г.; после доработки 20.08.2024 г.

Аннотация

Данная статья посвящена разработке системы защиты автоматизированного рабочего места сотрудника научно-исследовательской организации в режиме удалённой работы. Переход к удаленной работе потребовал совершенствования систем безопасности для защиты автоматизированных рабочих мест сотрудников организации. В данной статье рассматривается разработка комплексной системы безопасности для научно-исследовательской организации с целью защиты удаленных рабочих мест ее сотрудников. Основное внимание уделяется обеспечению конфиденциальности, целостности и доступности корпоративных данных в условиях растущих киберугроз.

Ключевые слова: защита информации, удаленная работа, кибератаки, конфиденциальность данных, автоматизированное рабочее место.

Development of the system of protection of the automated workplace of the employee of the research organization in the remote work mode

A.O. Zhukov¹, I.N. Kartsan²¹Analytical Center, Moscow, 109316, Russia, aozhukov@mail.ru²Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences, Sevastopol, 299011, Russia, kartsan2003@mail.ru

Received 19.08.2024 y.; received in final form 20.08.2024 y.

Abstract

This article is devoted to the development of a security system to protect the automated workplace of an employee of a research organization in the remote work mode. The transition to remote work required the improvement of security systems for the protection of automated workplaces of employees of the organization. This paper examines the development of a comprehensive security system for a research organization to protect the remote workstations of its employees. The focus is on ensuring confidentiality, integrity and availability of corporate data in the face of growing cyber threats.

Keywords: information protection, remote work, cyber-attacks, data privacy, automated workplace.

Введение

В настоящее время все больше сотрудников переходят на удаленную работу, что существенно повышает вероятность кибератак на информационные системы предприятий. Переход на удаленный режим работы обычно сопровождается использованием более уязвимых сетевых

каналов, таких как открытые Wi-Fi сети и личные компьютеры. Однако, компании могут предпринимать несколько мер, чтобы защитить свои информационные системы [1]. Например, они могут защитить Wi-Fi сети с помощью пароля, использовать специальное программное обеспечение для удаленного доступа, ограничить доступ к конфиденциальной информации только

для сотрудников, которые нуждаются в ней для выполнения своих задач [2,3].

Кроме того, компании должны обучать своих сотрудников базовым правилам кибербезопасности. Это позволит минимизировать возможность ошибок со стороны пользователей и снизить риск возникновения кибератак. Как показывает практика, ошибки пользователей могут привести к разглашению конфиденциальной информации, утечке важных данных, потере репутации компании и другим серьезным проблемам.

В отличие от традиционных офисных сред, где ИТ-отделы могут сохранять прямой контроль над сетевой инфраструктурой и мерами безопасности, удаленная работа требует от сотрудников доступа к корпоративным системам из различных и часто незащищенных сред. К этим проблемам относятся:

- Незащищенные сети: сотрудники могут использовать общедоступные сети Wi-Fi или домашние сети, в которых отсутствуют необходимые меры безопасности, что делает их уязвимыми для перехвата и атак/
- Рост киберугроз: Удаленная работа привела к росту фишинговых атак, распространения вредоносного ПО и угроз программ-вымогателей, поскольку киберпреступники используют уязвимости удаленных систем.
- Управление устройствами: Многие сотрудники используют для работы личные устройства, которые могут не иметь тех же протоколов безопасности, что и корпоративные устройства, что увеличивает риск утечки данных.
- Отсутствие физической безопасности: Сотрудники, работающие из дома или других удаленных мест, могут не иметь физических мер безопасности, таких как безопасный доступ в офис, которые присутствуют в традиционных рабочих пространствах [4,5].

В целом, компании должны принимать все необходимые меры для защиты своих информационных систем в условиях удаленной работы. Это может включать в себя использование специальных средств защиты, ограничение доступа к информации и обучение сотрудников правилам кибербезопасности. Только так можно избежать возможных негативных последствий и гарантировать безопасность информационных систем предприятия [6,7].

Постановка задачи

Чтобы обеспечить безопасность информации и предотвратить утечку конфиденциальных

данных, необходимо разработать систему защиты автоматизированного рабочего места сотрудника организации в режиме удаленной работы. Эта система должна включать в себя несколько компонентов, таких как Firewall, VPN (Virtual Private Network), антивирусное ПО и система мониторинга. Разработанная система защиты автоматизированного рабочего места сотрудника организации в режиме удаленной работы обеспечивает безопасность информации и предотвращает утечку конфиденциальных данных.

Для решения этих проблем организации должны разработать комплексную систему защиты автоматизированного рабочего места в режиме удаленной работы. Ниже приведены несколько ключевых компонентов, которые могут составить основу такой системы.

Описание исследования

Многофакторная аутентификация (MFA) является одним из наиболее эффективных способов обеспечения доступа сотрудников к корпоративным системам. Требуя несколько форм идентификации, таких как пароль и одноразовый код, отправленный на мобильное устройство, MFA гарантирует, что даже если пароль будет скомпрометирован, неавторизованные пользователи не смогут получить доступ к конфиденциальным системам [8,9].

MFA может быть реализована с использованием нескольких факторов, включая:

- факторы знания (что-то, что пользователь знает, например, пароль);
- факторы владения (что-то, что есть у пользователя, например, телефон или токен безопасности);
- факторы неотъемлемости (что-то, чем является пользователь, например, отпечаток пальца или распознавание лица).

Виртуальная частная сеть (VPN) необходима для защиты связи между удаленными сотрудниками и корпоративными системами. VPN создают зашифрованный туннель, через который все данные, передаваемые между пользователем и корпоративной сетью, защищены от перехвата.

Кроме того, для внутреннего обмена сообщениями, видеозвонков и обмена файлами следует использовать защищенные средства связи. Эти средства должны обеспечивать сквозное шифрование для предотвращения несанкционированного доступа к конфиденциальным сообщениям.

Безопасность конечных точек и управление

устройствами. Удаленная работа увеличивает количество конечных точек, подключенных к корпоративным системам, каждая из которых может быть потенциальной точкой входа для злоумышленников. Решения по безопасности конечных точек, такие как антивирусное программное обеспечение, брандмауэры и системы обнаружения вторжений, должны быть установлены на каждом устройстве, используемом для удаленной работы.

Компании также должны внедрять решения по управлению устройствами для мониторинга и контроля устройств, получающих доступ к корпоративным ресурсам. Решения по управлению мобильными устройствами (MDM) или обнаружению и реагированию на конечные точки (EDR) могут обеспечивать соблюдение политик безопасности, таких как обязательное шифрование, автоматические обновления и удаленное стирание данных с утерянных или украденных устройств.

Шифрование конфиденциальных данных необходимо для защиты их от несанкционированного доступа, особенно при передаче через Интернет. Сквозное шифрование гарантирует, что данные остаются в безопасности во время передачи и хранения, делая их нечитаемыми для кого-либо без надлежащего ключа дешифрования.

Шифрование должно применяться к файлам, хранящимся локально на устройствах сотрудников, а также к файлам, передаваемым между сотрудниками и корпоративной сетью. Облачные решения для хранения данных также должны включать протоколы шифрования для защиты данных, хранящихся удаленно.

Осведомленность о безопасности и обучение. Человеческая ошибка остается одной из основных причин нарушений безопасности. Чтобы снизить этот риск, организации должны проводить постоянное обучение сотрудников по вопросам безопасности. Программы обучения должны охватывать такие темы, как:

- распознавание попыток фишинга;
- защита паролей и использование менеджеров паролей;
- избегание общественного Wi-Fi для рабочих задач;
- обеспечение обновления и безопасности устройств.

Сотрудникам следует регулярно напоминать об их роли в поддержании безопасности удаленной рабочей среды.

Постоянный мониторинг сети и конечных

точек необходим для обнаружения любых подозрительных действий или нарушений. Системы управления информацией и событиями безопасности (SIEM) могут объединять журналы и предоставлять анализ в реальном времени, предупреждая администраторов о любых потенциальных угрозах.

В дополнение к мониторингу в реальном времени следует проводить регулярные аудиты безопасности для оценки уязвимостей и обеспечения актуальности всех систем и протоколов.

Модель Zero Trust — это передовой подход к безопасности, который предполагает, что ни один пользователь или устройство, внутри или вне сети, не могут быть доверенными по умолчанию. Каждый запрос на доступ к системе должен быть аутентифицирован, авторизован и зашифрован. Такой подход минимизирует риск внутренних и внешних угроз за счет постоянной проверки личности каждого пользователя и состояния безопасности устройства.

Резервное копирование и аварийное восстановление. В случае кибератаки, например, атаки с использованием программ-вымогателей, крайне важно иметь надежный план резервного копирования и аварийного восстановления. Регулярное резервное копирование данных в безопасные удаленные хранилища гарантирует, что даже если данные будут скомпрометированы, их можно будет восстановить с минимальными перебоями. Автоматизированные решения для резервного копирования должны быть интегрированы в систему, чтобы гарантировать, что никакие критически важные данные не будут потеряны.

Будущее безопасности удаленной работы. Поскольку удаленная работа становится все более распространенной, организации должны продолжать адаптировать свои стратегии безопасности, чтобы идти в ногу с меняющимися угрозами. Новые технологии, такие как искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО), вероятно, сыграют значительную роль в улучшении обнаружения и предотвращения угроз безопасности в удаленных рабочих средах.

Решения на основе ИИ могут анализировать модели поведения пользователей для обнаружения аномалий, которые могут указывать на нарушение безопасности, в то время как алгоритмы МО могут помочь идентифицировать и нейтрализовать новые и развивающиеся угрозы в режиме реального времени [10].

Программа, которая обеспечивает сетевую безопасность компьютера и защищает его от

внешних угроз. Она выполняет множество функций, которые обеспечивают безопасность сети. Одна из главных функций Firewall - блокирование доступа к внешним ресурсам, таким как сайты и приложения, которые могут представлять угрозу для компьютера. Она также контролирует входящий и исходящий трафик, что позволяет обнаруживать и блокировать любые попытки несанкционированного доступа к компьютеру [11].

Кроме того, Firewall может контролировать доступ к локальным ресурсам, таким как принтеры и файловые серверы. Это означает, что только уполномоченные пользователи могут получить доступ к этим ресурсам, что повышает безопасность и защищает их от несанкционированного доступа.

Firewall является первой линией защиты от внешних угроз, таких как хакерские атаки, вирусы и шпионское ПО [12]. Она позволяет обнаруживать и блокировать любые попытки вторжения в компьютер, что защищает важные данные и личную информацию пользователя. Все это делает Firewall незаменимым инструментом для защиты компьютера и данных от внешних угроз.

VPN (виртуальная частная сеть). Важный инструмент, обеспечивающий безопасность при подключении к интернету. Как вы, наверняка, знаете, при передаче данных по сети Интернет существует риск, что эти данные могут быть перехвачены третьими лицами и использованы в злонамеренных целях. Вот где VPN приходит на помощь! Он защищает данные, которые вы передаете через Интернет, от прослушивания и вмешательства со стороны злоумышленников.

Кроме того, VPN дает возможность работать с корпоративной сетью из любой точки мира. Это значит, что вы можете работать из дома, из кафе или даже из другой страны, и при этом быть уверенным в безопасности своих данных.

Важно отметить, что VPN не только защищает вас при работе с онлайн-банками, электронными почтовыми сервисами, социальными сетями, интернет-магазинами и другими онлайн-сервисами, но и позволяет обходить блокировки различных ресурсов в Интернете. Таким образом, вы можете свободно пользоваться интернетом, не беспокоясь о том, что ваши данные окажутся в опасности [13].

Антивирусное программное обеспечение (ПО) является очень важным инструментом для защиты компьютера от вирусов и других вредоносных программ. Оно работает путем обнару-

жения и блокирования вирусов и других вредоносных программ, которые могут проникнуть на компьютер и вызвать разнообразные проблемы, такие как потеря данных и снижение производительности. Без антивирусного ПО компьютер находится в большой опасности, так как он может быть легко заражен всевозможными вирусами и вредоносным ПО, которые могут привести к сбоям в работе системы и к потере важных данных [14,15].

Кроме того, антивирусное ПО нуждается в регулярном обновлении, чтобы обеспечить максимальную защиту от новых видов вирусов и вредоносных программ. Это важно, потому что вирусы и другие вредоносные программы постоянно развиваются и изменяются, и без регулярных обновлений антивирусное ПО может не справляться с новыми угрозами. Поэтому необходимо регулярно проверять наличие обновлений и обновлять антивирусное ПО, чтобы обеспечить максимальную защиту компьютера [3].

Система мониторинга — это программа, которая контролирует действия сотрудников на рабочем месте. Система мониторинга позволяет обнаруживать и предотвращать утечку конфиденциальных данных, контролировать доступ к корпоративной информации, отслеживать использование личных устройств для работы и многое другое. Система мониторинга является важной частью системы защиты автоматизированного рабочего места сотрудника организации в режиме удаленной работы.

Заключение

Разработанная система защиты автоматизированного рабочего места сотрудника научно-исследовательской организации в режиме удаленной работы обеспечивает безопасность информации и предотвращает утечку конфиденциальных данных при использовании удаленного режима работы. Эта уникальная система представляет собой совокупность инновационных технологий, которые гарантируют надежную защиту данных организации. Одним из ключевых преимуществ разработанной системы является повышение безопасности информации и защита от внешних угроз. Благодаря такой системе организация может контролировать действия своих сотрудников, что уменьшает вероятность утечки в том числе и конфиденциальных данных.

Разработка системы защиты может стать дополнительным преимуществом организации при работе с партнерами. Партнеры всегда хотят

знать, что их данные находятся в надежных руках, поэтому наличие такой системы позволит продемонстрировать высокий уровень безопасности информации и повысить доверие к организации. Кроме того, такая система позволяет быть готовой к любым возможным угрозам и быстро реагировать на них.

Наконец, стоит отметить, что система защиты автоматизированного рабочего места является необходимой составляющей при использовании удаленного режима работы. Она позволяет защитить организацию от возможных утечек данных, сохраняет конфиденциальность информации и обеспечивает безопасность сотрудников. В целом, разработанная система является эффективным инструментом защиты данных и повышения безопасности при удаленной работе.

Благодарности (Acknowledgements)

Эта работа была выполнена в рамках государственного задания по теме № FNNN-2024-0016.

Список литературы

1. Малышенко В.В. Построение системы защиты информации автоматизированных систем управления технологическим процессом предприятия / В.В. Малышенко, Д.А. Сычев // Кокс и химия, 2024. – № 3. – С. 74-80. – DOI: 10.52351/00232815_2024_3_74
2. Карантаев В. Система защита информации (ЗИ) как составная часть АСУ ТП / В. Карантаев // Журнал "ИСУП", 2017. – № 2(68). – С. 33-35.
3. Резников Ю.Г. Построение эффективных систем информационной безопасности АСУ ТП на базе комплексного подхода / Ю.Г. Резников // Технологии безопасности, 2012. – № 3. – С. 46-49.
4. Корниенко А.А. Защита от несанкционированного доступа мобильных устройств при применении концепции BYOD / А.А. Корниенко, С.В. Корниенко, Н.С. Разживин // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы, 2024. – № 1(58). – С. 50-61. – DOI: 10.48612/jisp/fnpp-pxm4-rvxz
5. Артонкина Н.В. Многоликий специалист по защите информации / Н.В. Артонкина // Управление развитием персонала, 2024. – № 1. – С. 46-55.
6. Чекмарев Д.Ю. Методы аутентификации и защиты информации на удаленных рабочих местах / Д.Ю. Чекмарев, С.Ю. Борзенкова, Е.М. Баранова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2024. – № 3. – С. 111-113. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-111-112
7. Корнеев А.В. Повышение безопасности систем удаленного администрирования: Защита

- информации / А.В. Корнеев, М.М. Коккоз, А.К. Смагулова // Киберленинка, 2022. – № 5(98). – С. 59-66.
8. Нуриев С.А. Совершенствование цифровых каналов связи / С.А. Нуриев, И.Н. Карцан // Защита информации. Инсайд, 2023. – № 5(113). – С. 5-9.
9. Нуриев С.А. Обеспечение безопасности конфиденциальной информации компании при удаленном доступе сотрудника / С.А. Нуриев, И.Н. Карцан // Современные инновации, системы и технологии, 2023. – Т. 3. № 2. – С. 234-242. – DOI: 10.47813/2782-2818-2023-3-2-0234-0242
10. Григорьева Н.М. Атаки на модели данных систем машинного обучения / Н.М. Григорьева, С.А. Петренко, М.И. Ожиганова // Защита информации. Инсайд, 2023. – № 4(112). – С. 29-33.
11. Петренко А.С. О киберустойчивости и безопасности изобразительных нейросетей / А.С. Петренко, С.А. Петренко, М.И. Ожиганова // Защита информации. Инсайд, 2023. – № 6(114). – С. 50-54.
12. Ожиганова М.И. Архитектура безопасности киберфизической системы / М.И. Ожиганова // Защита информации. Инсайд, 2022. – № 2(104). – С. 5-9.
13. Сучков О.С. Методы оценки эффективности сохранения данных в android-приложениях / О.С. Сучков, Е.В. Ефимова, М.И. Ожиганова // Информатизация в цифровой экономике, 2022. – Т. 3. № 1. – С. 9-20. – DOI: 10.18334/ide.3.1.115221
14. Аверьянов В.С. О первичных технических устройствах и требованиях к ключам безопасности квантовых систем / В.С. Аверьянов, И.Н. Карцан // Вопросы кибербезопасности, 2023. – № 2(54). – С. 65-72. – DOI: 10.21681/2311-3456-2023-2-65-72
15. Карцан И.Н. Web-сервис для организации аутентификации по графическому паролю / И.Н. Карцан // Естественные и технические науки, 2023. – № 6(181). – С. 19-21.

References

1. Malyschenko V.V., Sychev D.A. Construction of the information protection system of the automated control systems of the technological process of the enterprise. *Coke and Chemistry*, 2024, № 3, pp. 74-80. DOI: 10.52351/00232815_2024_3_74
2. Karantaev V. Information Protection System (IPS) as an integral part of the ACS. *Journal "ISUP"*, 2017, № 2(68), pp. 33-35.
3. Reznikov Yu.G. Building effective systems of information security of automatic process control systems on the basis of the complex approach. *Security Technologies*, 2012, № 3, pp. 46-49.
4. Kornienko A.A., Kornienko S.V., Razzhivin N.S. Protection from unauthorized access of mobile devices when applying the BYOD concept. *Problems of information security. Computer systems*, 2024, № 1(58), pp. 50-61. DOI: 10.48612/jisp/fnpp-pxm4-

rvxz

5. Artonkina N.V. Many-faced information protection specialist. *Personnel Development Management*, 2024, № 1, pp. 46-55.
6. Chekmarev D.Yu., Borzenkova S.Yu., Baranova E.M. Methods of authentication and information protection at remote workplaces. *Izvestia Tula State University. Technical Sciences*, 2024, № 3, pp. 111-113. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-111-112
7. Korneenkov A.V., Kokkoz M.M., Smagulova A.K. Improving the security of remote administration systems: Information protection. *Cyberleninka*, 2022, № 5(98), pp. 59-66.
8. Nuriev S.A., Kartsan I.N. Improvement of digital communication channels. *Information protection. Inside*, 2023, № 5(113), pp. 5-9.
9. Nuriev S.A., Kartsan I.N. Ensuring the security of confidential information of the company at remote access of the employee. *Modern Innovations, Systems and Technologies*, 2023, Vol. 3, № 2, pp. 234-242. DOI: 10.47813/2782-2818-2023-3-2-0234-0242
10. Grigorieva N.M., Petrenko S.A., Ozhiganova M.I. Attacks on data models of machine learning systems. *Information Protection. Inside*, 2023, № 4(112), pp. 29-33.
11. Petrenko A.S., Petrenko S.A., Ozhiganova M.I. On cyber resistance and security of imaging neural networks. *Information Protection. Inside*, 2023, № 6(114), pp. 50-54.
12. Ozhiganova M.I. Security architecture of the cyber-physical system. *Information protection. Inside*, 2022, № 2(104), pp. 5-9.
13. Suchkov O.S., Efimova E.V., Ozhiganova M.I. Methods for evaluating the efficiency of data saving in android applications. *Informatization in Digital Economy*, 2022, Vol. 3, № 1, pp. 9-20. - DOI: 10.18334/ide.3.1.115221
14. Averyanov V.S., Kartsan I.N. About primary technical devices and requirements to security keys of quantum systems. *Voprosy cybersecurity*, 2023, № 2(54), pp. 65-72. DOI: 10.21681/2311-3456-2023-2-65-72
15. Kartsan I.N. Web-service for organizing authentication by graphical password. *Natural and Technical Sciences*, 2023, № 6(181), pp. 19-21.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 620.92

Установки на основе возобновляемой энергетики для обеспечения морской инфраструктурыИ.Д. Артеменко¹, В.Н. Стрижак¹, А.Н. Фролова¹, А.Г. Косий¹, А.Д. Касницкий¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, ¹ leftysingle@gmail.com

Статья поступила 19.09.2024 г.; после доработки 20.09.2024 г.

Аннотация

Для генерации электрической энергии предложены энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии, возможности которых позволяют обеспечивать работу вспомогательного оборудования припортовых сооружений, экономить органические топлива и улучшать экологию курортного региона г. Севастополя. Для обеспечения припортовой инфраструктуры предложены ветровые и волновые станции, а также фотоэлектрические преобразователи.

Ключевые слова: ветровая электроустановка, фотоэлектрическая батарея, электроснабжение припортовой инфраструктуры, волновые преобразователи.

Renewable energy installations for providing marine infrastructure

I.D. Artemenko, V.N. Strizhak, A.N. Frolova, A.G. Kosiy, A.D. Kasnitsky

Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, ¹ leftysingle@gmail.com

Received 19.09.2024 y.; received in final form 20.09.2024 y

Abstract

To generate electrical energy, power plants based on renewable energy sources have been proposed, the capabilities of which make it possible to ensure the operation of auxiliary equipment of port facilities, save fossil fuels and improve the ecology of the resort region of Sevastopol. To provide port infrastructure, wind and wave stations, as well as photoelectric converters, have been proposed.

Key words: wind power plant, photovoltaic battery, power supply of port infrastructure, wave converters.

Введение

Для энергоснабжения приморского региона требуется большое количество энергии, как тепловой, так и электрической. Для её генерации необходимо значительное количество органического топлива. В крымском регионе, а также в городе Севастополе, основная масса углеводородов транспортируется с материковой части Рос-

сии. Преобразование органики способствует значительному количеству вредных выбросов, что ухудшает экологическую обстановку в курортном регионе и увеличивает негативную нагрузку на всю рекреационную систему.

Важную роль в промышленных отраслях Крыма играет обеспеченность поставок необходимых материалов и оборудования через порты полуострова, что также влияет на экологию ку-

портов и пляжей региона. Большая часть поставок проходит через припортовую инфраструктуру Севастополя и других портов Крыма. Порты Крыма на протяжении долгого времени были ориентированы на обслуживание, прежде всего, пассажиров, так как весь регион выполнял функцию всесоюзного курорта. Непосредственно порт Севастополь – это исторически основная база военно-морского флота СССР, что наложило существенный отпечаток на развитие его мощностей. Тем не менее, в Севастополе находился и крупный пассажирский морской терминал, имеются до сих пор грузовые мощности, в частности здесь получил развитие Севастопольский морской рыбный порт. Морской порт Севастополь – это относительно крупный порт региона, который традиционно не специализировался на морских грузовых перевозках. Севастопольский морской порт расположен на Черном море в юго-западной части Крымского полуострова (рис. 1).



Рис. 1. Схема акватории Севастопольского морского порта

В работе припортовой инфраструктуры Севастополя используется развитая инфраструктура, включающая железнодорожные и подкрановые пути, автомобильные дороги, инженерные сети и ремонтные базы. Схема акватории Севастопольского порта представлена на рисунке 1.

Производственные мощности ГУП ГС «Севастопольский морской порт» (СМП) располагаются по всей территории города Севастополя. Основные производственные мощности представлены на рисунке 2.

Инфраструктура порта включает в себя пассажирские и грузовые причалы, складские помещения, терминалы и другое. Ниже представлены наиболее крупные сооружения для которые целесообразно рассматривать повышение энергоэффективности. В состав МСП входит и нефтеперевалочный терминал, основными услугами которого являются: перевалка нефтепро-

дуктов, контроль качества и количества нефтепродуктов, хранение горюче смазочных материалов, хранение нефтепродуктов, документальное оформление грузов. Нефтеперевалочный терминал представляет собой органичную со своими службами и специализированными подразделениями структуру (рис. 3). Мазут разных марок и сырая нефть поставляется по железной дороге.



Рис. 2. Схема расположения основных производственных мощностей ГУП СМП



Рис. 3. Внешний вид на Камышовую бухту

Постановка задачи

Ключевой составляющей для работы предприятия является электроснабжение. Рассмотрим наиболее развитые области альтернативной электроэнергетики для определения приоритетных направления для дальнейшего рассмотрения и оценки возможности внедрения в ГУПГС "СМП". На данный момент в мировой практике для электроснабжения широкое применение находят фотоэлектрические, ветровые и морские

волновые электростанции [1]. Использование энергии Солнца, ветра, морских волн на сегодняшний день имеет значительные преимущества в связи с сокращением использования органических топлив и уменьшения вредным выбросов в атмосферу морских портов и курортно-рекреационных комплексов [2]. Общим достоинством таких электростанций является возможность сокращения использования и транспортировки углеводородов, затраты на которые очень велики. Целью проведенной работы являлось рассмотреть возможность обеспечения припортовой инфраструктуры электрогенерирующими автономными установками на основе возобновляемых источников энергии [3]. В представленной работе были предложены фотоэлектрические, ветровые и волновые преобразователи и гибридные устройства на их основе.

Результаты исследования

Солнечные электростанции

Одним из перспективнейших направлений использования солнечной энергетики является применения фотоэлектрических систем (ФЭС) - систем прямого преобразования световой энергии солнечного излучения в электричество. Преимущества ФЭС прямого преобразования состоят в том, что они не имеют движущихся механических частей, не нуждаются в воде или другом теплоносителе [4]. В зависимости от конструктивного исполнения практически не нуждаются в обслуживании [5]. В настоящее время в результате использования новых полупроводниковых материалов, повышения их коэффициента полезного действия, удешевления стоимости и качественного улучшения характеристик стало возможным более широкое применение фотоэлектрических преобразователей и реализованных на их основе солнечных батарей [6]. Теперь, рассмотрим, основные компоненты системы СЭС: солнечные батареи – именно это устройство будет генерировать электроэнергию, которую будет использовать потребитель, контроллер заряда аккумуляторных батарей – данный прибор необходим для правильного заряда аккумуляторных батарей, что влечет за собой, увеличение их срока службы, аккумуляторные батареи – для данных систем используются свинцово-кислотные аккумуляторные батареи глубокого разряда, наиболее эффективно себя зарекомендовали аккумуляторные батареи, выполненные по технологии GEL, инвертор/блок бесперебойного питания – сердце системы, прибор, основной функцией которого является преобразование

постоянного тока из аккумуляторных батарей в переменный ток напряжением 220В, также весь контроль и автоматизация системы идет через настройку блока бесперебойного питания.

Принцип работы системы: солнечные батареи или другой альтернативный источник энергии заряжают аккумуляторные батареи, уровень заряда и силу тока отслеживает контроллер заряда, вся энергия накапливается в аккумуляторах и отдается в нагрузку. При отсутствии генерации энергии от ВИЭ (возобновляемый источник энергии) нагрузка питается от аккумуляторных батарей, постоянный ток из аккумуляторных батарей преобразуется в переменный ток 220В, с помощью инвертора/блока бесперебойного питания (рис. 4).

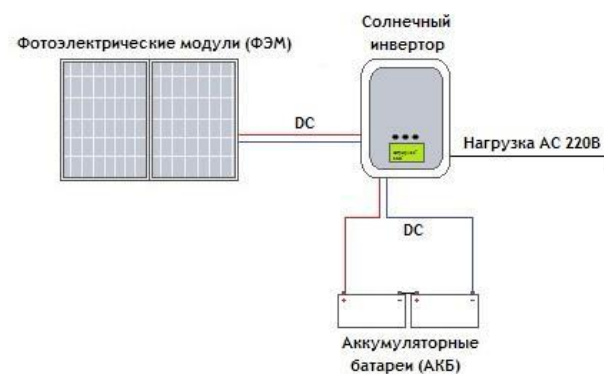


Рис. 4. Схема работы автономной системы электроснабжения

Проведённые исследования показали, что при введении в эксплуатацию предложенной солнечной электростанции, стало бы возможно импортировать с территории Краснодарского края на 8% меньше электроэнергии. Данное решение позволит сократить потери энергии через энергопотери, (который также является морской инфраструктурой) в эксплуатацию внедрится новое оборудование, которое улучшит состояние энергосистемы Крыма. Установка и солнечных панелей позволяет не только экономить традиционные энергоресурсы, но и способствует значительному уменьшению вредных выбросов в атмосферу и улучшает экологическую составляющую прибрежной зоны. Если речь идёт об электроснабжении малых припортовых сооружений, находящегося на участке, отдалённом от централизованного электроснабжения, то возможен вариант снабжения электричеством от автономных установок. Вариант создания собственной автономной системы электроснабжения позволяет являться независимым от центральной сети и связанных с ней проблем с подключением и обслуживанием. Так же данный вариант может

являться единственным из-за отсутствия возможности подключения к сетям централизованного электроснабжения. Схема электроснабжения автономной солнечной генерации, представленная на рисунке 4 позволяет в короткий срок обеспечить объект.

Ветроэлектрические установки

Мировой опыт использования ветроэнергетических установок (ВЭУ) показал, что конструктивно ветроэнергетическая установка может обеспечивать малой генерацией небольшие объекты припортовой инфраструктуры. Любая ВЭУ состоит из ветродвигателя (ВД), машинного отделения, опоры. Ветродвигатель непосредственно преобразует энергию ветрового потока в механическую, которая в дальнейшем используется для привода машин (например, насосов) или трансформируется в электрическую энергию [2]. Ветродвигатели, используемые в качестве привода электрического генератора ВЭУ, делятся на два основных типа:

- горизонтально-осевые (ГО), характеризующиеся коллинеарностью вектора угловой скорости вращения ветродвигателя и аксиальной составляющей вектора скорости ветрового потока (рис. 5, слева).
- вертикально-осевые (ВО), характеризующиеся ортогональностью вектора угловой скорости вращения ветродвигателя и аксиальной составляющей вектора скорости ветрового потока (рис. 5, справа).



Рис. 5. Общий вид ВЭУ с горизонтально-осевым ротором (слева), с вертикально-осевым ротором (справа).

Ветрогенераторы не могут поставлять электричество в домашнюю сеть непосредственно, поскольку скорость ветра непостоянна. Ни одно электрооборудование не будет работать при столь больших скачках напряжения, а в период безветрия, потребители вообще могут остаться без электричества. Ветрогенераторы вырабатывают так называемое «грязное» электричество,

которое еще нужно привести к сетевым параметрам 220 В/50 Гц. А это возможно только посредством аккумуляторного блока, в котором будет накапливаться и храниться электричество. В целом схема автономного электроснабжения с ВЭУ (рис. 6) выглядит следующим образом: ветрогенератор – контроллер заряда – блок аккумуляторных батарей АКБ – инвертор.

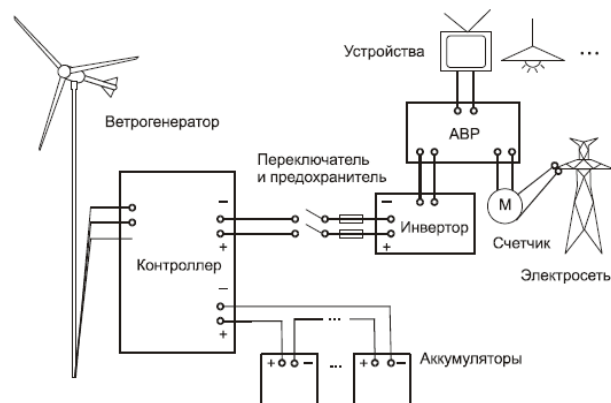


Рис. 6 Общая схема автономного электроснабжения с ВЭУ с подключением к централизованной сети

На сегодняшний день вертикальные ветрогенераторы являются одной из самых эффективных разработок. Основными преимуществами вертикальных ветрогенераторов является простота монтажа, доступность во время эксплуатации и круглогодичная работа без снижения производительности в осенне-зимний период, а также меньшее количество шума по сравнению с горизонтальными ветроустановками. Оснащение ветровыми установками с вертикальным расположением ротора позволяет значительно увеличить эффективность преобразования ветрового потока и обеспечить необходимые характеристики генерируемой электроэнергии.

Волновые электростанции

Волновая энергетика – одно из направлений альтернативной гидроэнергетики, использующей энергию морских и океанических волн и течений. Волновая энергетика является одним из наиболее перспективных секторов возобновляемых источников энергии т. к. энергия волн океанов превосходит по удельной мощности как ветровую, так и солнечную энергию.

Волновая электростанция – установка, расположенная в водной среде, целью которой является получение электричества из кинетической энергии волн. Волновые электростанции являются одними из самых чистых, безотходных и безопасных источников электроэнергии. Неза-

висимо от принципа работы, подавляющее большинство волновых энергетических установок представляют собой сооружение, состоящее из трех основных частей: рабочего органа, силового преобразователя, системы крепления [1]. Существует множество различных способов генерации электрической энергии из механической работы волновой активности, однако на сегодняшний день эффективное применение нашли три основных принципа: принцип «осциллирующего водяного столба» – волновая энергоустановка представляет собой камеру, нижняя открытая часть которой погружена под низший уровень воды (впадины волны), принцип «колеблющегося тела», рабочий орган таких установок – поплавков, находится на поверхности моря и совершает вертикальные колебания, в соответствии с изменениями уровня воды при ветровом волнении. Примеры используемых таких станций представлены на рисунке 7.



Рис. 7. Волновые установки (сверху: Power Buoy PB-150, снизу волновой преобразователь с подвижными элементами)

На некоторых установках, работающих по принципу «колеблющегося тела», вместо буйка используются ряд подвижных элементов, которые двигаются относительно друг друга, это приводит в работу гидравлические поршни между ними (рис. 7 справа).

Поршни, в свою очередь, приводят в движение масло, которое проходит через гидравлические двигатели, приводящие в движение электрические генераторы. Первый промышленный

вариант волновой электростанции, работающей по такому принципу, был введен в эксплуатацию в 2008 году в 5 километрах от берега в городе Повау-ди-Варзин в Португалии.

Третий принцип – это установка с «искусственным атоллom» – сооружение состоящие из бетонного корпуса, на котором размещаются поверхности наката волн. В средней части энергоустановки располагается накопительный резервуар (бассейн), с водоприемным отверстием, через которое вода поступает на гидротурбину. Генератор устанавливается в верхней части сооружения. Для поднятия воды в бассейн, расположенный выше уровня моря, используется эффект набегания волны на отлогую поверхность. Для этого рабочая поверхность устраивается в виде наклонного, суживающегося кверху лотка (рис. 8).

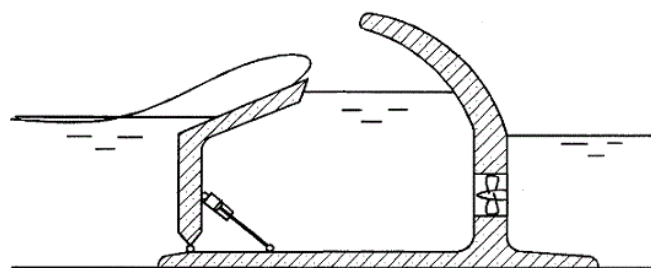


Рис. 8. Схема установки с «искусственным атоллom»

Установка, включающая наклонную плоскость с углом наклона 30° , обеспечивает поднятие уровня на 2,5 м при средней высоте волны 1,5 м. Тем самым создаётся запас потенциальной энергии, которую превращают затем по мере надобности в электроэнергию путём пропускания воды обратно в море через гидротурбину.

В России волновая энергетика делает только первые шаги. В ноябре прошлого года, на полуострове Гамова в Приморском крае, была запущена первая в нашей стране волновая электростанция. Инициаторами этой идеи стали ученые Уральского федерального университета и исследователи Тихоокеанского океанологического института при Дальневосточном отделении Российской Академии Наук. Удельная мощность волн черноморского побережья, также позволяет эффективно использовать волновые энергетические установки. Установки с искусственным атоллom, расположенные на берегу, имеют преимущества перед другими типами волновых установок, т.к. исключаются трудности, связанные с их обслуживанием и ремонтом. Кроме того, сводится к минимуму риск повреждения

гидрооборудования, в отличие от, принципа «колеблющегося тела».

Гибридные электростанции

Значительный экономический эффект получается от автономных гибридных электростанций (АГЭ), использующих, как возобновляемые, так и традиционные источники электроэнергии для обеспечения припортовой инфраструктуры [3]. Оптимальным вариантом АГЭ является система, содержащая несколько источников генерации электроэнергии, два из которых являются возобновляемыми (как правило, солнечная и ветровая электростанции), а один традиционный – газопоршневые или дизельные электростанции. Типовая структурная схема АГЭС приведена на рисунке 9.

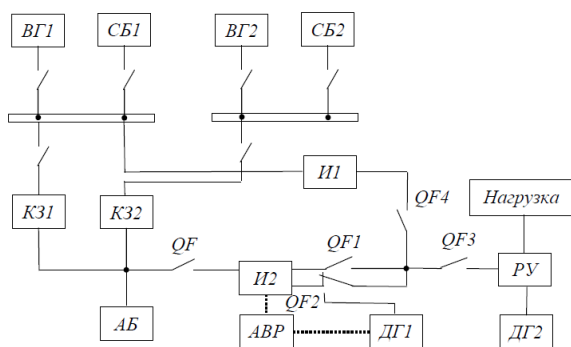


Рис. 9 Структурная схема АГЭ: ВГ1, ВГ2 – ветрогенераторы; СБ1, СБ2 – солнечные батареи; КЗ1, КЗ2 – контроллеры заряда АБ; АБ – аккумуляторные батареи; И1, И2 – инверторы; АВР – устройство автоматического включения резерва; ДГ1, ДГ2 – дизель-генераторы; РУ – распределительное устройство.

Реальной возможностью улучшения технико-экономических показателей автономных систем электроснабжения является использование возобновляемых источников энергии. Особое место здесь принадлежит солнечной энергетике – солнечным фотоэлектрическим станциям, разработке на их базе автономных гибридных электростанций. Однако волновые ветровые установки также эффективны, особенно для прибрежных территорий, характеризующихся высокой и постоянной скоростью ветрового потока и хорошим волновыми характеристиками.

Выводы

В результате проведенных исследований были предложены различные варианты обеспечения дополнительными электрическими мощностями автономных потребителей припортовой

инфраструктуры.

Предложено использовать для энергоснабжения припортовых потребителей фотоэлектрическими, ветровыми или волновыми генерирующими системами, особенно важно использование гибридных установок с традиционными источниками электроснабжения.

Использование солнечных панелей, ветроэлектрических установок для генерации электроэнергии позволяет уменьшить вредные выбросы в курортном крымском регионе и позволяет улучшить экологическую составляющую.

Список литературы

1. Гушч Ю.В. Волновая энергетика – перспективный сектор возобновляемых источников энергии /Статья - Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016.
2. Обухов С.Г. Автономные системы электроснабжения- Методические указания/Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2020.
3. Клеутин В.И., Руппель А. Задачи системы электроснабжения судна от береговой сети - Стаття/Омск, Сибирский государственный университет водного транспорта: Омск, 2016.
4. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 397 с.
5. Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции результатов измерения вольтамперной характеристики (МЭК 891-87) : ГОСТ 28976-91. – [Введ. 19.04.91]. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 42 с. – (Национальный стандарт России).
6. Кувшинов В.В., Морозова Н.В. / Возможности повышения мощностных характеристик солнечных установок для использования в энергетике Крыма // М.: Спутник+, 2017. 175 с.

References

1. Gushch Yu.V. Wave energy – a promising sector of renewable energy sources /Article - St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2016.
2. Obukhov S.G. Autonomous power supply systems - Methodological guidelines/Tomsk : Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2020.
3. Kleutin V.I., Ruppel A. Tasks of the ship's electrical supply system from the coastal network - Station/Omsk, Siberian State University of Water Transport: Omsk, 2016.
4. Rauschenbach G. Handbook of Solar Cell Design. M.: Energoatomizdat, 1983. 397 p.
5. Photovoltaic devices made of crystalline silicon. The method of correction of the results of measuring

the voltage characteristic (IEC 891-87) : GOST 28976-91. - [Introduction. 04/19/91]. – Moscow: IPK Publishing House of stan-dartov, 2004. – 42 p. – (National Standard of Russia).

6. 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.

УДК 620.92

Повышение эффективности комбинированных фотоэлектрических систем за счёт охлаждения

М.Н. Аль-Малики, Н.А. Шахова, В.В. Кувшинов, Б.А. Якимович,
В.В. Смирнов

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, hassamal817@gmail.com, nvshakhova@mail.sevsu.ru, VVKuvshinov@mail.sevsu.ru, yakimovich52@gmail.com, vvsmirnov@mail.sevsu.ru

Статья поступила 26.08.2024 г.; после доработки 27.08.2024 г.

Аннотация

При работе комбинированных термофотоэлектрических установок с системами охлаждения происходит преобразование потока солнечной радиации в тепловую и электрическую энергию со значительным повышением коэффициента преобразования.

Ключевые слова: фотоэлектрическая панель, термофотоэлектрическое преобразование, солнечная энергия, теоретическая модель, солнечный преобразователь.

Improving the efficiency of combined photovoltaic systems by cooling

M.N. Al-Maliki, N.A. Shakhova, V.V. Kuvshinov, B.A. Yakimovich,
V.V. Smirnov

Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, hassamal817@gmail.com, nvshakhova@mail.sevsu.ru, VVKuvshinov@mail.sevsu.ru, yakimovich52@gmail.com, vvsmirnov@mail.sevsu.ru

Received 26.08.2024 y.; received in final form 27.08.2024 y.

Annotation

When combined thermophotovoltaic installations with cooling systems are operating, the flow of solar radiation is converted into thermal and electrical energy with a significant increase in the conversion coefficient.

Keywords: photovoltaic panel, thermal photovoltaic conversion, solar energy, theoretical model, solar converter

Введение

Основная цель этого экспериментального и теоретического исследования — анализ информации о влиянии температурных факторов на работу фотоэлектрических панелей при определенных условиях эксплуатации [1]. В исследование вошли три панели, две из которых охлаждались по двум новым конструкциям холодильных боксов для повышения уровня теплообмена между задней поверхностью фотоэлектрической панели и водой внутри холодильного бокса. Первый блок представляет собой первую базовую конструкцию, охлаждающую камеру без ребер

(NFCB), а другой представляет собой холодильную камеру с ребристыми ребрами (RFCB), в дополнение к третьей стандартной эталонной фотоэлектрической панели. Это исследование состоит из трех частей, в первой части, которая является начальной числовой частью, представлены результаты испытаний моделей, использующих фотоэлектрические панели с водно-гибридной системой [2], с целью выбора одной модели с лучшими характеристиками в зависимости от степени, в которой на эти характеристики влияет геометрическая форма (каналы коробки охлаждения, изменение теплового потока, а также изменение расхода теплоносителя (воды)).

В экспериментальной части изготавливалась конкретная модель, а затем проводились экспериментальные и численные испытания в идентичных условиях эксплуатации.

Постановка задач исследования

В представленной работе исследуется охлаждающий эффект фотоэлектрических панелей на водной основе при использовании специальных теплоносителей (наножидкостей) для конкретных условий эксплуатации. Две из трех использованных панелей охлаждались с помощью двух новых конструкций охладителей: цельного и ребристого. Исследование разделено на три раздела, причем в первом разделе показаны результаты испытаний пяти моделей, используемых для охлаждения фотоэлектрических панелей с использованием гибридной системы на водной основе [3].

Основная цель представленной работы теоретическая и практическая оценка влияния работы фотоэлектрических панелей на охлаждающий эффект комбинированной системы для повышения эффективности выработки тепловой и электрической энергии [4].

Предварительный численный анализ показал, что модель с RFCB, длиной ребер 30 мм и глубиной 10 мм достигла самой низкой средней температуры для фотоэлектрической панели и дренажа. Наибольший электрический КПД был достигнут при тепловом потоке 400 Вт/м^2 , а наименьший КПД наблюдался при тепловом потоке 1035 Вт/м^2 . Модель охладителя с оребрением превзошла модель охладителя без оребрения на 0,77% и 1,26% при воздействии тепловых потоков 400 Вт/м^2 и 1035 Вт/м^2 . Модель ребристого охладителя показала пиковую выходную мощность 0,142 Вт в 11:40 и 0,144 Вт в 14:30 при скорости воды 0,5 л/мин при проведении исследований.

Одной из задач работы было проведение анализа наиболее эффективных способов преобразования солнечной энергии и получение максимального количества энергии при работе фотоэлектрических установок за счет повышения эффективности фотоэлектрического элемента методами охлаждения [5].

Результаты исследований

В последние годы ученые пытались создать таксономию, которая классифицирует различные разновидности фотоэлектрических систем [6-8]. Их исследование было сосредоточено на

обзоре самых последних достижений и внедрений в этой области, которые включали новые и традиционные разновидности, изображенные на рис. 1.



Рис. 1. Схема традиционных и альтернативных типов охлаждения термофотоэлектрических систем (PV/T)

Системы на жидкой основе

В этой категории используются трубки или пластины, которые крепятся к задней поверхности фотоэлектрической панели Тедлер (Tedlar), как показано на рисунке 2.

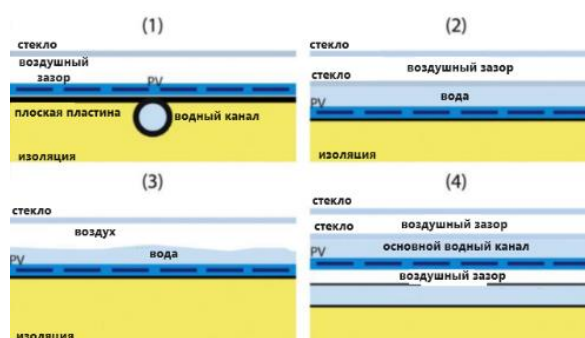


Рис. 2. Вид поперечного сечения некоторого типа фотоэлектрического теплового модуля (PV/T), охлаждаемого жидкостью

Назначение этих компонентов состоит в снижении температуры панели за счет регулирования прохождения охлаждающей жидкости, ко-

торой часто является вода, хладагент или наножидкости.

Системы воздушного охлаждения

В категории фотоэлектрических систем пассивного и активного режима используется воздух, проходящий через них [1, 6, 9]. Исследования показывают, что этот тип имеет тепловой КПД 35,1% и электрический КПД 14,1%, основываясь на экспериментальных исследованиях и численном моделировании, как показано на рисунке 3.

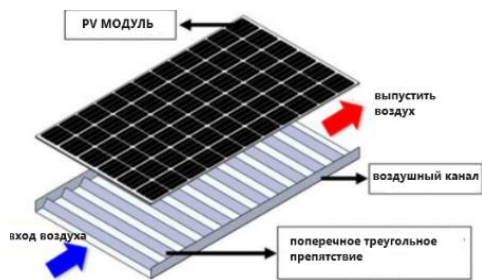


Рис. 3. Вид поперечного сечения некоторого типа фотоэлектрического теплового модуля (PV/T), охлаждаемого жидкостью

В исследованиях изучаются гибридные фотоэлектрические панели и тепловые коллекторы для одновременного производства электроэнергии и тепла. Аналитические испытания оценивают три конструкции компонентов абсорбера в гибридной фотоэлектрической системе с водяным охлаждением.

Спиральная конструкция поглотителей снизила потребление первичной энергии на 79-91%. Динамическая трехмерная численная модель оценила производительность гибридной системы PVT. Стеклопленочные покрытия уменьшают производство электроэнергии и тепловой энергии, одновременно увеличивая тепловую энергию [1]. Наножидкости повысили эффективность фотоэлектрических панелей, как показано на рисунке 4.

Внимание к технологиям поликристаллического кремния при производстве и разработке фотоэлектрических элементов возросло, а анализ солнечных панелей выявил их ключевые характеристики [9-11].

Это исследование требует тестирования пяти новых моделей холодильных камер. Первая представляет собой холодильную камеру с поперечными ребрами без ребер жесткости, в то время как остальные четыре модели классифицируются в соответствии с количеством ребер, добавленных к ребрам жесткости.

В этом тесте, в дополнение к изучению влияния количества ребер, изучается влияние глубины коробки и длины ребер для различных скоростей потока для каждого из хладагентов и солнечной радиации. В таблице 2 показаны свойства слоев, из которых состоит фотоэлектрическая панель.

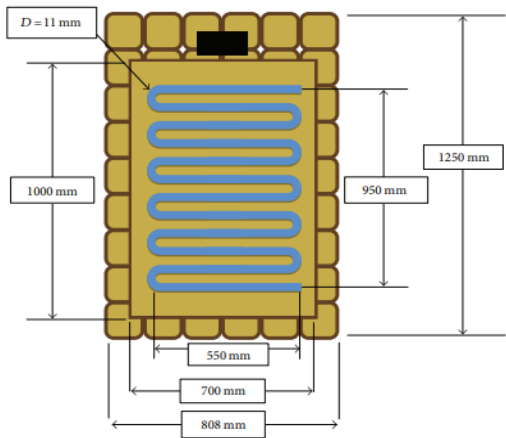


Рис. 4. Конструкция тепловой медной трубки, установленной на задней стенке фотоэлектрического блока

Таблица 1. Общая характеристика обычного фотоэлектрического модуля

Тип модели	MTS9BB50
Тип солнечного элемента	Poly 158×52 мм
Размеры модуля	465 × 670 мм
Номинальная мощность, Pmax	50 Вт
Количество элементов	32 (4 × 8)
Рабочая температура	-40°C to 85°C
Вес модуля	3,6 кг

Таблица 2. Характеристики фотоэлектрической панели.

Слой	Толщина (мм)	ρ (кг/м ²)	C_p (Дж/кг·К)	k (Вт/м·К)
(EVA)	0,025	950	2090	0,311
Стекло	3,00	3000	500	1,00
Тедлар (Tedlar)	0,05	1200	1250	0,15
Кремниевые элементы PV	0,30	2330	700	148

На рис. 5 показана схема экспериментальной установки. Основной раздел экспериментального теста посвящен определению результатов и совместимости со стандартами. Он включает в себя три фотоэлектрические панели от одного производителя.

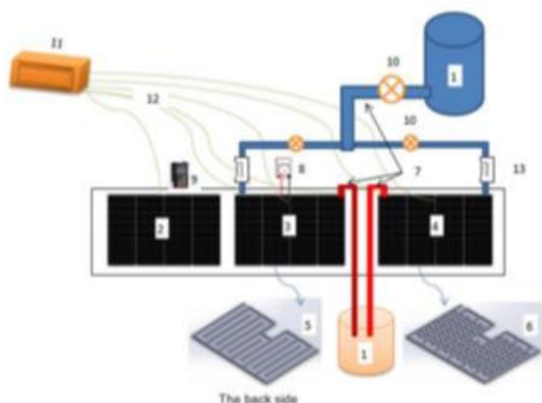


Рис. 5. Экспериментальная термофотоэлектрическая установка

Первая панель представляет собой обычную фотоэлектрическую панель без охлаждения, в то время как была изготовлена алюминиевая охлаждающая коробка и добавлена к задней стенке каждой из второй и третьей панелей, как показано на изображении, показанном на рис. 6, отмечая, что вторая панель состоит из перекрещенных ребер, образующих, таким образом, прямоугольные каналы размерами. Длина 45×10 мм от входа до выхода, в то время как третья панель состоит из тех же компонентов, что и вторая панель, с добавлением ребер или ребристостей с размерами $30 \times 10 \times 10$ мм, что соответствует длине * ширине * высоте (для одного ребра) с расстоянием 60 мм между каждыми двумя последовательными ребрами.



Рис. 6. Изображения алюминиевой охлаждающей камеры

Важность тестов заключается в получении множества выводов на основе извлечения данных и их сравнении для определения компетентности моделей, которые были протестированы, или для оценки эффективности базовой проце-

дуры или другой процедуры, связанной с тестируемой системой.

С помощью моделей NRFCB и RFCB исследовано распределение температуры традиционной панели и двух охладителей, а также распределение температуры теплоносителя от входа к выходу при различной интенсивности излучения ($400, 600, 813$ и 1035 Вт/м^2).) и различным значениям Q (0,3; 0,5; 1; 2; 3 и 4 л/мин). Распределение температур на поверхности панели вблизи входа в холодильное отделение распределяется неравномерно, но по мере приближения к середине панели они начинают соединяться. При $Q = 1-3$ л/мин уровни распределения становятся более равномерными: уровни 5, 4 и 3 при расходах 1, 2 и 3 л/мин соответственно. Однако при $Q = 4$ л/мин он менее однороден из-за появления горячих точек по краям и углам. Распределение температуры по поверхности охлаждающей воды более равномерное в половине выходной области, представляющей собой область сбора тепла при продолжении потока, особенно при Q , равном 0,3; 0,5 и 1 л/мин. На другой половине панели, расположенной возле входного отверстия, температура разбросана и менее равномерна, особенно в зоне ближе к середине холодильного отделения. Контурные графики на рис. 7 показывают температурное поведение, аналогичное приведенному выше. При плотности излучения 1035 Вт/м^2 результаты ничем не отличаются, за исключением появления некоторого незначительного шума в центральной области, особенно при Q , равном 0,3; 0,5 и 1 л/мин.

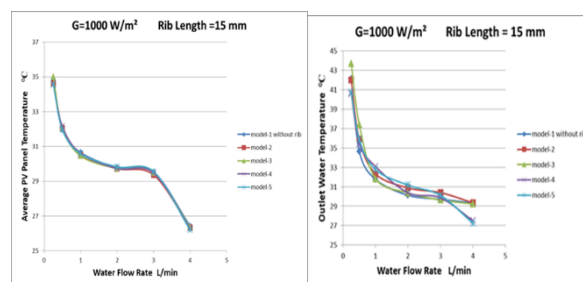


Рис. 7. Изменение температурных значений панели и расхода воды, при постоянном тепловом потоке

Изменение ТД обычной панели принимает форму единого распределения при различных интенсивностях излучения, подтверждая, что на изменение ТД охлаждаемой панели больше влияет скорость потока, чем интенсивность излучения. , как для панели, так и для охлаждающей

жидкости при освещенности 813 Вт/м^2 .

В ходе исследования были проанализированы характеристики модели фотоэлектрической панели холодильника (RFCB) и ее производительность при различных тепловых потоках (рис. 8). Модель RFCB с длиной ребра 30 мм достигла самого низкого уровня снижения температуры: снижение температуры составило 7,35% и 16,42% для низкого расхода и 1,96% и 4,56 для высокого потока при тепловом потоке 1000 Вт/м^2 .

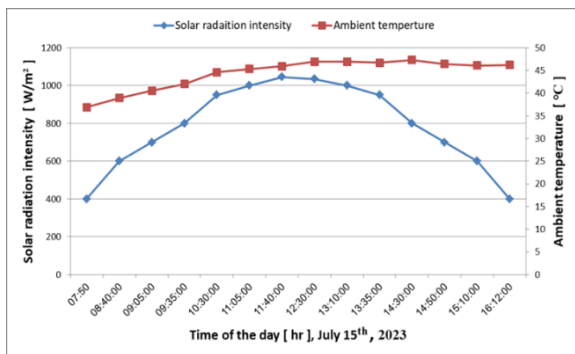


Рис. 8. Поведение теплового потока и температуры окружающего воздуха

При сравнении численных и экспериментальных результатов было обнаружено хорошее согласие с отклонением около 1,59% для NRFCB и 5,01% для RFCB. Как обычные, так и двухпанельные охладители достигли высокого электрического КПД при различных тепловых потоках, при этом модель RFCB показала самую высокую производительность (рис. 9).

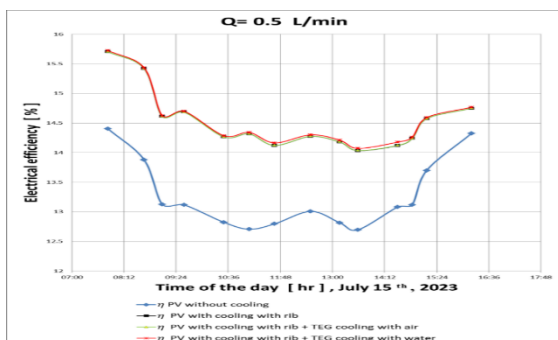


Рис. 9. Изменение электрического КПД для обычной фотоэлектрической панели

Добавление восьми ТЭГ к охлаждаемой панели улучшило производительность уровень повышения электрического КПД составил от 0,1% до 0,41%. Для поддержания постоянного уровня электрического КПД и снижения потребления

воды использовалась система управления потоком.

Заключение

По представленным результатам работы можно сделать вывод, что охлаждающий эффект для термофотоэлектрической панели позволяет значительно поднять выработку электрической энергии и увеличить эффективность преобразования полупроводниковых фотоэлектрических панелей. При этом использование в качестве теплоносителя наножидкостей позволяет значительно увеличить и тепловую выработку солнечной установки.

Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии с одной и той же рабочей поверхности солнечной термоэлектрической установки позволяет значительно поднять суммарный коэффициент преобразования солнечной энергии. Использование предложенных методов охлаждения позволяют увеличить как эффективность работы установки, так и срок службы теплового и электрического оборудования.

Предложенные системы управления позволяют значительно сократить потери выработанной энергии и повысить эффективность обеспечения потребителей тепловой и электрической энергией. Представленные алгоритмы управления программным обеспечением системы позволяют значительно увеличить скорость передачи данных в управляющих системах и дополнительно поднять эффективность работы всей системы.

Список литературы

1. Даффи Дж. А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж. А. Даффи, У. А. Бекман. — М: Мир, 1988. — 413 с.
2. Кучинский В. П. Методика определения тепловых характеристик фототермических модулей / В. П. Кучинский, Н. П. Сеницын, А. Н. Суржик, В. И. Шевчук // Возобновляемая энергетика, 2006. — № 4. — С. 44 - 47.
3. Abdali L. M. Combined energy systems based on renewable energy sources/ Abdali L. M., Al-Maliki M. N., Hejeejo R. H., Issa H. A., Yakimovich B. A., Shcheklein S. E., Velkin V. I., Kuvshinov V. V. //MM Science Journal, 2023, Vol. 5. No. December, P.7131-7135.
4. Аникеев В. И. Экспериментальное исследование солнечного каталитического энергоустройства на основе замкнутого термохимического цикла / В. И. Аникеев, В. А. Кузьмин, В. А. Кириллов,

- В. В. Пасичный, В. Н. Пармон // Доклады академии наук СССР, 1987. – Т. 293, № 6. – С. 32.
5. Аль-Малики М.Н. Повышение эффективности кремниевых фотоэлектрических элементов при использовании пассивного охлаждения/ Аль-Малики М.Н., Юферева Л.Ю., Якимович Б.А., Кувшинов В.В. // Труды МАИ. – 2024. – № 134.
6. Харченко Н. В. Индивидуальные солнечные установки / Харченко Н. В. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
7. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 397 с.
8. Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции результатов измерения вольтамперной характеристики (МЭК 891-87) : ГОСТ 28976-91. – [Введ. 19.04.91]. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 42 с. – (Национальный стандарт России).
9. Аль-Малики М. Н. Моделирование работы фотоэлектрических систем с использованием программной среды Matlab / М. Н. Аль-Малики, Л. М. Абдали, Х. А. Исса [и др.] // Интеллектуальные системы в производстве. 2023, Т. 21, № 2. – С. 121-129. – DOI 10.22213/2410-9304-2023-2-121-129.
10. Абдали Л. М. А. Анализ методов управления производительностью преобразователей постоянного тока солнечных элементов и выбор оптимального метода / Л. М. А. Абдали, М. Н. К. Аль-Малики, А. Г. Аль Баирмани, Б.А. Якимович, В.В. Сяктерева, В.В. Кувшинов// Интеллектуальные системы в производстве, 2023. – Т. 21, № 1. – С. 125-137.
11. Абдали Л.М. Оптимизация системы автоматического управления точкой максимальной мощности для ветро-солнечной генерирующей установки с накопителями энергии / Абдали Л.М., Якимович Б.А., Сяктерева В.В., Кувшинов В.В., Морозова Н.В. // Труды МАИ, 2023. – № 129.
- thermochemical cycle. *Reports of the USSR Academy of Sciences*, 1987, T. 293, No. 6, p. 32.
5. Al-Maliki M.N., Yuferev L.Yu., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Increasing the efficiency of silicon photovoltaic elements using passive cooling. *Proceedings of MAI*, 2024, No. 134.
6. Kharchenko N.V. *Individual solar installations*. M.: Energoatomizdat, 1991, 208 p.
7. Rauschenbach G. *Handbook for the design of solar panels*. M.: Energoatomizdat, 1983, 397 p.
8. Photovoltaic devices made of crystalline silicon. Methodology for correcting the results of measuring the current-voltage characteristic (IEC 891-87): GOST 28976-91. – [Input. 04/19/91]. – Moscow: IPK Publishing House of Standards, 2004. – 42 p. – (National Standard of Russia).
9. Al-Maliki M. N., Abdali L. M., Issa H. A., [et al.] Modeling the operation of photovoltaic systems using the Matlab software environment. *Intelligent systems in production*, 2023, T. 21, No. 2, pp. 121-129. – DOI 10.22213/2410-9304-2023-2-121-129.
10. Abdali L. M. A., M. N. K. Al-Maliki, Al Bairmani A. G., Yakimovich B. A., Syaktereva V.V., Kuvshinov V.V. Analysis of methods for controlling the performance of solar cell DC converters and choosing the optimal method. *Intelligent systems in production*, 2023, T. 21, No. 1, pp. 125-137.
11. Abdali L.M., Yakimovich B.A., Syaktereva V.V., Kuvshinov V.V., Morozova N.V. Optimization of an automatic control system for the maximum power point for a wind-solar generating plant with energy storage devices. *Proceedings of MAI*, 2023, No. 129.

References

1. Duffy J. A., Beckman W. A. *Thermal processes using solar energy* – M: Mir, 1988, 413 p.
2. Kuchinsky V. P., Sinitsyn N. P., Surzhik A. N., Shevchuk V. I. Methodology for determining the thermal characteristics of photothermal modules // *Renewable Energy*, 2006, No. 4, pp. 44 - 47.
3. Abdali L. M., Al-Maliki M. N., Hejeejo R. H., Issa H. A., Yakimovich B. A., Shcheklein S. E., Velkin V. I., Kuvshinov V. V. Combined energy systems based on renewable energy sources. *MM Science Journal*, 2023, Vol. 5. No. December, pp.7131-7135.
4. Anikeev V. I., Kuzmin V. A., Kirillov V. A., Pasichny V. V., Parmon V. N. Experimental study of a solar catalytic energy device based on a closed

УДК 620.92, 621.331

Фотоэлектрическая установка для вспомогательного электроснабжения морского транспорта

Д.Ф. Бордан, С.А. Конева, Н.В. Шахова, И.Д. Артёменко, В.А. Березняк
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия. bordan79@mail.ru, sakoneva@mail.sevsu.ru, nvshakhova@sevsu.ru, leftysingle@gmail.com, gern96-10@mail.ru

Статья поступила 04.09.2024 г.; после доработки 05.09.2024 г.

Аннотация

Предложена фотоэлектрическая установка для вспомогательного энергоснабжения малых морских судов, позволяющая обеспечивать необходимое электрооборудование в течение длительного времени. Представленные системы экологичны и позволяют качественно работать достаточно большой промежуток времени.

Ключевые слова: судовые энергоустановки, фотоэлектрические преобразователи, накопители энергии, солнечная генерация, резервные источники питания.

Photovoltaic installation for auxiliary power supply for marine transport

D.F. Bordan, S.V. Koneva, N.V. Shakhova, I.D. Artemenko, V.A. Bereznayk
Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, bordan79@mail.ru, sakoneva@mail.sevsu.ru, nvshakhova@sevsu.ru, leftysingle@gmail.com, gern96-10@mail.ru

Received 04.09.2024 y.; received in final form 05.09.2024 y.

Abstract

A photovoltaic installation is proposed for auxiliary power supply to small sea vessels, which allows providing the necessary electrical equipment for a long time. The presented systems are environmentally friendly and allow high-quality work for a fairly long period of time.

Key words: ship power plants, photoelectric converters, energy storage devices, solar generation, backup power sources.

Введение

Использование солнечных преобразователей для вспомогательного электроснабжения позволяет решать такие проблемы, как экономия топлива, улучшение экологии, простота использования, а также все и др. Особенно это актуально для морских судов малого водоизмещения, которые вследствие ограниченной грузоподъемности не могут взять на борт достаточного количества топлива, что особенно важно для длительных морских переходов без заходов в порты.

Фотоэлектрические преобразователи, а также солнечные электрогенерирующие уста-

новки, созданные на их основе, позволяют вырабатывать электроэнергию без использования органического топлива и вредных выбросов в окружающую среду и морскую воду, что особенно важно с точки зрения морской экологии. Резервные источники генерации позволяют компенсировать работу основных систем электроснабжения при нехватке мощности, использование таких систем эффективно при использовании накопителей энергии для любых судовых систем. Устройство, в котором при облучении поверхности полупроводникового электрода (фотокатода) возникает фотоэффект, называется фотоэлементом. Чтобы преобразовать солнечную энергию

непосредственно в электрическую применяют фотоэлектрические преобразователи (ФЭП). Генерация ими электрического тока основана на особенностях электронной (дырочной) проводимости полупроводников, например кремния. Как известно, атом кремния, имеющий порядковый номер 14 в Периодической системе Д. И. Менделеева, содержит 14 электронов. Из них 4 электрона находятся на внешнем энергетическом уровне, наиболее удаленном от положительно заряженного ядра [1]. Эти электроны, называемые валентными, наиболее слабо притягиваются к ядру. При повышении температуры кристалла кремния (благодаря солнечной энергии) тепловые колебания валентных электронов могут привести к разрыву связи «ядро - электрон», и часть электронов отщепляется и становится электронами проводимости. При наличии электрического поля электроны перемещаются против поля, тем самым возникает направленный поток электронов, т. е. образуется электрический ток. Простейший ФЭП состоит конкретно из двух очень тонких слоев (рис. 1).

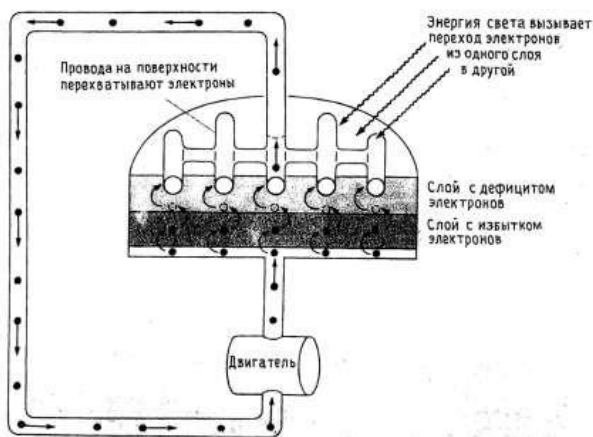


Рис. 1. Схема возникновения электрического тока в фотоэлектрическом преобразователе

В состав вещества нижнего слоя входят атомы с одним электроном на внешнем уровне, который слабо притягивается ядром и легко отдается. У атомов вещества второго слоя, наоборот, на внешнем слое не хватает одного электрона; они его готовы захватить извне, например у того же атома кремния. Кинетической энергии света, падающего на такой «сэндвич», вполне хватает для выбивания из нижнего слоя электронов, которые переходят в верхний слой. В результате между слоями возникает разность потенциалов: нижний слой приобретает положительный заряд, а верхний — отрицательный.

Чтобы замкнуть цепь, надо соединить слои проводом, тогда «лишние» электроны из верхнего слоя вернуться в нижний. Если на их пути находится двигатель или какое-либо устройство, будет производиться полезная работа [1]. Для создания слоя с избытком электронов используют кремний, в кристаллическую решетку которого введена примесь, например, мышьяка As, а для слоя с дефицитом электронов тот же кремний, но с примесью других атомов, например бора В (рис. 2).

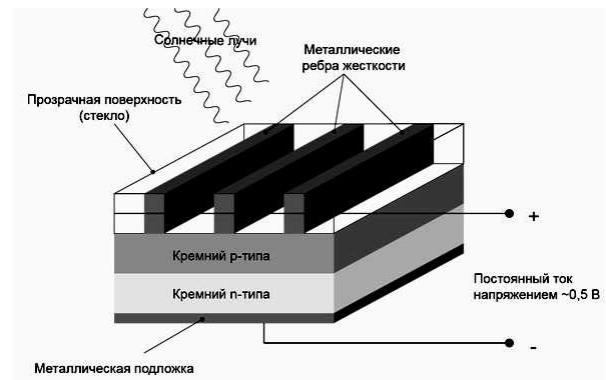


Рис.2. Примерная схема кремниевого фотоэлемента

В первом случае получают слой полупроводника с электронной проводимостью (полупроводник n-типа), во втором — слой полупроводника с дырочной проводимостью (полупроводник p-типа). Кремний своей темной поверхностью обеспечивает хорошее поглощение энергии солнечного излучения, а, следовательно, и нагрев слоя. Кроме того, он «поставщик» свободных электронов. Он изготавливается из кремния двух типов: кремний n-типа (электронный) и p-типа (дырочный). Поверхность соприкосновения этих материалов, называемая p-n-переходом (электронно-дырочным переходом), является основой этого устройства. Верх элемента прозрачен, чтобы солнечный свет падал непосредственно на кремний. Положительный электрод сделан в виде ребер жесткости, соединенных тонкими проводами. Отрицательный электрод — металлическая подложка, находящаяся в контакте с кремнием n-типа [2]. В том случае, когда лучистая энергия падает на p-n-переход, между материалами p-типа и n-типа возникает разница потенциалов, т.е. электрическое напряжение. При подключении к элементу нагрузки сила тока возрастает пропорционально яркости света, падающего на p-n-переход, вплоть до определенного критического значения. При усилении интенсивности освещения сила тока в элементе до-

стигает максимума (ток насыщения), и выравнивается на этом значении [3]. Отношение вырабатываемой элементом электроэнергии к силе света, падающего на него, есть КПД элемента. Этот показатель составляет у солнечных батарей относительно небольшую величину – 10 – 20%, редко больше, что связано с низкой плотностью падающей солнечной энергии. Большинство солнечных батарей производят постоянный ток напряженностью около 0,5В (входное напряжение $V_{\text{вых}}$). Значение максимальной силы тока зависит от размера площади р-п-перехода и от технологии, использованной при его производстве. Максимальная мощность P_{max} кремниевого фотоэлемента в ваттах эквивалентна произведению $V_{\text{вых}}$ в вольтах на I_{max} в амперах. Фотоэлектрические ячейки часто объединяют в последовательно-параллельные соединения, в результате можно повысить выходную мощность и получить любое количество энергии. Когда несколько фотоэлементов подсоединяются параллельно, максимальная сила тока I_{max} всех соединенных в цепь ячеек эквивалентна произведению I_{max} одной ячейки на количество ячеек. При этом максимальная мощность (P_{max}) последовательно-параллельного соединения одинаковых ячеек эквивалентна произведению P_{max} каждой ячейки на количество ячеек. Иными словами, максимальная мощность (P_{max}) такого соединения эквивалентна произведению $V_{\text{вых}}$ и I_{max} всего соединения (без учета потерь из-за внутреннего сопротивления). В низковольтных слаботочных фотоэлектрических системах для достижения желаемого выходного напряжения ($V_{\text{вых}}$) отдельные ячейки подсоединяются последовательно. Для подзарядки, например, 12-вольтовой аккумуляторной батареи стандартное значение $V_{\text{вых}}$ составляет 16В, что требует последовательного подсоединения 32 ячеек. Такое соединение называют фотоэлектрическим модулем. Несколько модулей, подключенных параллельно, образуют фотоэлектрическую панель (солнечную батарею) и большие значения максимальной силы тока (I_{max}). Для достижения еще более высоких значений $V_{\text{вых}}$ или I_{max} несколько фотоэлектрических панелей подключают, соответственно, последовательно или параллельно, создавая фотоэлектрическую батарею [1-3].

Постановка задачи

Севастополь является интересным регионом для развития альтернативных источников энергии. Однако развитие отрасли не происходит по

нескольким причинам:

- отсутствие дефицита электроэнергии после ввода в эксплуатацию ТЭЦ;
- технические трудности при подключении СЭС к сети;
- отсутствие зеленого тарифа для продажи солнечной энергии в сеть;
- отсутствие государственных проектов по развитию отрасли;
- невозможность накапливать выработанную энергию в больших объемах.

Можно заключить исходя из выше указанных причин, что развитие солнечной энергетики на сегодняшний день имеет только перспективы развития как резервный источник электроснабжения предприятия, средство экономии электроэнергии и повышение энергоэффективности предприятия. или частным хозяйством путем перевода части потребителей на питание от солнечных панелей. Это могут быть офисное оборудование, освещения, системы видеонаблюдения, электроприводы малой и средней мощности, зарядка электротранспорта. В зависимости от направленности работы предприятия будет зависеть и сфера, где будет применена солнечная энергия. Для Севастополя, как морского привлекательна идея применения солнечных панелей для повышения энергоэффективности судовых систем. Использование возобновляемой энергетики для обеспечения морского транспорта представляет интерес как с точки зрения энергетики, так и экологии.

Резервные системы питания и накопления энергии, используемые при работе судовых систем на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) позволяют значительно уменьшить негативные эффекты, возникающие из-за использования органических топлив. Такими системами могут являться как накопители тепловой или электрической энергии, так и дополнительные генерирующие установки [4]. Эти системы могут устанавливаться на судовых палубах и работать совместно с судовыми энергоустановками, что позволяет их эффективно использовать в качестве альтернативных источников энергии [5]. Из всех типов и видов ВИЭ предложенным требованиям наиболее соответствуют фотоэлектрические установки с накопителями энергии. При работе судовых энергетических комплексов на основе необходимо постоянно иметь некоторый резервный запас мощности с целью уменьшения негативного влияния нехватки мощности. Такой запас можно получать как с общей сети, так и при использовании нако-

питателей энергии [6]. Солнечная гибридная электростанция на базе судна является эффективным решением для обеспечения электроэнергией судовых и припортовых энергосистем. Комплекс состоит из судна, оснащенного различными генераторами электроэнергии: штатными судовыми дизель генераторами и портативными генераторами находящиеся в контейнерах, а также системой хранения и распределения энергии [7]. Основными преимуществами такого энергокомплекса являются его мобильность и гибкость. Комплекс оснащен традиционными генераторами энергии на базе ископаемых видов топлива, использующих присадку водорода для увеличения КПД двигателей внутреннего сгорания и уменьшающих токсичность выхлопных газов, так и солнечными батареями, которые расположены на палубе [8]. Использование комбинированных методов генерации электроэнергии повышает надежность всех судовых систем. Энергокомплекс может быть особенно полезен в тех случаях, когда обеспечение электроэнергией требуется на временной основе или в условиях чрезвычайных ситуаций, например, при проведении ремонтных или восстановительных работ, при естественных катастрофах и т. д. Для резервных систем накопления энергии судовой комплекс может быть оснащен как ёмкостными аккумуляторами, так и водородной установкой. Такая система, оснащенная водородной установкой, служит для улучшения энергетических характеристик судовых установок, резервного питания судна, а также непосредственно потребителей, расположенных на корабле. Эффективность такой системы может также достигаться за счет использования водорода в качестве добавки к основному топливу.

Результаты исследований

Для повышения генерации энергии и мощностных характеристик фотоэлектрических панелей использовалась комбинированная установка с накопителями энергии. Солнечные панели были расположены на палубе, а аккумуляторные батареи в трюмных помещениях судна. В представленной работе были проведены натурные испытания фотоэлектрической системы, которая имеет мощность 15 кВт и состоит из 50 фотоэлектрических панелей (мощностью по 300 Вт), расположенных на палубе. Также система включает 120 аккумуляторных батарей (АКБ) ёмкостью по 96 А·ч, четыре инвертора и другое оборудования, которое расположено в трюме (рис. 3). Представленная система подключена к

общей сети судна и работает параллельно.



Рис. 3. Оборудование для судовой солнечной станции

В ходе исследований были проведены натурные экспериментальные исследования работы системы. На рис. 4 приведены вольтамперные характеристики отдельного модуля солнечной установки мощностью 300 Вт при различной освещенности, в это время работали основные резервные системы судна т. к. генерируемой мощности от дизелей не хватало.

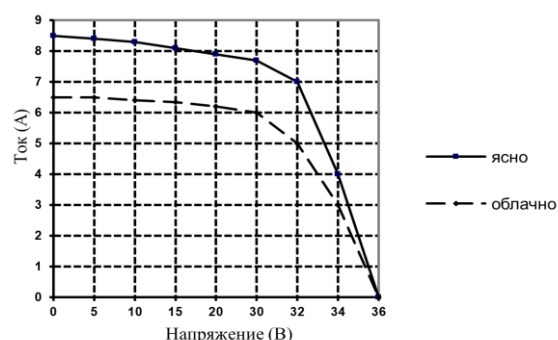


Рис. 4. Мощностные характеристики модуля

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. 5).

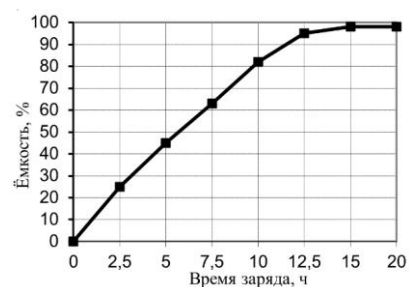


Рис. 5. Зависимость относительной ёмкости заряда от времени

Как видно из графика за 1 ч АКБ заряжается на 15 % номинальной ёмкости, при этом в режиме заряда он получает от 30 % до 98 % ёмкости. Время заряда до 98 % составляет до 10 ч, характеристика зарядного тока приведена на рис. 6.

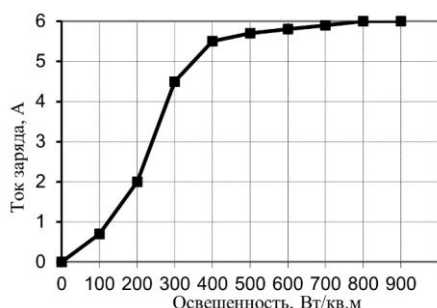


Рис. 6. Зависимость тока заряда от освещённости панели

Эти исследования очень значимы для дальнейших расчетов зарядки и работы аккумуляторной станции в комбинации с фотоэлектрическими модулями, используемыми в качестве резервных систем судового энергоснабжения.

Заключение

Фотоэлектрические системы питания с накопителями энергии могут устанавливаться для резервного питания на любых припортовых объектах и практически на любых судах. Использование предложенных систем позволяет обеспечить автономное электроснабжение судна для собственных нужд. Применение в качестве систем генерации фотоэлектрических установок обеспечивает надёжную работу бортовых систем при отсутствии запасов органического топлива. 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 моря.

Список литературы

1. Арбузов Ю. Д. Основы фотоэлектричества/ Ю. Д. Арбузов, В. М. Евдокимов. – М.: ГНУ ВИ-ЭСХ, 2007. – 292 с.
2. Андреев В.М. Фотоэлектрическое преобразование солнечного излучения. М. Наука, 1989. – 120 с.
3. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М.: Энергоатомиздат, 1983.

- 397 с.
4. Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции результатов измерения вольтамперной характеристики (МЭК 891-87) : ГОСТ 28976-91. – [Введ. 19.04.91]. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 42 с. – (Национальный стандарт России).
5. Абдали Л. М. А. Анализ различных методов отслеживания точки максимальной мощности при работе солнечных фотоэлектрических систем / Л. М. А. Абдали, Х. А. И. Исса, М. Н. К. Аль-Малики, Б.А. Якимович, В. В. Кувшинов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2022. – Т. 20. – № 3. – С. 104-113.
6. Abdali L. M. Study of Hybrid Wind-Solar Systems for the Iraq Energy Complex/ Abd Ali L. M., Al-Rufaei, F. M., Kuvshinov, V. V. et al.// Appl. Sol. Energy. – 2020. - Vol. 56, no. 4, P. 284–290.
7. Kuznetsov N. P. Investigation of the losses of photovoltaic solar systems during operation under partial shading/ Kuznetsov N. P., Abd Ali M. L., Kuvshinov V. V., Issa A. H., Mohammed J. H., & Al-bairman, G. A.// Journal of Applied Engineering Science. – 2020. - 18(3), P. 313 – 320.
8. Кувшинов В.В Изменение мощностных характеристик фотоэлектрических установок при различных климатических факторах / Кувшинов В.В. // Энергетические установки и технологии. - 2017. - Т. 3. № 2, С. 61-66.

References

1. Arbuzov Yu. D., Evdokimov V. M. *Fundamentals of photoelectricity*. – M.: GNU VIESKh, 2007, 292 p.
2. Andreev V.M. *Photoelectric conversion of solar radiation*. M. Science. 1989, 120 p.
3. Rauschenbach G. Handbook for the design of solar panels. M.: Energoatomizdat, 1983, 397 p.
4. Photovoltaic devices made of crystalline silicon. Methodology for correcting the results of measuring the current-voltage characteristic (IEC 891-87): GOST 28976-91. – [Input. 04/19/91]. – Moscow: IPK Standards Publishing House, 2004, 42 p. – (National Standard of Russia).
5. Abdali L. M. A., Issa H. A. I., Al-Maliki M. N. K., Yakimovich B. A., Kuvshinov V.V. Analysis of various methods for tracking the maximum power point during the operation of solar photovoltaic systems. *Intelligent systems in production*, 2022, Vol. 20. – No. 3, pp. 104-113.
6. Abd Ali, L. M., Al-Rufaei, F. M., Kuvshinov, V. V. et al. Study of Hybrid Wind-Solar Systems for the Iraq Energy Complex. *Appl. Sol. Energy*, 2020, Vol. 56, No. 4, pp. 284–290.
7. Kuznetsov, N. P., Abd Ali, M. L., Kuvshinov, V. V., Issa, A. H., Mohammed, J. H., & Al-bairmani, G. A. Investigation of the losses of photovoltaic solar systems during operation under partial shading. *Journal*

of Applied Engineering Science, 2020, 18(3), pp. 313 – 320.

8. Kuvshinov V.V. Changes in the power characteristics of photovoltaic installations under various climatic factors. *Energy installations and technologies*, 2017, Vol. 3, No. 2, pp. 61-66.

УДК 620.92

Использование фотоэлектрических систем для энергоснабжения припортовых сооружений

Бордан Д.Ф.¹, Скидан А.А.¹, Цалоев В.М.¹, Ивантеев И.С.¹, Владимиров А.С.¹

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,

ул. Университетская 33, 299053, Севастополь, Россия

AASkinan@mail.sevsu.ru

Статья поступила 13.09.2024 г.; после доработки 17.09.2024 г.

Аннотация

Использование фотоэлектрических систем энергоснабжения позволяет значительно сократить потребление органических топлив и позволяет улучшить экологическую составляющую. Применение солнечных установок для электрификации припортовых сооружений позволяет увеличить автономность и надёжность энергокомплексов.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, электроснабжение, автономные энергокомплексы, солнечная электростанция, портовые сооружения.

Use of photovoltaic systems for power supply of port facilities

Bordan D.F.¹, Skidan A.A.¹, Tsalojev V.M.¹, Ivanteev I. S.¹, Vladimirov A.S.¹¹Sevastopol State University, st. Universitetskaya 33, 299053, Sevastopol, Russia

AASkinan@mail.sevsu.ru

Received 13.09.2024 y.; received in final form 17.09.2024 y.

Abstract

The use of photovoltaic energy supply systems can significantly reduce the consumption of organic fuels and improve the environmental component. The use of solar installations for the electrification of port facilities makes it possible to increase the autonomy and reliability of energy complexes.

Key words: photovoltaic module, power supply, autonomous energy complexes, solar power plant, port facilities.

Введение

Для энергоснабжения морского транспорта и припортовой инфраструктуры в настоящее время используется общая энергосистема. Недостатки такой позиции выражаются в невозможности автономного электрообеспечения при аварийных ситуациях, расход большого количества органического топлива и связанные с этим транспортные расходы, негативное влияние на экологию работы традиционных генерирующих мощностей, а также другие различные факторы.

В современной России особое внимание уделяется обеспечению электроэнергетических

комплексов и связанные с этим проблемы. Последние тенденции в энергетике направлены на развитие нетрадиционных источников энергии. Солнце как нетрадиционный источник энергии обладает рядом достоинств и недостатками.

Достоинства потока солнечной радиации – это мощный, неиссякаемый (в отличие от земных полезных ископаемых) источник электрической и тепловой энергии настоящего и будущего, экологически чистый, доступный.

К недостаткам можно отнести неравномерность выработки энергии в течение суток и времени года, старение солнечных модулей, необхо-

димостью использование аккумуляторов для хранения полученной электрической энергии. Крымский полуостров обладает благоприятными условиями для использования энергии солнца [1-3]. В данной работе особое внимание уделялось разработке солнечной электростанции (СЭС), на основе которой определяется выработка электроэнергии в зависимости от времени суток для нужд портовых сооружений. На основе полученных данных был оценен электропотенциал солнечной станции применительно к городу Севастополю, определялись потенциально востребованные направления, для использования в припортовом энергетическом комплексе, с учётом развития солнечной энергетики.

Постановка задачи

Для изучения поставленной темы были сформулированы следующие задачи исследования:

- рассмотрение наиболее распространенных типов солнечных модулей;
- рассмотрение наиболее распространенных типов аккумуляторных батарей (АКБ), определение их достоинств и недостатков;
- рассмотрение наиболее распространенных типов солнечных инверторов и определение их достоинств и недостатков;
- на основе рассмотренной информации провести разработку солнечной электростанции для обеспечения припортовых сооружений.

В данный момент наиболее широкое распространение получили следующие типы солнечных модулей: монокристаллические, поликристаллические, аморфные [4-6].

При выборе типов АКБ обращаем внимание на следующие параметры [2-4]: ресурс циклов «заряда-разряда», показатель скорости процесса зарядки и разряда, показатель саморазряда АКБ, объем емкости аккумулятора, максимальное значение тока при заряде и разряде, вес и габариты устройства, обслуживание.

На рынке для солнечных электростанций представлены следующие типы АКБ.

- Кислотные достоинства которых это дешевизна, большая емкость. Недостатки: автомобильные АКБ ориентированы на короткий разряд и быструю подзарядку до полной емкости (срок службы 2-3 года).
- Щелочные аккумуляторы. Достоинства: предназначены для циклической работы, что оптимально для работы электростанции, способны выдавать всю электроэнергию до полного разряда, срок службы щелочных

АКБ около 20 лет. Недостатки: наличие контролера заряда для оптимального процесса зарядки, высокая стоимость.

- Гелиевые аккумуляторы (свинцово-кислотные) Достоинства: высокая эффективность, срок службы около 10 лет, практически не требуют обслуживания. Недостатки: высокая стоимость. Литий-ионные аккумуляторы (литий-железо-фосфатные) Достоинства: срок службы около 15 лет, отличаются от других стабильностью напряжения, безопасность использования. Недостатки: высокая стоимость [5].

Одним из основных элементов при разработке солнечной станции является инвертор. На сегодняшний день широкое применение получили три вида инверторов: сетевые, автономные и гибридные. Сетевые инверторы предназначены для работы совместно с централизованным электроснабжением, контролирует напряжение и частоту тока внешней сети, и может передавать лишнее электричество в основную электросеть. Автономные инверторы предназначены для работы автономно от сети и поступление к потребителям электроэнергии. Устройства данного вида преобразуют накопленную в АКБ энергию до требуемых параметров и направляют ее для дальнейшего использования. Гибридные инверторы включает в себя функции сетевого и автономного вида. Многофункциональный тип инвертора подходит для домашней, и для промышленной солнечной станции. Возможно, параллельно питать нагрузку из сети и от аккумуляторной батареи [4-6].

Современные гибридные инверторы являются наиболее перспективным видом. Достоинствами является: возможность параллельного подключения инверторов на общую нагрузку, использование интерфейсов, использование трехфазных инверторов. Наличие интерфейсов RS 232 и USB для подключения компьютера как для контроля и отслеживания параметров, что позволяет оперативно отслеживать и производить диспетчерский контроль в системах с микрогенерацией. Последнее немаловажно для построения диспетчеризации интеллектуальных систем электроснабжения, поскольку с 2009 года правительством РФ утвердило на государственном уровне политику повышения энергетической эффективности электроэнергетике на основе использования возобновляемых источников энергии.

Исходя из вышесказанного, было принято использовать для создания СЭС следующие элементы:

1. Солнечные панели ФСМ-100М в количестве 6 штук фирмы ООО «Эксморк» со следующими техническими характеристиками.

Номинальная мощность: 100 Вт ($0 \sim +6$ Вт).
 Напряжение при пиковой мощности (V_{max}): 17.79 В. Напряжение холостого хода (V_{oc}): 21.82 В. Ток короткого замыкания (I_{sc}): 5.99 А. Ток при пиковой мощности (I_{max}): 5.62 А. максимальное напряжение в системе (VDC): 1000 В. Коннектор: MC4. Размер (ДхШхГ): 1200 x 540 x 35 мм. Вес: 8.25 кг. Температура эксплуатации: $-40 \sim +85^{\circ}\text{C}$ Степень герметизации - IP 65 (герметизированный корпус для эксплуатации на улице). Гарантия на солнечные модули Exmork - 10 лет. Срок службы - не менее 30 лет Мощность в течение 30-ти лет: 2 года не менее 100% мощности, 10 лет - не менее 90% мощности, 25 лет - не менее 80% мощности [1].

2. Сетевой инвертор MPP SOLAR PIP 2424ms в количестве 1 штука, со следующими техническими параметрами:

- Входное напряжение 90-280 В;
- Входная /выходная частота 50 Гц;
- Выходное напряжение 230В $\pm 5\%$;
- КПД 93%;
- Номинальное значение напряжения от батарей 24 В;
- Максимальное значение напряжения от батарей 31 В;
- Максимальная мощность от солнечных панелей 600 Вт;
- Максимальное напряжение от солнечных панелей 75 В.

3. Кислотные аккумуляторы-2 шт. АКБ с параметрами: 12В 132Ан соединенные последовательно. Полученная структурная схема представлена на рисунке 1.

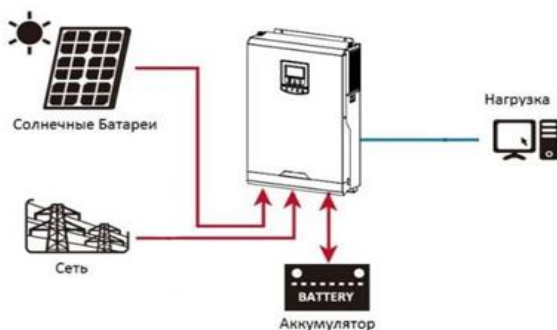


Рис 1. Структурная схема солнечной станции

Результаты исследования

Применительно к городу Севастополю в ноябре месяце, с 8 до 10 утра панели развивают 30-

80 % номинальной мощности, с 10 утра до 14 00 составляют 80-90 (95) % номинальной мощности, (отсутствие 100% мощности объясняется температурным коэффициентом, то есть зависимостью вольт амперной характеристики от температуры нагрева панелей), с 14 00 до 16 00 дня 90-40 % номинальной мощности, с 16 00- 17 00 дня 40-5%. Полученная неравномерность выработки энергии объясняется местом опытной установки солнечных панелей [4].

В используемом инверторе предусмотрены следующие режимы работы:

- Нагрузка питается от солнечных панелей, в случае нехватки мощности, получаемой от солнечных панелей, инвертер питается от АКБ. переключение на сеть происходит при разряде АКБ ниже установки переключения.
- Нагрузка питается от солнечных панелей, в случае нехватки мощности, получаемой от солнечных панелей, инвертер питается от АКБ. Переключение на сеть происходит при разряде АКБ ниже установки переключения или отсутствии солнечных панелей.
- Нагрузка питается от сети, и переключение на солнечные панели и АКБ происходит в случае потери напряжения в сети.

Исходя из полученных данных, применительно для портowych сооружений можно определить 3 перспективных направления:

Первое – это системы с суточной постоянной характеристикой потребления. Такими системами могут быть пожарная сигнализация, система видеонаблюдения и т.д.

Для этих систем расчет мощности и количество элементов СЭС может быть произведен с высокой точностью, поскольку динамика потребления практически неизменна от времени суток и времени года [2], ввиду этого отсутствует необходимость предусмотреть дополнительный запас емкости АКБ и солнечных панелей на суточную динамику нагрузки (рис. 2).

Второе – это системы с мало переменным характером потребления. Такими системами выступают компьютерная, офисная техника, освещение.

Характеризуется мало переменным характером потребления, для расчета СЭС таких систем требуется иметь точный график суточной нагрузки. При расчете к основной мощности СЭС необходимо добавить запас мощности, величина которой зависит от изменения потребления от времени года и количества дней в году с неблагоприятными погодными условиями.

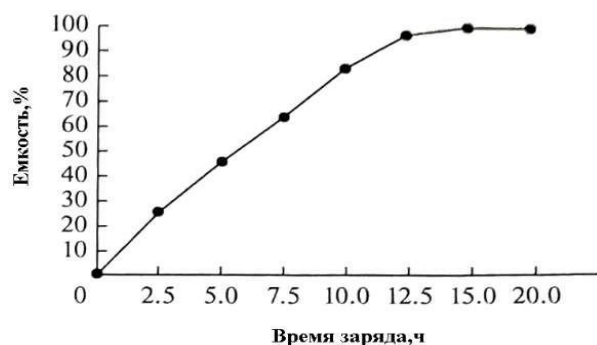


Рис. 2. Зависимость емкости заряда свинцовых АКБ от времени заряда

Третье – это системы заряда АКБ. В качестве таких систем могут выступать системы заряда АКБ различного рода потребителей, например, для электротранспорта (тяговые АКБ). В данном примере возможны два варианта: имеет место быть сменные АКБ для зарядки в светлое время суток. Или накопитель большой емкости для накопления заряда в светлое время суток с последующей отдачей в ночное время с помощью контролера заряда (АКБ инвертора-контролера заряда – АКБ накопителя энергии).

Системы неизменного и малоизмененного характера нагрузки при наличии возможности целесообразно объединять в общую сеть с целью повышения мощности и надежности энергообеспечения. Немаловажную роль необходимо уделить топологии подключения инверторов (параллельной работы).

При наличии в инверторах интерфейса приема и передачи данных с компьютером позволит эффективно решать вопросы диспетчеризации.

Для систем заряда АКБ, важную роль играет стоимость АКБ (половину стоимости СЭС), ввиду этого требуется использовать их максимально приближенно к идеальным условиям, описанных в инструкциях по эксплуатации для увеличения срока службы.

Опытные данные зависимости заряда кислотных АКБ [4] представлены на рисунке 3.

Исходя из рисунка 3 видно, что за 12 часов зарядки АКБ наберет 95% емкости. Другим важным параметром является число циклов поскольку, исходя, из них будет рассчитываться окупаемость и амортизационные отчисления на АКБ.

Для системы солнечного электроснабжения основным генератором является фотоэлектрическая батарея (модуль) (рис. 1). При проведении экспериментов использовался модуль PS-250, состоящий из поликремневых солнечных элементов (рис. 4).

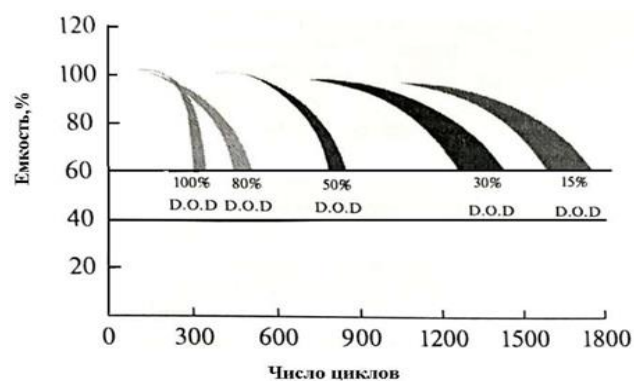


Рис. 3. Зависимость количества циклов от степени разряда свинцовых АКБ

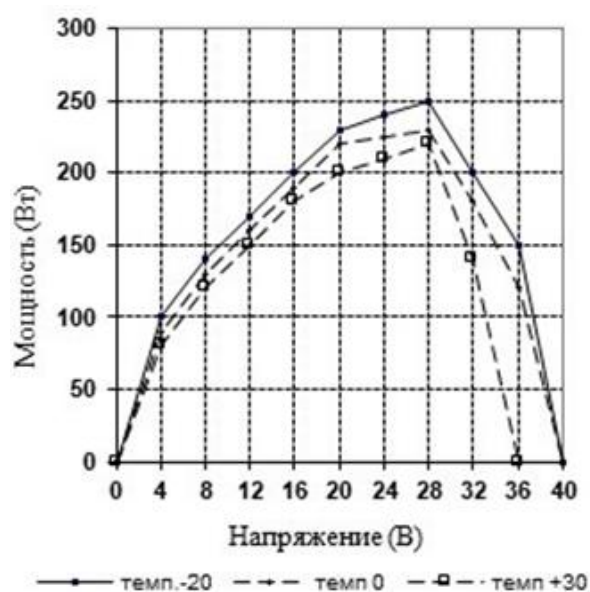


Рис. 4. Мощностные характеристики модуля PS-250

Экспериментальные значения характеристик модуля были получены при различных температурных показателях в разное время года при одинаковой освещенности (около 950 Вт/м²).

На графиках видно, что при одинаковых значениях освещенности, мощность модуля увеличивается при низких температурах, также изменяется форма мощностной характеристики.

При движении солнца по небосводу угол падения лучей на плоскую поверхность, установленную под углом, постоянно меняется в течение суток [3-6].

Ориентировав модуль перпендикулярно солнечным лучам, и изменяя его угол наклона к горизонту, можно имитировать работу модуля в зависимости от изменения угла падения солнечных лучей на его поверхность.

Коэффициент преобразования модуля, в зависимости от освещенности, улучшается в хо-

лодную ясную погоду, особенно эффективно работал модуль в январе при $T = -20^{\circ}\text{C}$, и снижается в летние месяцы при повышении температуры рабочей поверхности.

Как видно из результатов, наилучший режим работы модуля наблюдался при отрицательных температурах (например -20°C , январь) [1-3]. При этом температурные показатели также влияют на характеристики АКБ.

Холодная температура воздуха положительно сказывается на работе модуля, причем хорошо видно увеличение коэффициента преобразования модуля, в отличие от плюсовых температур.

Однако низкие температуры негативно влияют на характеристики аккумуляторов. Следовательно, АКБ необходимо располагать в теплых помещениях.

Заключение

Проведенное исследование показывает, что возможность проектирования СЭС для портовых сооружений следует проводить к заранее определенным потребителям, исходя из которых, подбирается тип и количество панелей, АКБ, инверторов, топология подсоединения и мониторинга параметров.

При подборе фотоэлектрических модулей, для системы обеспечения портового электрооборудования, необходимо знать их рабочие характеристики в разные месяцы года и проводить соответствующий подбор вспомогательного оборудования и АКБ.

Использование автономных систем для обеспечения портовых сооружений позволяет мобильно оснащать небольшие малогабаритные комплексы для погрузок и обеспечения других нужд.

Оснащение системами солнечного электрообеспечения портовых комплексов Севастополя позволяет экономить традиционные энергоресурсы и значительно уменьшить вредные выбросы в курортном регионе.

Список литературы

1. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 397 с.
2. Гурьев В.В. Развитие возобновляемых источников электроэнергии в энергосистеме республики Крым и г. Севастополя / Какушина Е.Г., Якимович Б.А., Кувшинов В.В. // Энергетические установки и технологии - 2019. Т. 5. № 2. С. 90-93.

3. Изменение мощностных характеристик фотоэлектрических установок при различных климатических факторах / Кувшинов В.В. // Энергетические установки и технологии. 2017. Т. 3. № 2. С. 61-66.
4. Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции результатов измерения вольтамперной характеристики (МЭК 891-87) : ГОСТ 28976-91. – [Введ. 19.04.91]. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 42 с. – (Национальный стандарт России).
5. Кувшинов В.В. Использование фотоэлектрической установки для обеспечения бесперебойной работы автономных потребителей / Е.Г. Какушина, Д.А. Чванова // Энергетические установки и технологии – 2016. Т. 2. № 1. С. 62-67.
6. Зайченко В.М. Направления развития энергетики. /Чернявский А.А., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Абейдулин С.А.//Энергетические установки и технологии. 2019 - Т. 5. № 3. С. 53-61.

References

1. Rauschenbach G. Handbook for the design of solar panels. M.: Energoatomizdat, 1983. 397 p.
2. Guryev V.V. Development of renewable sources of electricity in the energy system of the Republic of Crimea and the city of Sevastopol / Kakushina E.G., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. // Power installations and technologies - 2019. Vol. 5. No. 2. P. 90-93.
3. Changes in the power characteristics of photovoltaic installations under various climatic factors / Kuvshinov V.V. // Energy installations and technologies. 2017. T. 3. No. 2. P. 61-66.
4. Photovoltaic devices made of crystalline silicon. Methodology for correcting the results of measuring the current-voltage characteristic (IEC 891-87): GOST 28976-91. – [Input. 04/19/91]. – Moscow: IPK Publishing House of Standards, 2004. – 42 p. – (National Standard of Russia).
5. Kuvshinov V.V. Using a photovoltaic installation to ensure uninterrupted operation of autonomous consumers / E.G. Kakushina, D.A. Chvanova // Energy installations and technologies - 2016. Vol. 2. No. 1. P. 62-67.
6. Zaichenko V.M. Directions for energy development. /Chernyavsky A.A., Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Abeydulin S.A.//Power installations and technologies. 2019 - T. 5. No. 3. P. 53-61.

УДК 621.311.24

Системы резервного питания для судового оборудования на основе фотоэлектрических преобразователей

А.С. Владимиров, А.А. Нагирняк, И.С. Ивантеев, А.Н. Фролова, А.С. Жильцов

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, ANFrolova@sevsu.ru

Статья поступила 10.09.2024 г.; после доработки 19.09.2024 г.

Аннотация

Применение фотоэлектрических преобразователей позволяет не расходовать для генерации энергии органические топлива. Такие источники позволяют дублировать электроснабжение основных и вспомогательных систем электроснабжения судна при нехватке мощности.

Ключевые слова: фотоэлектрические преобразователи, генерирующие солнечные установки, аккумуляторные батареи, солнечная энергетика.

Backup power systems for marine equipment based on photovoltaic converters

A.S. Vladimirov, A.N. Frolova, A.A. Nagirnyak, I.S. Ivanteev, A.S. Zhiltsov

¹Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, ANFrolova@sevsu.ru

Received 10.09.2024 y.; received in final form 19.09.2024 y.

Abstract

The use of photoelectric converters makes it possible not to consume fossil fuels to generate energy. Such sources make it possible to duplicate the power supply to the main and auxiliary power supply systems of the ship in case of power shortage.

Keywords: photovoltaic converters, solar generating installations, batteries, solar energy.

Введение

Фотоэлектрические солнечные установки, а также системы генерации электрической энергии на их основе не требуют использования органического топлива, имеют относительно малый вес и могут устанавливаться на различных платформах и сооружениях. За счёт них возможно повышение эффективности любых энергетических установок, в том числе и судовых энергосистем. Таким образом резервирование мощностей на морском транспорте возможно за счёт использования альтернативных источников энергии на основе солнечных фотопреобразователей.

Любая современная система на судах имеет

энергетические установки обеспечения собственных нужд и автономности судна. Однако самым уязвимым местом остаются судовые силовые установки на органических топливах, поэтому самым эффективным источником питания могут служить установки на основе альтернативных источников энергии. Использование альтернативных источников энергии позволит повысить эффективность и время работы судового оборудования без заходов в порты для дозаправки топливами и увеличит время автономности судов. Использование в качестве альтернативы установок на основе солнечного преобразования, которые в настоящее время являются наиболее применяемыми, не всегда возможно.

Поэтому кроме известных систем мы предполагаем использовать ещё и энергетические комбинированные фотоэлектрические установки с накопителями энергии (аккумуляторными батареями) [1]. Применение предложенных типов судовых энергетических установок повышает надёжность судна в целом. В современных условиях жёстких требований к экологическим нормам использование альтернативных источников энергии также позволит снизить выброс вредных веществ в атмосферу, и повышает экологическую составляющую. Разработка методики использования фотоэлектрических систем с накопителя энергии при совместной работе со стандартными энергоустановками судна является одной из задач использования возобновляемой генерации для морского транспорта [2].

Постановка задачи

В представленной работе проводилась разработка энергетической установки для автономного обеспечения электрооборудования на основе солнечных преобразователей энергии. При работе энергетических комплексов на основе фотоэлектрических преобразователей необходимо постоянно иметь некоторый резервный запас мощности с целью уменьшения негативного влияния непостоянства потока солнечной радиации. Такой запас можно получать как с общей сети, так и при использовании накопителей энергии [1-3]. Также еще несколько лет назад Крымский регион пережил блекаут в поставках электроэнергии и оказался награнице катастрофы. При этом обеспечение морской портовой инфраструктуры также оказалось в весьма трудном состоянии, что снизило и качественное обеспечение причалов и судового оборудования на стоянке в порту. Все перечисленные факторы подтолкнули исследователей в области энергетики к проектированию резервных систем питания, которые описаны в предлагаемой работе. Для повышения генерации энергии и мощностных характеристик фотоэлектрических панелей использовалась комбинированная установка с накопителями энергии. Солнечные панели можно расположить на палубах, а аккумуляторные батареи в трюме судна, а также крышах и подсобных помещений припортовой структуры. В представленной работе были проведены натурные испытания двух фотоэлектрических систем, работающих для электроснабжения припортовых жилых домов в Севастополе. Мощность первой системы 500 Вт и предназначена она для частного домостроения, расположенного

на северной стороне Севастополя (рис. 1). Как видно на рисунке система включает 2 фотоэлектрические панели мощностью по 250 Вт (справа вверх), 3 аккумуляторные батареи (АКБ) ёмкостью по 40 А·ч (справа внизу) и инвертор (слева внизу). Вся система подключена к локальной электросети дома (слева вверх) с возможностью обеспечения потребителя в момент отключения централизованного электроснабжения. Следовательно, система может использоваться как резервный источник мощности.



Рис. 1 Фотоэлектрическая установка с аккумуляторными батареями, установленная на площадки кровли

Вторая система расположена на крыше припортового сооружения и имеет мощность 5,4 кВт, она находится в частном домовладении и состоит из 12 фотоэлектрических панелей (мощностью по 450 Вт), расположенных на крыше. Также система включает 44 АКБ (ёмкостью по 96 А·ч, два инвертора и другое оборудования, которое расположено на цокольном этаже дома (рис. 2).



Рис. 2. Солнечная установка мощностью 5,4 кВт с накопителями энергии

Представленная система подключена к общей сети дома и имеет возможность работать параллельно.

Результаты исследований

В предложенной работе были проведены натурные исследования солнечных электростанций (рис. 1 и 2). Как видно из рисунков фотоэлектрические панели расположены на кровле зданий, а АКБ и другое оборудование в закрытом помещении. Такое расположение дало возможность использовать как энергию потока солнечного излучения, так и накопленную энергию, при этом обе установки были подключены к общей энергосистеме с возможностью заряда от сети. 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 экспериментальные исследования работы установок. На рис. 3 приведены мощностные характеристики отдельного модуля солнечной установки мощностью 500 Вт в летние месяцы, это время работают системы кондиционирования и мощности сети может не хватать.

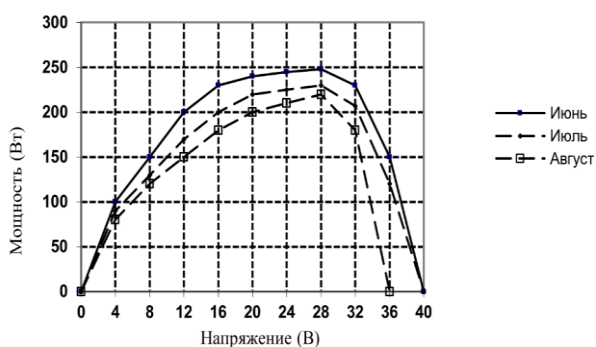


Рис.3 Мощностные характеристики солнечной панели мощностью 250 Вт

Для работы резервной системы необходим накопитель энергии, например 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. Характеристики зарядного тока приведена на рис. 5

Эти исследования очень значимы для дальнейших расчетов зарядки и работы аккумуляторной станции в комбинации с фотоэлектрическими модулями.

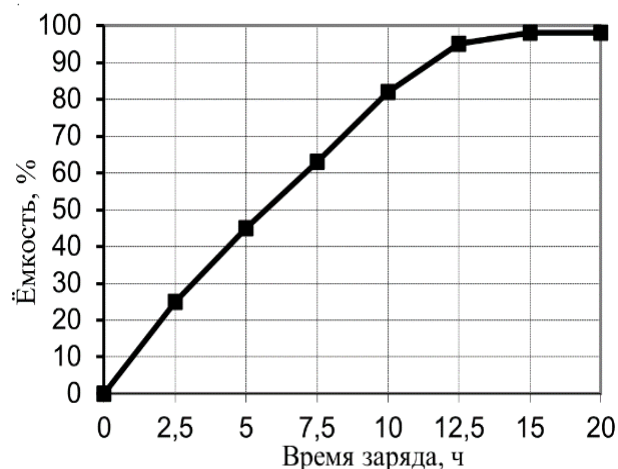


Рис. 4. Зависимость относительной ёмкости заряда АКБ от времени

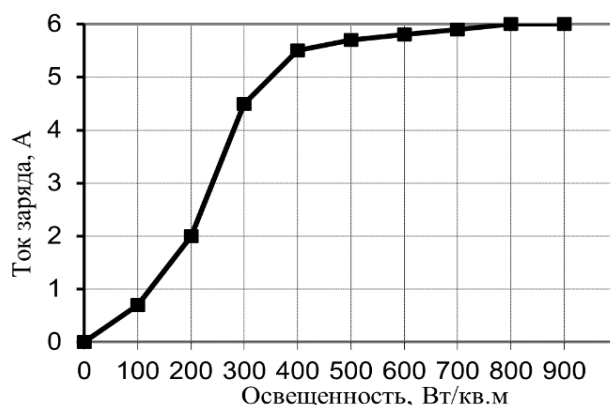


Рис. 5. Зависимость ток заряда от освещённости

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы:

- характеристики представленных в работе энергетических установок на основе солнечных преобразователей энергии, вполне себя оправдывают для обеспечения судового электрооборудования;
- использование высококачественных солнечных панелей с накопителями энергии позволяют длительное время обеспечивать вспомогательное оборудование судна без

электрогенерации основных систем электроснабжения;

- использование солнечных панелей, расположенных на корпусе и аккумуляторных батарей в трюме судна, позволяет автономно обеспечивать судовые энергетические системы, что является важной задачей для аварийного питания судового оборудования;
- использование комбинированных альтернативных источников энергии позволит разработать новую методику использования генерирующих установок для обеспечения автономности работы и надежности систем судового энергетического оборудования, увеличить эффективность работы резервных источников энергии, использовать системы генерации энергии на основе альтернативных источников энергии;
- разработка методики использования различных источников накопления и генерации электрической энергии с учётом специфики судна, в частности использование солнечных энергетических установок позволяет значительно повысить эффективность и экологичность морских перевозок.

Список литературы

1. Возможности повышения эффективности электрогенерации фотоэлектрических модулей / Кувшинов В.В., Гусева Е.В., Березняк В.А., Тиман Д.И., Ивантеев И.С. / Естественные и технические науки. 2022. № 5 (168). С. 266-268.
2. Повышение эффективности работы солнечных и ветровых электростанций за счет применения накопителей энергии / Кувшинов В.В., Какущина Е.Г., Власов Н.А., Березняк В.А., Гхашим М./ Энергетические установки и технологии. 2022. Т. 8. № 1. С. 90-95.
3. Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции результатов измерения вольтамперной характеристики (МЭК 891-87) : ГОСТ 28976-91. – [Введ. 19.04.91]. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 42 с. – (Национальный стандарт России).
4. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 397 с.

References

1. The possibilities of increasing the efficiency of photovoltaic module power generation / Kuvshinov V.V., Guseva E.V., Berezhnyak V.A., Timan D.I., Ivanteev I.S. / Natural and technical Sciences. 2022. No. 5 (168). pp. 266-268.
2. Improving the efficiency of solar and wind power

plants through the use of energy storage / Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Vlasov N.A., Berezhnyak V.A., Ghashim M./ Power plants and technologies. 2022. Vol. 8. No. 1. pp. 90-95.

3. Photovoltaic devices made of crystalline silicon. The method of correction of the results of measuring the voltage characteristic (IEC 891-87) : GOST 28976-91. - [Introduction. 04/19/91]. – Moscow: IPK Publishing House of Standards, 2004. – 42 p. – (National Standard of Russia).
4. Rauschenbach G. Handbook of solar cell design. Moscow: Energoatomizdat, 1983. 397 p.

УДК 504.064.3

Модель системы мониторинга окружающей среды с использованием энергетических установок на основе возобновляемых видов энергии

А.О. Егорова¹, Б.А. Якимович², Н.И. Черкашина³, В.В. Кувшинов⁴

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, ¹ aokalita@sevsu.ru
^{2,3,4} ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия

Статья поступила 10.09.2024 г.; после доработки 11.09.2024 г.

Аннотация

В данной статье предложена обобщённая модель функционирования системы мониторинга состояния окружающей среды. Описанная модель определяет основные направления развития систем мониторинга: автономность, увеличения масштабов, защита информации. Также выделены категории информации, которые подлежат обработке, хранению и передаче в ходе функционирования системы мониторинга.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, экологический мониторинг.

Model of the environmental monitoring system using renewable energy power plants

А.О. Egorova¹, B.A. Yakimovich², N.I. Cherkashina³, V.V. Kuvshinov⁴

¹ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Sevastopol State University",
Universitetskaya, 33, Sevastopol, 299053, Russia, aokalita@sevsu.ru
^{2,3,4} Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Sevastopol State University",
Universitetskaya, 33, Sevastopol, 299053, Russia

Received 10.09.2024 y.; received in final form 11.09.2024 y.

Abstract

This article proposes a generalized model of the functioning of an environmental monitoring system. The described model determines the main directions for the development of monitoring systems: autonomy, scaling up, information protection. Categories of information that are subject to processing, storage and transmission during the operation of the monitoring system are also identified.

Keywords: renewable energy, environmental monitoring.

Введение

Проблема экологической безопасности в текущих техногенных условиях стоит достаточно остро. Вопросу мониторинга окружающей среды уделяется внимание как на государственном уровне, так и на уровне решения отдельных прикладных задач [1-2].

Разрабатываемая система мониторинга

должна отвечать запросам экологической, энергетической и информационной безопасности, поскольку существующие системы не охватывают в полном объёме эти функции, а современность требует от разрабатываемых систем соответствующего уровня возможностей [3]. Такая потребность связана с стремительным ростом уровня экологических и информационных рис-

ков. Существующие технологии позволяют достичь поставленной цели, а применение системного подхода позволит наладить функционирование компонент системы мониторинга.

Построение обобщённой модели системы мониторинга окружающей среды с использованием энергетических установок на основе возобновляемых видов энергии

Принцип функционирования системы мониторинга, удовлетворяющей требованиям экологической, энергетической и информационной безопасности, должен строиться на подсистемах, обеспечивающих соответствие тех или иных показателей требуемым параметрам.

На рисунке 1 представлена обобщённая модель системы.

Устройства $vx1, vx2, \dots, vxn$ – датчики, фиксирующие состояние среды по тем или иным показателям. Устройства $эу1, эу2, \dots, эуп$ – энергетические установки на основе возобновляемых видов энергии.

Принцип функционирования системы, согласно представленной схеме, предполагает наличие следующих модулей:

Модуль входных данных – включает датчики, каналы передачи данных с датчиков, система сбора, обработки и хранения входных данных.

Модуль обработки данных – производит систематизацию полученных данных, определение закономерностей и прогнозирование изменения показателей на основании интеллектуальной обработки имеющихся данных.

Модуль энергообеспечения – включает энергетические установки на основе возобновляемых видов энергии и автоматизированную систему управления.

Модуль удалённой обработки данных – обеспечения функционирования и актуализации данных для представления в государственной информационной системе экологического мониторинга.

Алгоритм функционирования системы в обобщённом виде:

1. Датчики состояния среды фиксируют показатели окружающей среды (температура, концентрация загрязняющих веществ в атмосфере/воде/грунте и т.д.). Комбинация датчиков основана на особенности местности, на которой проводится мониторинг.
2. Информация с датчиков направляется по радиоканалам связи в базу данных состояния

среды (с привязкой к данным о расположении n -го датчика). Передача в базу производится не напрямую, а через точки ретрансляции (усилители-ретрансляторы и/или проводной канал передачи). Выбор технологии беспроводной передачи данных от датчиков до ретрансляторов основан на расстоянии, особенности местности и защищенности канала от нарушения целостности и доступности информации [4-6].

3. Из базы данных (рис. 2) сведения направляются на обработку и структурирования для представления в государственной информационной системе, а также для формирования обучающих выборок для модуля прогнозирования.



Рис 1. Обобщённая модель системы

Взаимодействие государственной информационной системы с базой данных обязательно осуществляется посредством проводного канала связи с применением средств криптографической защиты информации при передаче.

Выполняется прогнозирование состояния окружающей среды на основе регрессионной модели машинного обучения.

Данные о текущем и прогнозируемом состоянии окружающей среды направляются на автоматизированную систему управления источниками энергии для корректировки модели энергообеспечения (переход от классических источников к возобновляемым и наоборот, или частичное применение).

Механизм информационного обмена между модулями и их компонентами происходит в одностороннем порядке.

Коммутация разрабатываемой системы с государственной информационной системой позволяет обеспечить выполнение функций государственного контроля, а также позволяет в дальнейшем обеспечить взаимосвязь различных систем мониторинга для расширения функций и точности прогнозирования состояний.



Рис. 2. Структура базы данных состояния окружающей среды

Заключение

Таким образом, предложена обобщённая модель системы мониторинга окружающей среды с использованием энергетических установок на основе возобновляемых видов энергии. Такая система должна выполнять функции по обеспечению экологической, энергетической и информационной безопасности. Дальнейшая разработка системы требует сбор исходных данных для анализа и обучения прогнозирующего

модуля.

Список литературы

1. Егорова, А. О. Анализ исследований и правового регулирования систем мониторинга окружающей среды / А. О. Егорова, Б. А. Якимович // Энергетические установки и технологии. – 2024. – Т. 10, № 2. – С. 88-92.
2. Егорова, А. О. Анализ систем мониторинга состояния окружающей среды / А. О. Егорова // Инженерно-физические проблемы новой техники : Сборник материалов XIV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвящённой 85-летию со дня рождения заслуженного работника ВШ РФ, доктора физико-математических наук, профессора М.И. Киселёва, Москва, 17–19 марта 2020 года / Редколлегия: А.А. Крансуцкая, Е.В. Тумакова, Е.В. Кречетова. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Диона», 2020. – С. 178-181.
3. Assessment of Information Security in Integrated Systems / T. Y. Khashirova, I. I. Mamuchiev, M. I. Mamuchieva [et al.] // Proceedings of the 2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", T and QM and IS 2021, Yaroslavl, 06–10 сентября 2021 года. – Yaroslavl, 2021. – P. 201-205.
4. Гончаренко, Ю. Ю. Особенности идентификации радиолокационных целей при обеспечении безопасности критической информационной инфраструктуры / Ю. Ю. Гончаренко // Вопросы кибербезопасности. – 2024. – № 1(59). – С. 124-131.
5. Карцан И.Н. Аспекты безопасности спутниковой связи / И.Н. Карцан, Д.С. Кобозев // Естественные и технические науки. 2024. № 6(193).
6. Карцан И.Н. Математическая модель защищенного канала связи для морских исследований методом стеганографии / И.Н. Карцан // Информатика. Экономика. Управление. 2024. Т. 3. № 2. С. 415-424.

References

1. Egorova, A. O. Analysis of research and legal regulation of environmental monitoring systems / A. O. Egorova, B. A. Yakimovich // Energy installations and technologies. – 2024. – T. 10, No. 2. – P. 88-92.
2. Egorova, A. O. Analysis of environmental monitoring systems / A. O. Egorova // Engineering and

physical problems of new technology: Collection of materials of the XIV All-Russian scientific and technical conference with international participation, dedicated to the 85th anniversary of the birth of Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor M.I. Kiselev, Moscow, March 17-19, 2020 / Editorial board: A. A. Kransutskaya, E. V. Tumakova, E. V. Krechetova. - Moscow: Limited Liability Company "Diona", 2020. - P. 178-181.

3. Assessment of Information Security in Integrated Systems / T. Y. Khashirova, I. I. Mamuchiev, M. I. Mamuchieva [et al.] // Proceedings of the 2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", T and QM and IS 2021, Yaroslavl, 06–10 сентября 2021 года. – Yaroslavl, 2021. – P. 201-205.
4. Goncharenko, Yu. Yu. Features of identification of radar targets in ensuring the security of critical information infrastructure / Yu. Yu. Goncharenko // Cybersecurity Issues. - 2024. - No. 1 (59). - P. 124-131.
5. Kartsan I.N. Aspects of satellite communications security / I.N. Kartsan, D.S. Kobozev // Natural and technical sciences. 2024. No. 6 (193)
6. Kartsan I.N. Mathematical model of a secure communication channel for marine research using the steganography method / I.N. Kartsan // Computer Science. Economics. Management. 2024. Vol. 3. No. 2. P. 415-424.

УДК 620.92, 621.311.24

Комбинированные энергетические установки с накопителями энергии для обеспечения судовых систем питания

А.С. Жильцов¹, Е.Н. Ходак¹, А.Н. Фролова¹, А.Г. Косий¹, А.Д. Касницкий¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Университетская, 33,2. Севастополь, 299053, Россия, leftysingle@gmail.com

Статья поступила 10.09.2024 г.; после доработки 13.09.2024 г.

Аннотация

Использование солнечных электрогенерирующих установок позволяет обеспечивать необходимые потребности энергосистемы. С целью уменьшения негативного влияния непостоянства потока солнечной радиации на работу фотоэлектрических систем необходимо дополнительно использовать аккумулирующие компоненты

Ключевые слова: солнечная генерация, фотоэлектрические преобразователи, накопители энергии, инвертор.

Combined energy plants with energy storages for providing ship power systems

A.S. Zhiltsov, E.N. Khodak, A.N. Frolova, A.G. Kosii, A.D. Kasnitsky
¹Sevastopol State University, 33 Universitetskayast., Sevastopol, 299053, Russia, ANFrolova@sevsu.ru

Received 10.09.2024 y.; received in final form 13.09.2024 y.

Abstract

The use of solar power generating installations allows us to meet the necessary needs of the energy system. In order to reduce the negative impact of the variability of solar radiation flux on the operation of photovoltaic systems, it is necessary to additionally use storage components.

Keywords: solar generation, photovoltaic converters, energy storage devices, inverter.

Введение

Для качественной работы электрооборудования в нестационарных условиях, при длительных промежутках времени, авторами предложены системы малой электрогенерации с накопителями энергии для обеспечения вспомогательного оборудования.

Такие системы можно назвать малыми резервными источниками питания, которые могут использоваться для обеспечения различного судового оборудования. Резервные системы питания и накопления энергии, используемые при работе систем на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в частности солнечных установок, позволяют значительно уменьшить нега-

тивные эффекты, возникающие из-за нестабильности падения потока солнечной радиации. Такими системами могут являться как накопители тепловой или электрической энергии, так и дополнительные генерирующие установки [1].

Предложенные системы малой электрогенерации позволяют обеспечивать на судне работу оборудования связи, аварийного оповещения и др. устройств, которые необходимо постоянно поддерживать в рабочем состоянии. Из всех типов и видов ВИЭ предложенным требованиям наиболее соответствуют фотоэлектрические установки с накопителями энергии [2].

Постановка задачи

В представленной работе были проведены в

натурных условиях экспериментальные исследования вольтамперных и мощностных характеристик солнечных фотоэлектрических модулей при совместной работе с накопителями энергии. Целью работы было использование предложенных систем в судовых энергокомплексах. Задача реализовывалась на примере обеспечения электроэнергией судовой электросистемы малой мощности с помощью автономной фотоэлектрической станции. Для расчета количества используемых солнечных батарей учитывались такие факторы, как средний объем электропотребления, вид используемых батарей и т. д. Выбираемая мощность солнечных батарей (СБ) полностью зависит от размера и качества используемого фотоэлемента [3], преимущество такого устройства в его полной безопасности для внешней среды. Чтобы произвести расчет солнечных батарей для энергосистемы нужно вычислить все источники потребления электроэнергии, время их работы и общую мощность.

Судовые системы и промышленные объекты потребляют электрическую нагрузку, превышающую возможности одного аккумулятора. В том случае, если система солнечной энергетики рассчитана на большое количество электроприборов, необходимо создание массива аккумуляторных батарей по примеру подобного объединения солнечных панелей. Во избежание проблем неравномерной зарядки и разрядки, объединенных в единый массив аккумуляторов необходимо использовать устройства одной модели, а еще лучше – одной партии. Система получения электроэнергии от солнца всегда снабжена контролером, который управляет зарядом аккумулятора.

Результаты исследований

Сейчас практически все жилье можно обеспечить приборами, работающими от сети в 12 или 24 Вольта, в том числе холодильниками, телевизорами и т. д. Однако разводка с таким напряжением по всему дому не имеет смысла, так как мощность тока будет очень велика. Следовательно, при реализации такой задумки необходим дорогой кабель с большим сечением жил и будут велики потери от электрического сопротивления. Поэтому в непосредственной близости от аккумуляторных батарей устанавливаются инверторы – устройства для преобразования электрического напряжения. Схема силовой части электроэнергетической системы приведена на рис.1. Площадь фотоэлектрической установки (ФЭУ), состоящей из 2-х модулей, составляет 3

м². Значения солнечной инсоляции принимаем для широты Севастополя (44°с.ш.). При использовании фотоэлектрических преобразователей на основе кристаллического кремния с практическим КПД – 17 % можно достичь максимальной мощности ФЭУ 0,5 кВт [4]. Среднее время активного солнечного излучения считаем 8 часов (с 8 до 16 часов), при этом с учетом среднесуточного значения солнечной инсоляции выработка будет не более 1,5 кВт ч (пиковое время до 3 ч в сутки). Как видно из схемы электроснабжения солнечная установка, включая и аккумуляторы, должна обеспечивать только неотключаемую нагрузку (ЩНН-0,4). Для расчета элементов схемы надо составить суточный график нагрузки неотключаемых потребителей.

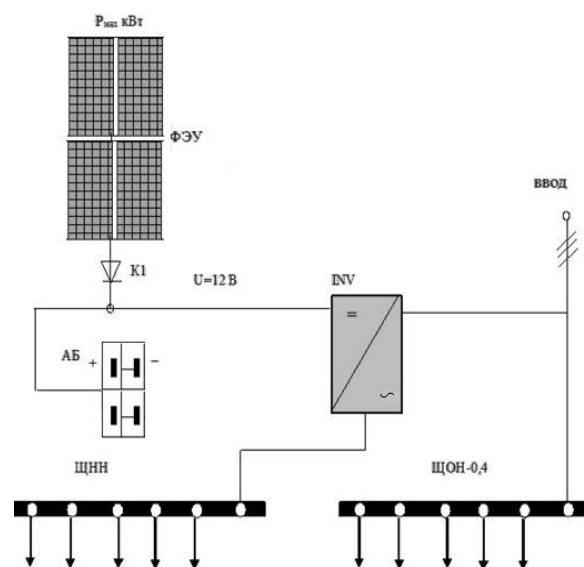


Рис. 1. Силовая часть схемы резервной установки электроснабжения малой мощности: АК - аккумуляторная батарея; INV- инвертор; KV - реле напряжения; K1 – выпрямитель; ЩНН - шина, питающая здание; ЩОН - шина общей сети; ФЭУ -солнечная установка

Установка работает следующим образом. Связка солнечная батарея - аккумулятор выдает напряжение днем непосредственно от солнечной батареи, ночью - от заряженного аккумулятора. Инвертор оценивает уровень напряжения, идущий от связки, солнечная батарея - аккумулятор, и, при достаточном уровне напряжения, ведет его преобразование от постоянного 12В в переменное 220 В, выдавая в сеть нагрузок второй шины. Если же уровень напряжения связки солнечная батарея - аккумулятор ниже номинального, то тогда происходит отключение от этой связки (необходимо, чтобы взошло солнце и до

зарядился аккумулятор) и переключается на питание от городской сети. Установленные бытовые приборы и машины, которые планируется питать от солнечной ЭУ: осветительные приборы -150 Вт; три телевизора -250 Вт; два холодильника -300 Вт; персональный компьютер -200 Вт; электрочайник -2000 Вт; электрокофеварка-650 Вт; тостер -650 Вт; печь СВЧ -1000 Вт; вытяжка -250 Вт; радио и др. аппаратура -70 Вт. Как видно из схемы электроснабжения солнечная установка, включая и аккумуляторы, должна обеспечивать только неотключаемую нагрузку (ЩНН-0,4). Для расчета элементов схемы надо составить суточный график нагрузки неотключаемых потребителей. Время работы выбрано ориентировочно, считаем, что семья работающая.

Найдем энергию, которую израсходовали за сутки неотключаемые ЭП:
 $W_{\text{эл}} = 0.15 \cdot 7 + (0.085 \cdot 3 + 0.25 \cdot 6) + 0.3 \cdot 25 \cdot 0.4 + 0.2 \cdot 6 + 2.0 \cdot 0.25 + 0.65 \cdot 0.33 + 0.65 \cdot 0.166 + 1.0 \cdot 0.15 + 0.25 \cdot 4 + 0.07 \cdot 6 = 9,28 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$

После инвертора ($\eta_{\text{ин}} = 0,94$) $W_{\text{эл}} = 9,87 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$ АКБ выбираем из условия, что в отсутствие солнца аккумуляторы обеспечат неотключаемые ЭП в течение суток. При напряжении сети постоянного тока равно 24 В необходимая емкость составит: $C_{\text{ном}} = W/U = 9870/24 = 411,3 \text{ А}\cdot\text{ч}.$ Можно выбрать аккумуляторы фирмы Prosolar-R серии RA12-200D - 4 штуки. Заряд в течение 12 часов током 40А (энергия заряда $\approx 28 \cdot 40 \cdot 12 = 12,960 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$) Габариты: 522*240*219 мм, масса – 62,5 кг.

Защита от глубокого разряда – реле напряжения KV. Конечное напряжение разряда на одну банку 1,75 В. Т. о., для всей батареи конечное напряжение составит $12 \cdot 1,75 = 21 \text{ В}.$ В итоге согласно схеме, на рис.1, и нагрузочной характеристике для нашей солнечной установки мы выбираем 4 АКБ типа «Prosolar» серии RA12-200D, ёмкостью по 60 А·ч (с учётом запаса на 3 суток), соединённых последовательно-параллельно (по 2 АКБ последовательно и обе цепи с АКБ параллельно). Рассчитаем необходимое количество модулей для зарядки АКБ. Общая ёмкость АКБ: $20 \times 4 = 80 \text{ А}\cdot\text{ч}.$ Выбираем модули типа KV-260, каждый модуль может зарядить цепочку из 2-х модулей за 6 часов (при максимальной инсоляции), с учётом среднесуточной инсоляции пиковые часы составляют не более 3 ч [5], следовательно, необходимо иметь 4 ФЭМ, типа KV-260. Для каждой из 2-х цепочек АКБ (по 2 АКБ) необходимо для заряда иметь по 2 модуля типа KV-260. Соответственно необходимо иметь 2 цепочки модулей (по 2 модуля соединённых последовательно) на каждую пару АКБ.

Изменение относительной емкости выражается как функция: $c=f(t)$, при постоянной освещенности $E=850 \text{ Вт/м}^2.$ 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. Ток заряда соответствует ёмкости делённой на 10,6. Большой ток на аккумулятор подавать нельзя, т.к. он выйдет из строя. Для данного типа ток составляет 6 А, рассчитаем время заряда одного аккумулятора:

$$t_{\text{заряда}} = \frac{C}{I_{\text{заряда}}} \cdot 1,2 = \frac{60}{6} \cdot 1,2 = 12 (\text{часов}),$$

где C – ёмкость аккумулятора (А·ч), $I_{\text{зар}}$ – ток заряда (А).

Свинцово-кислотные аккумуляторы глубокого разряда широко используются для солнечных установок, потому что они могут снабжать потребителей энергией в то время, когда солнечной энергии недостаточно. Также, аккумуляторы питают нагрузку в резервных системах электроснабжения при перебоях в централизованном электроснабжении. Наиболее популярны герметизированные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (ГСКАБ), потому что они не требуют обслуживания и не выделяют при своей работе взрывоопасные газы, в отличие от аккумуляторов ГСКАБ имеют специальные клапаны, в которых выделяющиеся газы рекупируются обратно в воду и возвращаются в электролит. Аккумуляторы Prosolar серий D (что означает deep cycle) специально спроектированы для того, чтобы ежедневно заряжаться и разряжаться, они также лучше, чем другие ГСКАБ переносят нахождение в состоянии неполного заряда, которые часто имеет место в солнечных энергосистемах. На рисунке 2 представлены зарядные характеристики этих аккумуляторов.

В аккумуляторах Prosolar применена специальная формула пасты, пластины электродов толще, а полимерный корпус более крепкий и долговечный. В аккумуляторах имеются гасители пламени для каждого элемента для увеличения безопасности. Более высокая компрессия между электродами обеспечивает улучшенный контакт между электродами, стекловолоконным матом и электролитом, что также увеличивает надежность и эффективность аккумуляторов. Благодаря этому в аккумуляторах нет расслоения электролита по плотности — а именно при таком расслоении активно формируются кристаллы сульфатов на пластинах аккумуляторов. Сульфатация резко снижает срок службы аккумуляторов.

муляторов и их полезную емкость. Основные области применения: солнечные энергосистемы; автономные и резервные системы электроснабжения. Влияние температуры на характеристики АКБ представлены на рисунке 3.

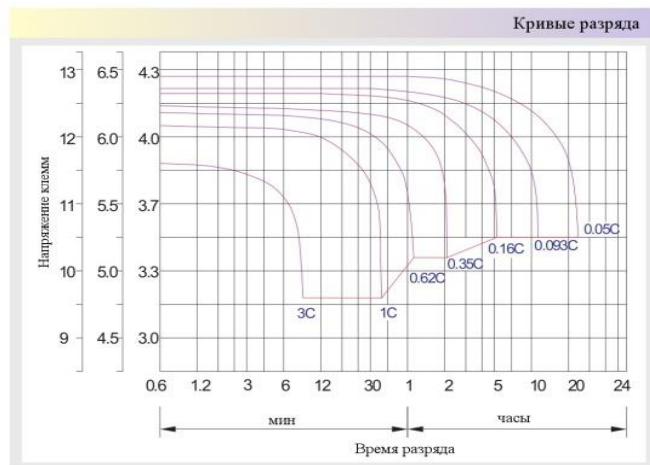


Рис. 2. Разрядные характеристики аккумуляторов Prosolar-RD

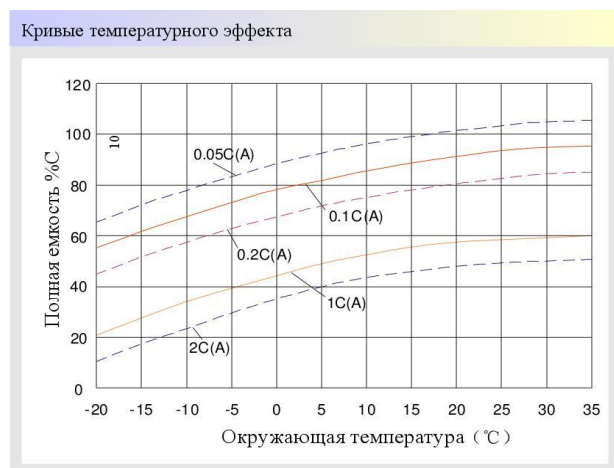


Рис. 3. Влияние температуры на полезную емкость АКБ

Аккумуляторы Prosolar-R хорошо известны стабильностью и надежностью своей работы. Они просты в обслуживании, при этом они обеспечивают безопасное и правильное функционирование оборудования. Эти аккумуляторы способны выдерживать перезаряд, глубокий разряд, вибрацию и удары. Они также могут длительное время находиться в режиме ожидания. Герметичность конструкции. Уникальная конструкция аккумуляторов Prosolar-R и технология опечатывания гарантируют невозможность утечки электролита из отверстий или корпуса устройства. Эта особенность позволяет аккумуляторам

Prosolar-R эффективно и безопасно работать в любом положении. Аккумуляторы Prosolar-R классифицируются как «исключающие возможность утечки» и соответствуют требованиям Международной организации морского транспорта. Аккумуляторы Prosolar-R имеют длительный срок службы в буферном или циклическом режиме. Функционирование, не требующее обслуживания. В течение установленного времени работы аккумулятора в буферном режиме не нужно контролировать удельную массу электролита или добавлять воду. Аккумуляторы Prosolar-R оснащены безопасной клапанной системой низкого давления, которая работает при давлении 0,07-0,42 атм. Эта система предусмотрена для сброса избытка газа в том случае, если давление газа превысит нормальный уровень. Эта особенность предотвращает чрезмерное скопление газа в аккумуляторе. Клапанная система низкого давления в комбинации с необычайно высокой рекомбинационной эффективностью делают аккумуляторы Prosolar-R одними из самых безопасных герметичных свинцовых аккумуляторов. Усиленные решетки из свинцово-кальциевых сплавов в аккумуляторах Prosolar-R обеспечивают дополнительный срок службы при применении и буферного, и циклического режимов работы, а также в условиях глубокого разряда. Из-за использования решеток из свинцово-кальциевых сплавов аккумуляторы Prosolar-R могут долгое время находиться в резерве без подзаряда. На рисунке 4 представлены характеристики срока службы аккумуляторов.

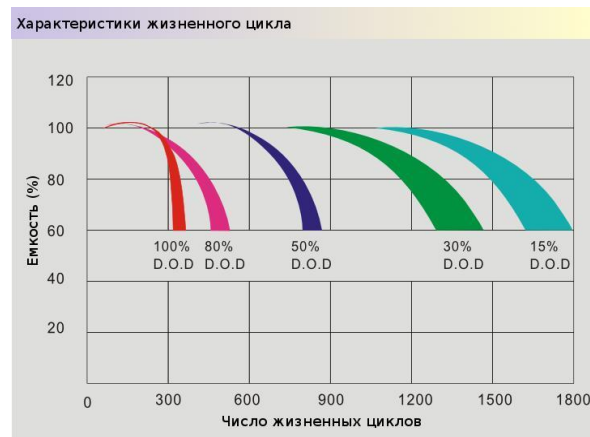


Рис. 4. Срок службы аккумуляторных батарей в циклах

Заключение

Предложенные резервные системы питания не заменяют основные генерирующие мощности

и не усложняют их работу, при этом они эффективно помогают работе основных систем питания. Также эти системы позволяют долгое время обходиться без поставок топлива и без непосредственного участия в их работе технического персонала, что особенно важно для обеспечения судовых энергетических систем. Использование предложенных систем позволяет значительно сократить потребление органических топлив и уменьшить негативное влияние на экологию, что важно для морского транспорта и прибрежных территорий, которые как правило являются и курортно-рекреационными зонами.

The method of correction of the results of measuring the voltage characteristic (IEC 891-87) : GOST 28976-91. - [Introduction. 04/19/91]. - Moscow: IPK Publishing House of standards, 2004. - 42 p. - (National Standard of Russia).

Список литературы

1. Возможности повышения эффективности электрогенерации фотоэлектрических модулей / Кувшинов В.В., Гусева Е.В., Березняк В.А., Тиман Д.И., Ивантеев И.С. / Естественные и технические науки. 2022. № 5 (168). С. 266-268.
2. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 397 с.
3. Изменение мощностных характеристик фотоэлектрических установок при различных климатических факторах / Кувшинов В.В. // Энергетические установки и технологии. 2017. Т. 3. № 2. С. 61-66.
4. 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]. - Москва: ИПК Издательство стандартов, 2004. - 42 с. - (Национальный стандарт России).

References

1. The possibilities of increasing the efficiency of photovoltaic module power generation / Kuvshinov V.V., Guseva E.V., Bereznayak V.A., Ti-man D.I., Ivanteev I.S. / Natural and technical Sciences. 2022. No. 5 (168). pp. 266-268.
2. Rauschenbach G. Handbook of solar cell design. Moscow: Energoatomizdat, 1983. 397 p.
3. Changing the power characteristics of photovoltaic installations under various climatic factors / Kuvshinov V.V. // Energy installations and technologies. 2017. Vol. 3. No. 2. pp. 61-66.
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.

УДК 620.92

Комбинированная энергетическая система с использованием фотоэлектрических преобразователей и топливных элементов

Х.А. Исса¹, С.П. Муровский², Н.В. Шахова¹, Е.В. Гусева¹, В.В. Кувшинов¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, ¹hayderissa10@gmail.com, ²murovski@inbox.ru, ¹nvshakhova@mail.sevsu.ru, ¹evguseva@mail.sevsu.ru, ¹VVKuvshinov@mail.sevsu.ru²Дальневосточный государственный университет путей сообщения, ул. Серышева, 47, г. Хабаровск, 680021, Россия

Статья поступила 05.09.2024 г.; после доработки 09.09.2024 г.

Аннотация

Представлен метод определения размеров автономной гибридной системы с фотоэлектрическими (PV) солнечными панелями, водородной подсистемой и аккумулятором. Аккумулятор и водородная подсистема, состоящая из топливного элемента (ТЭ), электролизера и резервуара для хранения водорода, действуют как система хранения и резервирования энергии. Метод определения размеров, основанный на оптимизации, используется для технического описания компонентов гибридной системы.

Ключевые слова: фотоэлектрические преобразователи, топливный элемент, электролиз, солнечная установка, система автоматического управления питанием.

Combined energy system using photoelectric converters and fuel cells

H.A. Issa¹, S.P. Murovskiy², N.V. Shakhova¹, E.V. Guseva¹, V.V. Kuvshinov¹Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, ¹hayderissa10@gmail.com, ²murovski@inbox.ru, ¹nvshakhova@mail.sevsu.ru, ¹evguseva@mail.sevsu.ru, ¹VVKuvshinov@mail.sevsu.ru²Far Eastern State University of Railway Engineering, 47 Serysheva str., Khabarovsk, 680021, Russia

Received 05.09.2024 y.; received in final form 09.09.2024 y.

Abstract

A method for determining the size of an autonomous hybrid system with photovoltaic (PV) solar panels, a hydrogen subsystem and a battery is presented. The battery and the hydrogen subsystem, consisting of a fuel cell (TE), an electrolyzer and a hydrogen storage tank, act as an energy storage and backup system. The optimization-based sizing method is used for the technical description of the components of a hybrid system.

Keywords: photovoltaic converters, fuel cell, electrolysis, solar installation, automatic power management system.

Введение

Моделирование и симуляция гибридных систем включает в себя учет сложных взаимодействий между различными компонентами, такими как фотоэлектрические панели, ТЭ и батареи. Это требует учета таких факторов, как солнечное излучение, температура, требуемая нагрузка, эффективность системы и стратегии управления.

Разрабатывая точные модели и симуляции, исследователи и инженеры могут анализировать производительность гибридных PV/ТЭ/АК систем в различных условиях эксплуатации и оптимизировать их конструкцию и работу. Кроме того, моделирование и симуляция позволяют исследовать различные стратегии и методы управления энергопотреблением для повышения про-

изводительности системы. Эти методы позволяют оценить различные сценарии, такие как подключение к сети или автономная работа, оптимальные размеры компонентов и влияние различных возобновляемых источников энергии [1]. В текущем исследовании предлагается система управления питанием (PMS), которая гарантирует непрерывную подачу питания и заряжает аккумулятор с максимальной заявленной скоростью зарядки. Метод управления смягчает переходные изменения фотоэлектрической энергии и мощности нагрузки за счет использования накопителя энергии (батареи). Это приводит к предотвращению негативной работы подсистемы водорода [2]. Более того, это устраняет необходимость сброса нагрузки в системе за счет согласования потребляемой мощности от двух источников (фотоэлектрических и топливных элементов) с потребностями нагрузки и электролизера. Преимущество батареи также заключается в том, что топливный элемент постепенно подает питание на нагрузку, чтобы защитить ее от внезапных нагрузок и, это таким образом, продлевает срок службы топливного элемента. Результаты моделирования показывают распределение мощности между источниками, нагрузками и батареями при типичном сценарии ежедневной нагрузки и при переменных погодных условиях. В этой работе основное внимание уделялось стратегии управления, поэтому моделированию воздушных и водородных компрессоров уделялось меньшее внимания [3-5].

Постановка задачи

Простейший фотоэлектрический элемент представлен так, как показано на рисунке (1).

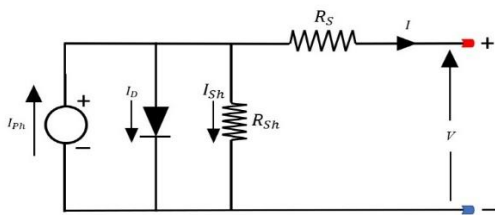


Рис.1. Фотоэлектрический элемент (модель с одним диодом)

Модель с одним диодом представляет работу фотоэлектрической панели как одного диода, подключенного параллельно с источником тока и резистором, соединенным последовательно. Уравнение выходного тока фотоэлектрической панели можно представить как:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR \times R_S}{n \times VT}\right) - 1 \right] - (V + IR \times R_S)/R_L \quad (1)$$

где: I - выходной ток, I_L - фототок, I_0 - обратный ток насыщения, V - выходное напряжение, IR - обратный ток диода, R_S - последовательное сопротивление, n - коэффициент идеальности диода, VT - тепловое напряжение, R_L сопротивление нагрузки [6].

Модель с пятью параметрами. Эта модель расширяет модель с одним диодом, рассматривая дополнительные параметры для учета более сложного поведения фотоэлектрической панели. Уравнение выходного тока фотоэлектрической панели в этой модели можно представить как:

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR \times R_S}{n \times VT}\right) - 1 \right] - (V + IR \times R_S)/R_L - a \times (T - T_{ref}) \quad (2)$$

где: a - температурный коэффициент выходного тока; T - рабочая температура; T_{ref} - эталонная температура [7].

Таблица 1. Характеристики солнечного элемента, использованного в работе.

Rated Power	340 W
Voltage at Maximum power (V_{mp})	37.8 V
Current at Maximum power (I_{mp})	9 A
Open circuit voltage (V_{oc})	44.5 V
Short circuit current (I_{sc})	9.57 A
Total number of cells in series (N_s)	60

Эти уравнения, наряду с другими параметрами и переменными, специфичными для фотоэлектрической панели и моделируемой системы, используются в Simulink для создания математического представления поведения фотоэлектрической системы.

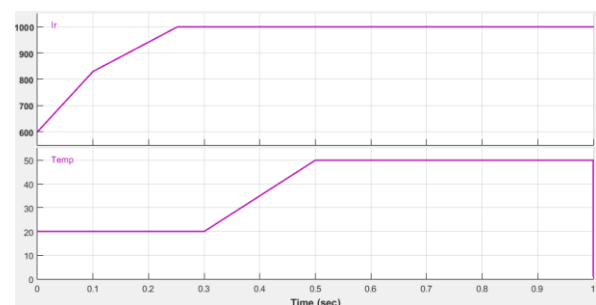


Рис.2. Входные данные излучения и температуры (в фотоэлектрической модели)

На рисунке 3 показана схема автономной PV/ТЭ/АК системы (фотоэлектрических/топливных элементов/аккумуляторов), состоящей из

солнечных фотоэлектрических элементов, преобразователей постоянного тока, топливных элементов (ТЭ), электролизеров, резервуаров с водородом и бытовой нагрузки. ТЭ действуют как резервные системы хранения, тогда как солнечная энергия работает как основной источник. Топливный элемент служит вторичным (вспомогательным) источником для обеспечения необходимой мощности [7].

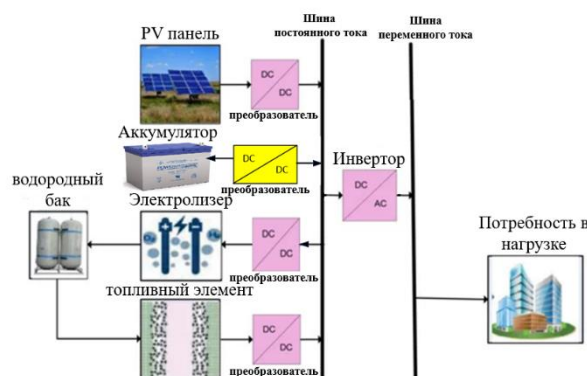


Рис. 3. Блок-схема гибридной автономной системы возобновляемой энергии

Шина постоянного тока соединяет фотоэлектрические панели и топливный элемент PEM с модулями хранения. И система фотоэлектрических панелей, и топливный элемент PEM подключаются к шине постоянного тока через повышающий преобразователь постоянного тока. Мы используем двунаправленный преобразователь для подключения аккумулятора и понижающий преобразователь для подключения электролизера к шине постоянного тока. Эти трансформаторы управляют блоками системы и регулируют поток мощности между компонентами системы. Эти преобразователи управляют блоками системы и регулируют поток энергии между компонентами системы [5]. Наконец, источники питания и накопители подключаются к бытовой нагрузке через инвертор. На рисунке 4 показаны изменения температуры, инсоляции и ветра в течение типичного зимнего дня. Моделирование было проведено для жилой нагрузки с пиковой нагрузкой 3 кВт.

Пиковая нагрузка составляет 3 кВт, а минимальная нагрузка 1 кВт. В этой работе батарея рассматривалась как основной резервный источник, поэтому были проведены расчеты по выбору подходящего количества батарей для системы.

Чтобы определить размер фотоэлектрической системы, необходимо найти общую энергию.

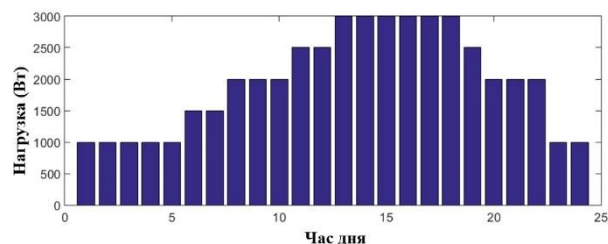


Рис. 4. Изменения температуры, инсоляции и ветра в течение типичного зимнего дня

Требуемая энергия для системы, равна энергии, необходимой электролизёру, добавленной к энергии, необходимой нагрузке в дневное время, в дополнение к энергии, необходимой зарядному устройству, с учётом количества часов работы [7]. Чтобы получить мощность фотоэлектрических панелей учитывались погодные условия, в том числе уровень освещенности и температуры, в течение года. Для этого использовался код MATLAB для расчета размера компонентов гибридной системы и определения рабочего времени каждого компонента. На рисунке 5 показаны изменения температуры, инсоляции и ветра в течение типичного зимнего дня.

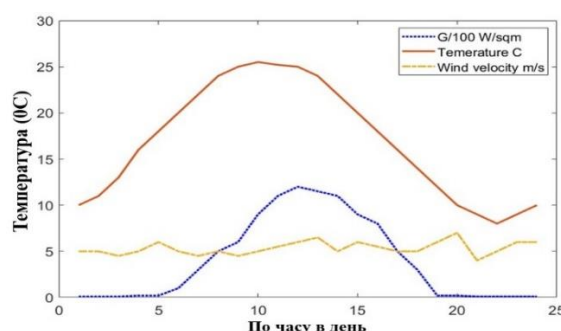


Рис. 5. Изменение температуры, инсоляции и ветра в обычный зимний день

По данным производителя, выработка водорода с помощью электролизера мощностью 10 кВт составляет 2000 л в час. Поскольку он проработал 8 часов, общий объем выработанного водорода составляет 16 000 л. Однако, по-видимому, выработанный водород составляет 14 500 л. Причина этого в том, что электролизер не работает на максимальной мощности из-за изменений в солнечном излучении, и, таким образом, энергия, генерируемая фотоэлектрическими панелями, со временем изменяется.

Топливный элемент работает с 18:00 до 23:00 (всего 5 часов), как показано на рисунке 6. В течение этого времени топливный элемент обеспечивает общую нагрузку жилого дома.

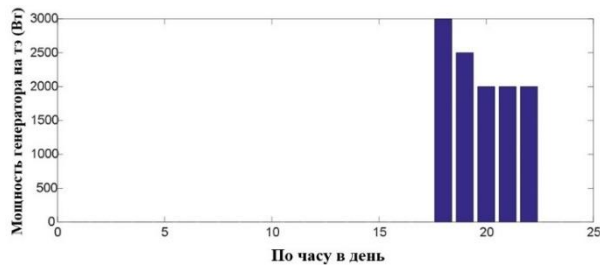


Рис. 6. Выходная мощность генератора топливных элементов

Выработанная и потребленная мощность в течение одного дня приведена на рисунке 7. Топливный элемент работает в течение 5 часов, с 18:00 до 11:00. Однако аккумуляторы обеспечивают нагрузку с 12:00 ночи до 8:00 утра и с 17:00 до 18:00 вечера, как показано на рисунке 7. Когда заряд батареи положительный, это означает, что батарея разряжается. Во время зарядки аккумулятора происходит разряд отрицательного заряда.

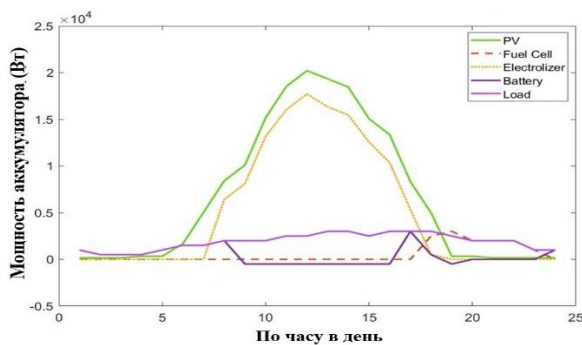


Рис. 7. Выработанная и потребленная электроэнергия в течение одного дня

На рисунке 8 показана модель Simulink автономной системы PV/FC/Battery. Система состоит из фотоэлектрических панелей, PEM-FC, электролизера, батареи и бытовой нагрузки.

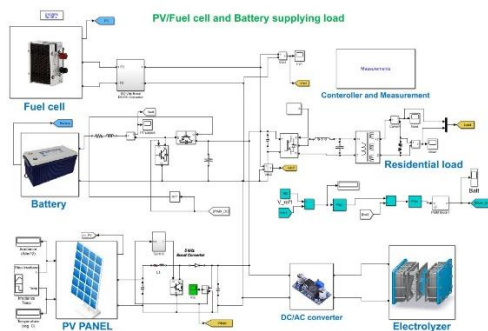


Рис. 8. Модель Simulink автономной системы PV/ТЭ/АК

Результаты исследования

Ввод солнечного излучения в фотоэлектрическую модель показан на рисунке 9. Значение освещенности начинается от 600 и увеличивается до 1000 Вт/м².

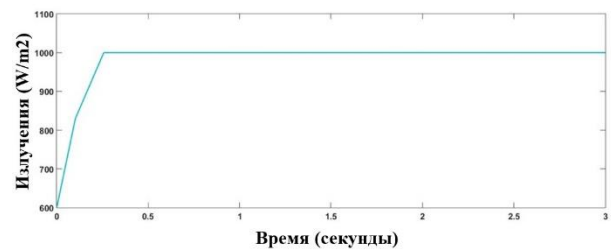


Рис. 9. Вход солнечного излучения в фотоэлектрическую модель

Режимы работы автономной фотоэлектрической/топливной/аккумуляторной энергосистемы могут варьироваться в зависимости от конкретной конструкции и конфигурации. Однако, как правило, существует несколько основных режима работы.

Режим PV. В этом режиме система работает исключительно за счет солнечной энергии, улавливаемой фотоэлектрическими (PV) панелями. Фотоэлектрические панели преобразуют солнечный свет в электричество, которое затем используется для непосредственного питания нагрузки (PL+PEL), хранится в аккумуляторе или для производства водорода для последующего использования. В дневное время, когда доступна солнечная энергия, система работает в фотоэлектрическом режиме.

В те периоды, когда солнечная энергия доступна или ее достаточно для удовлетворения потребностей нагрузки, основным источником питания системы являются фотоэлектрические батареи, обеспечивающие электричество для непосредственного питания нагрузки или зарядки аккумулятора для последующего использования.

На рисунке 10 показана мощность, вырабатываемая фотоэлектрическими панелями в случае фотоэлектрического режима. На рисунке 11 показан ток электролизера в случае фотоэлектрического режима. ток имеет синусоидальную форму с пиковым значением около 25 А.

Гибридный режим. В этом режиме фотоэлектрические панели и технологии топливных элементов работают вместе, обеспечивая удовлетворение потребности в нагрузке. Фотоэлектрические панели генерируют электроэнергию

из солнечного света, а любая избыточная энергия, которая не нужна немедленно, сохраняется в батарее для дальнейшего использования.

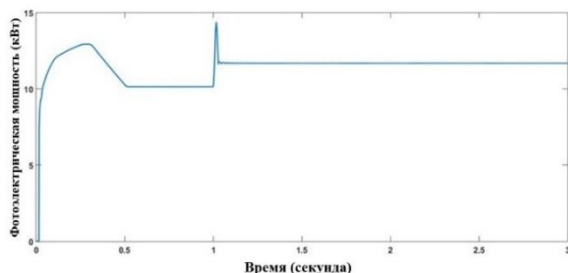


Рис.10. Солнечная мощность в режиме PV

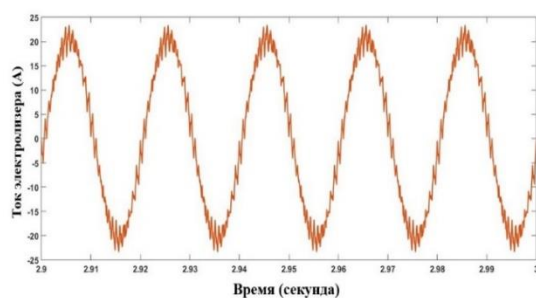


Рис.11. Ток электролизера в фотоэлектрическом режиме

Однако, если энергии, генерируемой фотоэлектрическими панелями, недостаточно для удовлетворения потребности нагрузки, активируется система топливных элементов. Топливный элемент преобразует водород и кислород в электрическую энергию, обеспечивая дополнительную мощность для удовлетворения требований нагрузки. Таким образом, гибридный режим обеспечивает надежное и непрерывное электропитание за счет использования как возобновляемых источников энергии (PV), так и резервного источника питания (топливного элемента), когда это необходимо.

На рисунке 12 показано напряжение топливного элемента, а на рисунке 13 ток топливного элемента в гибридном режиме.

Режим топливных элементов: В этом режиме проводится тематическое исследование для моделирования энергетической системы фотоэлектрическая батарея-электролизер-топливный элемент в реальном сценарии. Исследуется предлагаемая стратегия, согласно которой водород является долгосрочным хранилищем энергии для балансировки сезонных колебаний возобновляемой генерации и спроса на нагрузку, а батарея является краткосрочным хранилищем

энергии для балансировки ежедневных колебаний возобновляемой генерации и нагрузки. Ночью фотоэлектрические панели не производят электроэнергию. Таким образом, основным источником является топливный элемент.

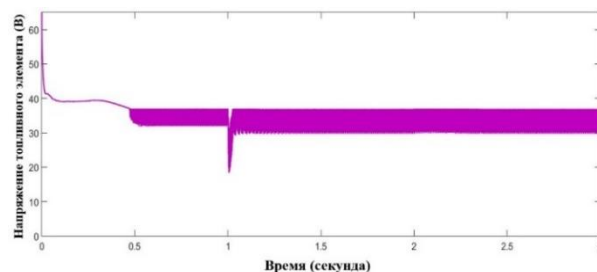


Рис.12. Напряжение топливного элемента

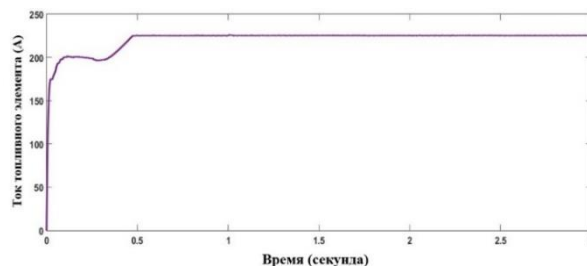


Рис.13. Ток топливного элемента в гибридном режиме

На рисунке 14 показано напряжение топливного элемента в случае режима топливного элемента, а на рисунке 15 показан ток топливного элемента в случае режима топливного элемента.

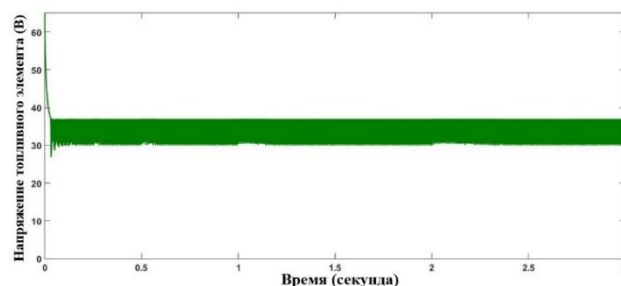


Рис. 14. Напряжение топливного элемента в режиме топливного элемента

На рисунке 16 показано напряжение и ток нагрузки в случае режима топливного элемента. Существует фазовый сдвиг между напряжением и током из-за реактивной мощности, потребляемой инвертором. Коэффициент мощности в этом случае составляет 0.9.

Режим работы от аккумулятора: Система переходит в режим работы от батареи, когда сол-

нечной энергии недостаточно или она недоступна. В этом режиме нагрузка питается за счет накопленной энергии аккумулятора. Когда нет прямого солнечного света, батарея служит накопителем энергии, поставляя электроэнергию. Эта настройка гарантирует постоянное электропитание даже при небольшом количестве солнечного света или его отсутствии. На рисунке 17 показано напряжение и ток бытовой нагрузки в случае режима работы от батареи.

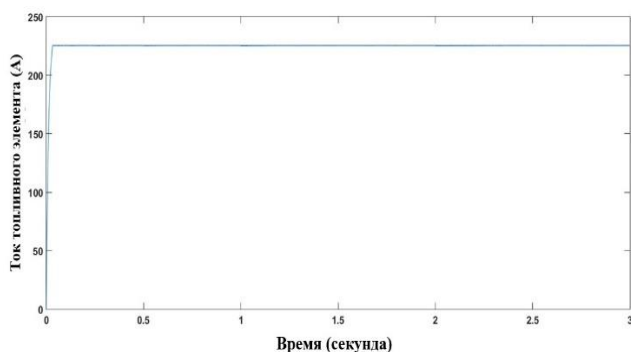


Рис. 15. Ток топливного элемента в режиме топливного элемента

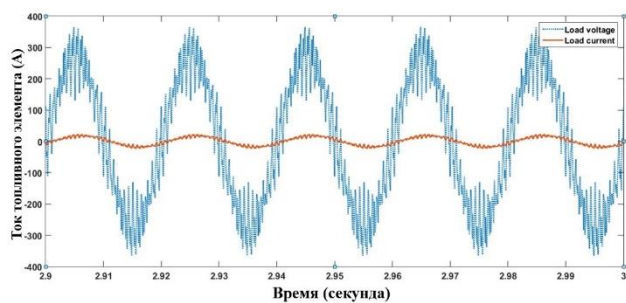


Рис. 16. Напряжение и ток нагрузки в режиме работы топливного элемента

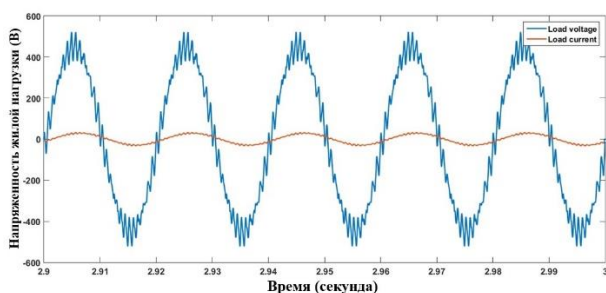


Рис. 17. Напряжение и ток бытовой нагрузки в режиме работы от аккумулятора

Выводы

Результаты моделирования автономной фотоэлектрической системы/системы на топливных элементах могут различаться в зависимости

от конкретных параметров и допущений, использованных при моделировании. Однако, есть некоторые общие результаты, которые можно наблюдать:

Производство энергии. Моделирование может дать представление о возможностях системы по выработке энергии. Он может показывать количество электроэнергии, вырабатываемой фотоэлектрическими (PV) панелями и топливным элементом, с учетом таких факторов, как солнечное излучение, температура и доступность топлива. Результаты могут помочь определить общую мощность производства энергии в системе.

Хранение энергии. Моделирование также позволяет оценить компонент системы хранения энергии, обычно использующий батареи. Он может оценить производительность аккумуляторной батареи с точки зрения циклов зарядки и разрядки, состояния заряда и общей емкости хранения энергии. Эта информация имеет решающее значение для определения того, может ли система удовлетворить потребность в энергии в периоды низкого уровня выработки энергии или ее отсутствия.

Потребность в энергии. Моделирование позволяет смоделировать профиль потребности в энергии с учетом таких факторов, как требования к нагрузке, время суток и сезонные колебания. Сравнивая выработку энергии с потребностью в энергии, моделирование может определить, способна ли система удовлетворить требования к нагрузке или существует ли какой-либо дефицит энергии.

Эффективность системы: моделирование позволяет рассчитать общую эффективность автономной системы фотоэлектрических/топливных элементов. Он может учитывать потери при преобразовании, передаче и хранении энергии, чтобы получить представление о том, насколько эффективно система использует доступные ресурсы для удовлетворения потребностей в энергии. Эта информация помогает оптимизировать конструкцию системы и определить области для улучшения.

В целом, результаты моделирования автономной или автономной системы фотоэлектрических/топливных элементов могут помочь в оптимизации конструкции системы, оценке экономической целесообразности и понимании производительности системы в различных сценариях. Эти результаты имеют решающее значение для принятия решений, особенно при рассмотрении вопроса об интеграции возобновляемых источников энергии в существующую энергетическую инфраструктуру.

Список литературы

1. Абдали Л.М. Использование гибридных ветро-солнечных систем для энергоснабжения города Аль-Наджаф в Республике Ирак / Абдали Л.М., Аль-Малики М.Н., Али К.А., Якимвич Б.А., Коровкин Н.В., Кувшинов В.В., Соломенникова С.И. // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2022. - Т. 25 - № 3. - С. 82–91. DOI: 10.22213/2413-1172-2022-3-82-91.
2. Rezk, H.; Alghassab, M.; Ziedan, H.A. An Optimal Sizing of Stand-Alone Hybrid PV-Fuel Cell-Battery to Desalinate Seawater at Saudi NEOM City. *Processes* 2020, 8, 382. <https://doi.org/10.3390/pr8040382>
3. Абдали Л.М. Исследование режимов работы комбинированных солнечно-ветровых установок для обеспечения уличного освещения / Абдали Л.М., Исса Х.А., Аль-Малики М.Н., Кувшинов В.В., Бекиров Э.А. // Строительство и технологическая безопасность. – 2022. – № 25(77). – С. 75–85.
4. Абдали Л.М. Использование метода отслеживания точки максимальной мощности для увеличения эффективности работы фотоэлектрических установок/ Абдали Л.М., Аль-Малики М.Н., Исса Х. А., Якимович Б.А., Кувшинов В.В. // Интеллектуальные системы в производстве, 2022. - Том 20. - № 4. - С. 106–116. DOI: 10.22213/2410-9304-2022-4-106-116.
5. Mahmoud, F.S.; Abdelhamid, A.M.; Al Sumaiti, A.; El-Sayed, A.-H.M.; Diab, A.A.Z. Sizing and Design of a PV-Wind-Fuel Cell Storage System Integrated into a Grid Considering the Uncertainty of Load Demand Using the Marine Predators Algorithm. *Mathematics* 2022, 10, 3708. <https://doi.org/10.3390/math10193708>
6. Abd Ali, L. M., Al-Rufaei, F. M., Kuvshinov, V. V. et al. Study of Hybrid Wind–Solar Systems for the Iraq Energy Complex. *Appl. Sol. Energy*, 2020, Vol. 56, No. 4, pp. 284–290. <https://doi.org/10.3103/S0003701X20040027>.
7. Ahmed Mohammed, H., M. O. H. Anssari, and L. Mohammed Abd Ali. "Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell)." *J. Eng. Appl. Sci* 14, 2019, pp. 4414-4418. <https://doi.org/10.3390/pr8040382>
3. Abdali L.M., Issa H.A., Al-Maliki M.N., Kuvshinov V.V., Bekirov E.A. Design and study of operating modes of combined solar-wind installations to provide street lighting. *Construction and industrial safety*, 2022, № 25(77), pp. 75-85.
4. Abdali L.M., Al-Maliki M.N., Issa Kh.A., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. [Using the Maximum Power Point Tracking Method to Increase the Efficiency of Photovoltaic Installations]. *Intel'ktual'nye sistemy v proizvodstve*. 2022, Vol. 20, No. 4, pp. 106-116 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2022-4-106-116.
5. Mahmoud, F.S.; Abdelhamid, A.M.; Al Sumaiti, A.; El-Sayed, A.-H.M.; Diab, A.A.Z. Sizing and Design of a PV-Wind-Fuel Cell Storage System Integrated into a Grid Considering the Uncertainty of Load Demand Using the Marine Predators Algorithm. *Mathematics* 2022, 10, 3708. <https://doi.org/10.3390/math10193708>
6. Abd Ali, L. M., Al-Rufaei, F. M., Kuvshinov, V. V. et al. Study of Hybrid Wind–Solar Systems for the Iraq Energy Complex. *Appl. Sol. Energy*, 2020, Vol. 56, No. 4, pp. 284–290. <https://doi.org/10.3103/S0003701X20040027>.
7. Ahmed Mohammed, H., M. O. H. Anssari, and L. Mohammed Abd Ali. "Electricity generation by using a hybrid system (photovoltaic and fuel cell)." *J. Eng. Appl. Sci* 14, 2019, pp. 4414-4418.

References

1. Abdali L.M., Al-Maliki M.N., Ali Q.A., Yakimovich B.A., Korovkin N.V., Kuvshinov V.V., Solomennikova S.I. [Using Hybrid Wind-Solar Power Systems for the Al-Najaf City in Iraq]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2022, vol. 25, no. 3, pp. 82-91 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2022-3-82-91.
2. Rezk, H.; Alghassab, M.; Ziedan, H.A. An Optimal Sizing of Stand-Alone Hybrid PV-Fuel Cell-Battery to Desalinate Seawater at Saudi NEOM City. *Processes* 2020, 8, 382.

УДК 629.7.064

Стабилизация параметров электроэнергии автономного турбогенератора с нерегулируемой турбиной

Б.В. Лукутин¹, Е.Б. Шандарова², М.М. Попов³¹ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
пр. Ленина, 30. г. Томск, 634050, Россия, lukutin48@mail.ru²ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
пр. Ленина, 30. г. Томск, 634050, Россия, shandarovaelena@mail.ru³ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
пр. Ленина, 30. г. Томск, 634050, Россия, mix_mix13@tpu.ru

Статья поступила 02.09.2024 г.; после доработки 04.9.2024 г.

Аннотация

В статье проанализированы параметры стабилизации электроэнергии автономного гидрогенератора различных конструкций. Проведен сравнительный анализ качества электрической энергии микро-гидроэлектростанции.

Ключевые слова: микро-гидроэлектростанция, турбогенератор, эффективность, накопители электроэнергии, инвертор, качество электрической энергии.

Stabilization of electric power parameters of an autonomous turbogenerator with an unregulated turbine

B.V. Lukutin¹, E.B. Shandarova², M.M. Popov³¹ National Research Tomsk Polytechnic University1, Tomsk, 634050, Russia, lukutin48@mail.ru² National Research Tomsk Polytechnic University1, Tomsk, 634050, Russia, shandarovaelena@mail.ru³ National Research Tomsk Polytechnic University1, Tomsk, 634050, Russia, mix_mix13@tpu.ru

Received 02.09.2024 y.; received in final form 04.09.2024 y.

Abstract

The article analyzes the parameters for stabilizing the electricity of an autonomous hydro generator of various designs. A comparative analysis of the quality of electrical energy of a micro-hydroelectric power station was carried out.

Key words: micro-hydroelectric power station, turbogenerator, efficiency, electrical energy storage devices, invert-er, quality of electrical energy

Введение

Развитие автономной энергетики, связанное с освоением природных ресурсов на удалённых труднодоступных территориях, обустройством новых перспективных транспортных путей, решением многих других задач, требует совершенствования энергетических и эксплуатационных характеристик автономных генерирующих систем. Распространённые дизель-генераторные

источники электроэнергии (ДЭС) требуют периодического обслуживания и дорогостоящей доставки дизельного топлива, что определяет их высокие эксплуатационные затраты. Известные способы экономии топлива ДЭС не решают указанную проблему [1].

Перспективные системы автономного электроснабжения, в рассматриваемых условиях, могут использовать природную возобновляемую

энергию, ядерную энергию, топливные элементы [2,3,4]. Собственно генерирующими установками в указанных типах источников электропитания, кроме фотоэлектрических и топливных элементов, являются турбогенераторы, преобразующие энергию потоков воды, ветра или рабочего потока энергоносителя замкнутого газотурбинного контура ядерной энергоустановки.

Выходная электрическая энергия турбогенератора (ТГ) характеризуется стабильностью величины и частоты генерируемого напряжения переменного тока. Режим работы турбоагрегата определяется известным уравнением:

$$M_T(\omega) - M_G(P, \omega) = J d\omega/dt,$$

где $M_T(\omega)$ и $M_G(P, \omega)$ – вращающий момент турбины и тормозной момент генератора; J – момент инерции системы «турбина – генератор»; ω – скорость вращения энергоустановки. Вращающий момент турбины определяется энергией первичного энергоносителя, поступающего на лопасти турбины. Тормозной момент турбогенератора определяется потребляемой активной мощностью P , которая зависит от изменения режимов нагрузки автономной системы электропитания. Для стабилизации частоты вращения турбоагрегата можно регулировать мощность потока энергоносителя, поступающего на турбину, и/или величину потребляемой от турбогенератора активной мощности.

Таким образом, управлять режимом работы турбоагрегата возможно регулированием турбины или регулированием тормозного момента турбогенератора. Следует отметить, что очевидные технико-экономические преимущества нерегулируемых турбин определили их широкое применение в автономных системах электропитания мощностью десятки – сотни кВт. Соответственно, управление турбоагрегатом в таких системах, как правило, осуществляется по цепи якоря турбогенератора с использованием дополнительной регулируемой нагрузки – балластного регулирования. Целью управления является генерирование электроэнергии переменного тока со стабильными параметрами величины и частоты выходного напряжения.

Постановка задачи

Целью работы является сравнительный анализ качества выходного напряжения современных турбогенераторных источников электропитания.

Исследования проведены аналитическими методами с использованием результатов опубликованных ранее работ.

Описание исследования

Сложность балластной стабилизации параметров выходного напряжения ТГ определяется трудностями стабилизации составляющих электрической мощности, суммарно потребляемой полезной и балластной нагрузками в условиях временных изменений величины и коэффициента мощности нагрузки потребителя и соответствующих изменений величины балласта активного характера.

Существенное влияние на возможности балластного регулирования автономных энергетических комплексов оказывают возможности управления магнитным полем электромашинных генераторов, что осуществимо для синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением. Бесконтактное исполнение синхронных генераторов возможно различными конструктивными решениями, в частности перспективно использование генератора обращённого типа с ключообразным ротором [5]. Такие генераторы позволяют осуществлять раздельное регулирование: выходного напряжения – по каналу возбуждения и частоты вращения – по каналу балластной нагрузки [5, 6]. Структурная схема такой турбогенераторной системы приведена на рис. 1, где Т – приводная турбина, ТГ – синхронный турбогенератор, РБН – регулятор балластной нагрузки, ОБГ – обмотка возбуждения генератора.

Рассматриваемая система электропитания обеспечивает стабилизацию выходного напряжения ТГ с помощью регулирования его тока возбуждения. Регулятор возбуждения может работать по величине отклонения напряжения от заданного значения. Инерционность канала регулирования напряжения в основном определяется постоянной времени обмотки возбуждения ОБГ.

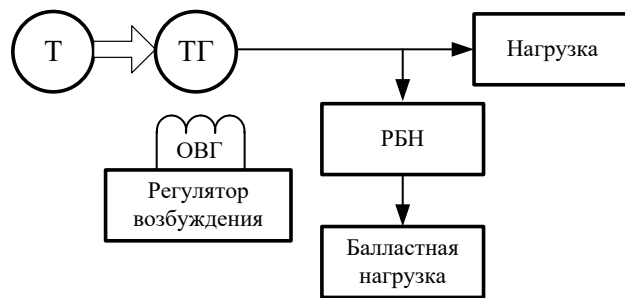


Рис. 1. Структурная схема стабилизации режима работы системы: турбина - синхронный генератор с электромагнитным возбуждением

Канал регулирования частоты генерируемого напряжения и, соответственно, частоты вращения ТГ обеспечивает стабилизацию активной составляющей нагрузки ТГ путём регулирования мощности балластной нагрузки в соответствии с изменением мощности полезной нагрузки. Регулятор балластной нагрузки РБН может быть реализован на принципе широтно-импульсной модуляции (ШИМ), либо как набор ключевых элементов, коммутирующих элементы балласта. Управление РБН может осуществляться по частоте переменного напряжения или по суммарной активной мощности ТГ, что предполагает использование замкнутой системы регулирования с обратной связью. Для повышения быстродействия РБН и устойчивости системы целесообразно построение разомкнутых систем регулирования по току или мощности, потребляемых полезной нагрузкой. Очевидно, максимальным быстродействием обладает разомкнутая токовая система регулирования балласта.

Для исключения значительного количества управляемых ключевых элементов регулятора мощности балласта, выполняемого на максимальную мощность энергоустановки, можно предложить использование дополнительного балластного генератора. Вариант построения системы стабилизации выходных параметров турбогенераторного источника электропитания с использованием балластного генератора приведён на рис. 2, где: Т – приводная турбина; ТГН – синхронный генератор, питающий полезную нагрузку, ТГБ – балластную нагрузку; Н и БН – полезная и балластная нагрузки; ОВГН и ОВГБ – обмотки возбуждения нагрузочного и балластного генераторов. Роторы генераторов соединены с валом турбины, что обеспечивает суммирование тормозных моментов от ТГН и ТГБ [7].

Данная электромашина система электропитания предусматривает независимое регулирования величины и частоты выходного напряжения нагрузочного генератора. Канал регулирования величины напряжения содержит регулятор напряжения РН в цепи обмотки возбуждения ТГН, представляющий собой ПИ-регулятор с обратной связью по напряжению. Канал регулирования частоты построен на принципе регулирования выходной электрической мощности ТГБ с помощью регулирования его выходного напряжения и, соответственно, электрической мощности, рассеиваемой на резисторах балластной нагрузки с неизменными параметрами. Регулирование выходного напряжения ТГБ осуществ-

ляется по каналу регулирования тока возбуждения с помощью РБН. Таким образом, для увеличения тормозного момента ТГБ необходимо увеличить его выходное напряжение, что увеличит ток в цепи балластной нагрузки и, соответственно мощность и тормозной момент балластного генератора, дополняющий тормозной момент нагрузочного генератора до номинального значения. Установленные мощности ТГН и ТГБ одинаковы, что позволяет регулировать загрузку ТГБ во всём диапазоне изменения полезной нагрузки ТГН.

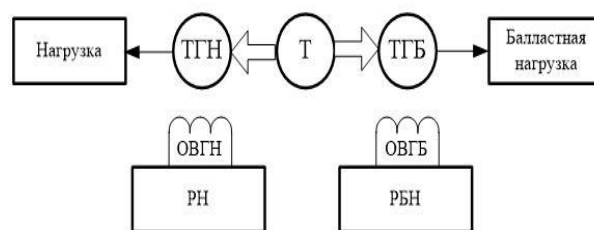


Рис. 2. Электромашина система стабилизации режима работы турбогенераторной системы электропитания

Ток обмотки возбуждения ТГБ возможно регулировать по частоте генерируемого напряжения (любого из генераторов), что подразумевает реализацию замкнутой системы регулирования с обратной связью по частоте. Для повышения устойчивости рабочего режима возможно построение разомкнутой системы регулирования частоты по току или мощности полезной нагрузки ТГН. Быстродействие каналов регулирования напряжения и частоты определяется постоянной времени обмоток возбуждения генераторов.

Сравнивая рассмотренные автобалластные системы стабилизации режимов работы ТГ с управляемыми по обмотке возбуждения синхронными генераторами, можно отметить следующие особенности.

Система с балластной нагрузкой, включенной параллельно полезной нагрузке, может иметь максимальное быстродействие по каналу регулирования частоты генерируемого напряжения, что важно для оптимизации переходных процессов в автономной системе электроснабжения.

Система с электромашинным балластным генератором позволяет минимизировать применение силовой электроники, что актуально для высоковольтных электрических цепей. Кроме того, массогабаритные показатели и надёж-

ность электромашинного источника электропитания могут превосходить показатели системы с регуляторами, использующими силовую электронику.

Электромашинная система обеспечивает плавную регулировку выходных параметров источника электропитания, а каждый генератор работает только на свою часть номинальной мощности энергоустановки, определяемую текущей мощностью полезной нагрузки. Конструктивное исполнение элементов балластной нагрузки не ограничивается дополнительными требованиями к дискретности по установленной мощности, что характерно для системы регулирования с силовой электроникой.

В качестве недостатка электромашинного источника электропитания необходимо отметить возможные конструктивные сложности по сопряжению двух электромашинных генераторов на одном валу с турбиной. Кроме того, быстроедействие канала регулирования частоты в такой энергоустановке уступает статическим балластным системам с силовой электроникой.

Структура системы стабилизации турбогенераторного энергоисточника с двумя каналами регулирования выходного напряжения по величине и частоте аналогична дизель-генераторной, что позволяет обеспечивать соответствующее качество выходного напряжения. В соответствии с ГОСТ Р55006-2012 «Стационарные дизельные и газопоршневые электростанции с двигателями внутреннего сгорания», точность стабилизации величины генерируемого напряжения составляет от ± 2 до $\pm 5\%$, частоты, соответственно, от $\pm 0,5$ до $\pm 1,5\%$, что может служить ориентиром для рассмотренных турбогенераторных энергетических систем [6].

Весьма перспективно использование в автономной энергетике синхронных генераторов с постоянными магнитами [8]. Магнитоэлектрические синхронные генераторы характеризуются высокой надёжностью, однако недостатком генераторов с возбуждением от постоянных магнитов является невозможность регулировки выходного напряжения с помощью управления величиной магнитного поля возбуждения генератора. Таким образом, если исключить возможность регулирования приводного двигателя – турбины, остаётся единственный канал стабилизации величины и частоты выходного напряжения синхронного магнитоэлектрического генератора – управление его электрической нагрузкой путём балластного регулирования.

Теоретически турбоагрегат с балластной системой стабилизации выходного напряжения может работать стабильно в оптимальном режиме при переменной полезной электрической нагрузке при выполнении двух условий: компенсация балластной нагрузкой изменений активной и реактивной составляющих полезной нагрузки, стабильность мощностной характеристики приводной турбины.

Структурная схема стабилизации режима работы турбоагрегата с использованием синхронного генератора с постоянными магнитами и нерегулируемой турбиной приведена на рис. 3. На схеме обозначены: Т – турбина; ТГ – синхронный генератор; Н – полезная нагрузка; ШИМ регулятор балластной нагрузки $R_{Б1}$, управляемый датчиком напряжения ДН генератора U_G ; дискретный регулятор балластной нагрузки $R_{Б2}$, управляемый датчиком тока ДТ нагрузки I_n .

Схема имеет два канала регулирования суммарной балластной нагрузки $R_{Б1} + R_{Б2}$: разомкнутый релейный канал, управляемый по току полезной нагрузки I_n с помощью изменения величины $R_{Б2}$ и замкнутый канал с обратной связью по напряжению генератора U_G , регулирующий величину $R_{Б1}$.

Алгоритм функционирования рассматриваемой системы стабилизации выходного напряжения ТГ основан на взаимодействии двух каналов регулирования величины балластной нагрузки – по току полезной нагрузки и по напряжению генератора. Токосовый канал производит коммутацию необходимого количества дискретных элементов балластной нагрузки при переходе текущего значения нагрузочного тока через пороговое значение, соответствующее каждому элементу балластной нагрузки $R_{Б2}$.

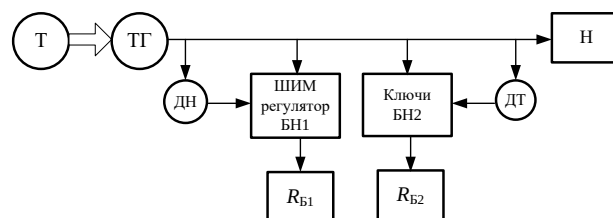


Рис. 3. Балластная система стабилизации режима работы системы турбина – синхронный генератор с постоянными магнитами

Результирующая величина тока балластной нагрузки $I_{Б2}$ токового канала изменяется дискретно – на мощность одного элемента. Суммарная мощность всех параллельно включенных

элементов соответствует максимальной мощности ТГ. Быстродействие токового канала максимально, что обеспечивает минимальные отклонения от установившихся значений величины и частоты выходного напряжения генератора в переходном режиме.

Алгоритм функционирования канала регулирования балластной нагрузки по напряжению генератора представляет собой ШИМ регулирование балластного тока $I_{Б1}$, протекающего по балластной нагрузке $R_{Б1}$. Установленная мощность $R_{Б1}$ равна мощности одного элемента балластной нагрузки токового канала $R_{Б2}$. Таким образом, ШИМ регулятор обеспечивает плавное регулирование интегрального значения суммарного тока балластных нагрузок в диапазоне мощности одного элемента балластной нагрузки, что позволяет выводить выходное напряжение турбогенератора на заданное значение. При стабильных рабочих параметрах турбины, ТГ работает в заданном режиме, обеспечивая стабилизацию напряжения и частоты энергоисточника. Недостатком систем стабилизации режима работы турбоагрегата с магнитоэлектрическим ТГ с помощью балластного регулирования является невозможность обеспечить приемлемое качество генерируемого напряжения при изменении электропотребления нагрузки как по величине, так и по характеру. На примере микрогидроэлектростанций с напорным трубопроводом и нерегулируемым гидроагрегатом в [6] показаны возможности автобалластной стабилизации генерируемого напряжения: автобалластные микро-ГЭС с одноканальной токовой системой стабилизации гидроагрегата могут обеспечить уровень стабилизации напряжения по величине порядка $U=U_{ном} \pm 9 \div 12\%$, по частоте $\omega=\omega_{ном} \pm 1,8 \div 5\%$. Такие показатели достигаются при работе на пассивную нагрузку с коэффициентом мощности в диапазоне $\cos\varphi=0,8 \div 1,0$ и стабильных параметрах рабочего потока воды гидротурбины.

Радикальным способом повысить качество выходного напряжения турбогенераторной системы, является использование в её составе автономного инвертора. Обобщённая структурная схема такой системы электропитания приведена на рис. 4. С помощью автономного инвертора AC/DC можно обеспечить нагрузку Н качественной электроэнергией. Качество выходного напряжения современных инверторов удовлетворяет требованиям ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

Контроль режима работы турбоагрегата осуществляется автобалластной системой

DC/DC(БН), обеспечивающей ограничение диапазонов изменения частоты его вращения и изменения выходного напряжения, что снижает требования к входным параметрам AC/DC силового преобразователя. Кроме того, инверторная система позволяет использовать регуляторы балласта с технологией поиска точки максимальной мощности (MPPT-технология) энергетических характеристик турбины, соответствующих разным значениям мощности рабочего потока энергоносителя на её входе. MPPT-регулятор балласта определяет диапазон изменения частоты вращения турбоагрегата, что предъявляет к нему дополнительные требования по механической прочности.

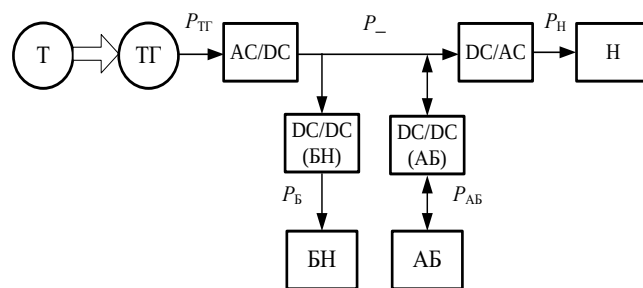


Рис. 4. Структурная схема инверторного турбоагрегата с накопителем электроэнергии и балластным регулированием

Технико-экономические характеристики рассматриваемого энергоисточника могут быть улучшены по сравнению с его автобалластным вариантом с помощью силовых преобразовательных устройств системы аккумуляторных накопителей электрической энергии: двунаправленного преобразователя DC/DC(АБ) и собственно батареи аккумуляторов АБ. Рассматриваемая структура турбогенераторной системы позволяет управлять энергетическим балансом автономного энергетического комплекса, стабилизируя мощность генерации электроэнергии на номинальном уровне в соответствии с установленной мощностью турбоагрегата.

Стабилизация достигается корректировкой мощности турбогенератора добавлением к текущей мощности нагрузки мощности заряда аккумуляторов и необходимой мощности балласта с приоритетом на накопление электроэнергии:

$$P_H = P_{ТГ} - P_B - P_{АБЗ} + P_{АБР}$$

при условии $P_{ТГ} = \text{const}$, где P_H , $P_{ТГ}$, P_B , $P_{АБЗ}$, $P_{АБР}$ – соответственно, мощность нагрузки, мощность турбогенерации, мощность

балласта, мощности заряда или разряда аккумуляторной батареи. Аккумуляторы должны запасать электроэнергию турбогенератора в часы, когда генерация позволяет обеспечивать электропотребление нагрузки и заряд оптимальной мощностью аккумуляторов и отдавать её потребителю в часы пиковой нагрузки, дополняя номинальный уровень генерации до пиковой нагрузки [9,10]. Это позволяет осуществлять электроснабжение потребителей, пиковая мощность которых превышает установленную мощность турбоагрегата без его перегрузки. По сравнению с базовым энергоисточником с балластным регулированием, максимальная мощность нагрузки которого не может превышать номинальную мощность турбоагрегата, инверторная энергоустановка с системой аккумулирования электроэнергии позволяет улучшить технико-экономические характеристики базового варианта за счёт энергии аккумуляторов, позволяющей покрывать пиковые нагрузки большей мощностью.

В частности, энергетический баланс системы электроснабжения с типовым суточным графиком электропотребления сельских домов, питаемой от турбогенераторной системы с аккумуляторным накопителем электроэнергии, позволяет обеспечить двукратную пиковую нагрузку потребителя относительно установленной мощности турбоагрегата при принятом допустимом суточном разряде аккумуляторов в 30%. Турбоагрегат, при этом, постоянно работает в своём номинальном режиме.

Заключение

Таким образом, проблемы автономной электрификации изолированных потребителей от дизельных электростанций в значительной степени могут быть решены применением турбогенераторных систем с альтернативными первичными энергоисточниками: потоков воды, ветра, атомной энергии.

В перспективных конструкциях турбоагрегатов применяются нерегулируемые по рабочему потоку энергоносителя турбины и синхронные генераторы с постоянными магнитами. Стабилизация параметров выходного напряжения переменного тока турбогенераторного энергоисточника осуществляется силовыми преобразовательными устройствами по принципу балластного регулирования.

Применение инверторных систем позволяет улучшить качество напряжения до уровня требо-

ваний ГОСТ к системам электроснабжения общего назначения. Интеграция в инверторную турбогенераторную систему электроснабжения накопительных устройств позволяет выравнять режим работы турбоагрегата и приблизить его коэффициент использования по мощности к 100%. в котором кратко подводятся итоги научного исследования. Заключение содержит нумерованные выводы, кратко формулирующие основные научные результаты статьи как установленные авторами зависимости (связи) между параметрами объекта исследования. Выводы должны логически соответствовать поставленным в начале статьи задачам. Указать перспективы дальнейших исследований в данном направлении.

Список литературы

1. Объекты генерации в изолированных и труднодоступных территориях в России. Аналитический доклад. Март 2020. Аналитический центр при правительстве Российской Федерации. <https://ac.gov.ru>
2. Виктор Семенов, Татьяна Щепетина, Сергей Попов Развитие малых атомных станций: задачи и перспективы. Энергетическая политика. № 10, 2020 С.88-96.
3. Васильев Ю.С., Хрисанов Н.И. Экология использования возобновляющихся энергоисточников. Л.: Изд-во ЛГУ, 1991. – 343 с
4. Р.З. Гатина, Н.М. Гафуров, Р.Р. Зайнуллин. Перспективы развития малой энергетики с использованием топливных элементов. / Вестник КГЭУ, 2018, том 10, № 1 (37) Энергетика. С.88-96
5. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Шандарова Е.Б. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций. – Томск: STT, 2001. – 120 с.
6. Б.В. Лукутин, С.Г. Обухов. Микрогидро-электростанция. Авторское свидетельство SU 1305429 A1. Опубликовано в Б.И. 23.04.87. Вып. №15
7. В.Я. Геча, А.Б. Захаренко. Новые технические решения для создания высокооборотного энергоэффективного электрогенератора «Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ». Том 130. №5, 2012г., стр.3-6.
8. Лукутин Б.В., Шандарова Е.Б., Попов М.М. Микро-ГЭС с регулированием гидроагрегата по цепи якоря гидрогенератора // Известия томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 5. – С. 158-171.
9. Лукутин Б.В., Попов М.М. Повышение технико-экономической эффективности инверторной микрогидроэлектростанции деривационного типа // Омский научный вестник. – 2023. – № 3 (187). – С. 68–76.

10. Лукутин Б.В., Шандарова Е.Б., Попов М.М. Режимы работы микрогидроэлектростанции со стабилизацией выходного напряжения при помощи управления инвертором // Известия томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 8. – С. 51-58.

References

1. Generation facilities in isolated and hard-to-reach areas in Russia. Analytical report. March 2020. Analytical Center for the Government of the Russian Federation. <https://ac.gov.ru>
2. Victor Semenov, Tatyana Shchepetina, Sergey Popov Development of small nuclear power plants: tasks and prospects. Energy policy. No. 10, 2020 P.88-96.
3. Vasiliev Yu.S., Khisanov N.I. Ecology of using renewable energy sources. L.: Leningrad State University Publishing House, 1991. – 343 p.
4. R.Z. Gatina, N.M. Gafurov, R.R. Zaynullin. Prospects for the development of small-scale energy using fuel cells. / Bulletin of KSEU, 2018, volume 10, No. 1 (37) Energy. P.88-96
5. Lukutin B.V., Obukhov S.G., Shandarova E.B. Autonomous power supply from micro-hydroelectric power plants. – Tomsk: STT, 2001. – 120 p.
6. B.V. Lukutin, S.G. Obukhov. Microhydroelectric power station. Copyright certificate SU 1305429 A1. Published in B.I. 04/23/87. Vol. No. 15
7. V.Ya. Gecha, A.B. Zakharenko. New technical solutions for creating a high-speed energy-efficient electric generator "Issues of electromechanics. Proceedings of VNIIEМ". Volume 130. No. 5, 2012, pp. 3-6.
8. Lukutin B.V., Shandarova E.B., Popov M.M. Micro-hydroelectric power station with control of the hydraulic unit according to the armature circuit of the hydrogenerator // News of the Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering. – 2024. – Т. 335. – No. 5. – P. 158-171.
9. Lukutin B.V., Popov M.M. Increasing the technical and economic efficiency of an inverter microhydroelectric power station of derivation type // Omsk Scientific Bulletin. – 2023. – No. 3 (187). – P. 68–76.
10. Lukutin B.V., Shandarova E.B., Popov M.M. Operating modes of a microhydroelectric power station with output voltage stabilization using inverter control // News of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering. – 2023. – Т. 334. – No. 8. – P. 51-58.

УДК 620.92

Проектирование наружного освещения с использованием альтернативных источников энергии

Я.А. Раскосов¹, Е.В. Гусева¹, Б.Е. Борисов¹, М.Р. Меджитов¹, В.А. Березняк¹

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия. ¹ youhret@bk.ru, ² VVKuvshinov@sevsu.ru.

Статья поступила 26.08.2024 г.; после доработки 28.08.2024 г.

Аннотация

В работе был рассмотрен вариант питания опор наружного освещения с помощью альтернативного источника питания – солнечных панелей. Данный источник можно комбинировать с традиционным источником питания, таким как теплоэнергетика: часть электроэнергии будет передаваться от панелей, часть – от общей энергетической системы, что позволит более рационально пользоваться электроэнергией.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, фотоэлектрическая панель, солнечная электростанция, энергосистема Крыма, автономный потребитель.

The design of outdoor lighting using alternative sources of electricity – solar panels

Y.A. Raskosov¹, E. V. Guseva¹, B.E. Borisov¹, M.R. Medjitov¹, V.A. Bereznyak¹

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Sevastopol State University", st. Universitetskaya, 33, Sevastopol, 299053, Russia. ¹youhret@bk.ru, ²kuvshinov.vladimir@gmail.com

Received 26.08.2024 y.; received in final form 28.08.2024 y.

Abstract

The article is dedicated to powering the outdoor lighting poles with the alternative power source, which is solar power. This source may be used with traditional power source as thermal power engineering. One part of energy would be transmitted from the panels, another one would be transmitted from the general power sources. It would allow to use electricity more efficiently.

Keywords: renewable energy, photovoltaic panel, solar power plant, Crimean energy system, autonomous consumer.

Введение

Энергетика служит основой любых процессов во всех сферах жизни человека, главным условием создания материальных благ, повышения уровня жизни людей.

Веками человек нерационально использует природные богатства: сжигает каменный уголь, мазут и газ, с целью получения тепла и энергии, в огромных объёмах выкачивает нефть, с целью переработки её в горюче-смазочные материалы,

тем самым загрязняя окружающую среду. Эти богатства не бесконечны и долго восстанавливаемы. Поэтому назрела необходимость в поиске новых источников, которые будут снабжать человечество необходимым количеством энергии ещё долгое время.

Несмотря на огромный потенциал возобновляемых источников энергии, их использование осложняется техническими проблемами, и поэтому, по самым оптимистичным прогнозам, за

счет нетрадиционной энергетики будет удовлетворено не более 30% потребностей человечества в энергии. Сейчас в России за счет нетрадиционных источников получают 1% энергии.

Возобновляемые источники энергии, в частности солнечные электростанции (СЭС), нашли широкое применение в качестве автономных и резервных систем электроснабжения современных индивидуальных домов, коттеджей, других мелких потребителей. Такие системы позволяют обеспечить потребителя электроэнергией, как при полном отсутствии централизованной системы электроснабжения, так и при временных сбоях в работе общей энергосистемы.

Постановка задачи

Солнечная энергетика использует неисчерпаемый источник энергии – Солнце. Эта энергия может использоваться в различных естественных и искусственных процессах. Так, растения, используя её, синтезируют органические соединения с выделением кислорода. Прямое нагревание солнечными лучами может быть использовано для производства электроэнергии (солнечными электростанциями) или выполнения другой полезной работы. Ультрафиолетовое излучение Солнца имеет антимикробные свойства, позволяющие использовать его для обеззараживания воды и различных предметов.

Солнечные батареи – возобновляемый источник энергии, который уже сейчас нашел свое применение в нашей повседневной жизни.

Основной проблемой установки солнечных панелей на опоры освещения – является их дороговизна и сложность установки. Но в Европейских странах эту проблему решили и уже довольно долгое время применяют данную систему на улицах города, так как она помогает снизить нагрузку на городские сети и экономит средства жителей. Характеристики данных фонарей на солнечных батареях отличаются довольно продолжительным сроком эксплуатации – до 25 лет.

На сегодняшний период основными задачами развития солнечной энергетики являются:

1. Ввод в эксплуатацию нового оборудования, которое будет вмещать в себя большее количество заряда батареи и при этом иметь небольшие размеры, для «аккуратной» установки на опоры освещения.
2. Развитие отечественной научно-технической базы и освоение передовых технологий в области использования солнечной энергетики, наращивание на территории Россий-

ской Федерации производства основного генерирующего и вспомогательного оборудования для солнечных установок.

3. Для решения поставленных задач потребуется: совершенствование механизмов стимулирования производства электрической энергии генерирующими объектами, функционирующими на основе ВИЭ; поддержка использования ВИЭ в субъектах Российской Федерации; формирование инфраструктурных условий для привлечения инвестиций в развитие сектора ВИЭ; координация мероприятий в области развития электроэнергетики и возобновляемой энергетики.

Результаты исследований

Энергетический сектор полуострова Крым представляет собой уникальное явление для территорий постсоветского пространства. Уникальность заключается в том, что около 10% всей вырабатываемой электрической мощности приходится на возобновляемые источники энергии – солнечные станции (СЭС) и ветряные электростанции (ВЭС). Их суммарная мощность составляет 291,5 МВт. Увеличение собственных произведенных мощностей позволит уменьшить потери энергии, существующие при перетоке мощностей по энергомосту, т.к. порядка 20% электроэнергии импортируется из Краснодарского края.

На основании исследования можно отметить, что существующие солнечные панели являются очень громоздкими и включают в себя достаточно много оборудования для преобразования солнечной энергии в постоянный ток, который в дальнейшем нужно преобразовать еще и в переменный ток. В связи с этим, нужно создать такую солнечную панель, которая будет небольшого размера, но с высоким КПД, так как кроме экономичности нужно придать всей конструкции презентабельный вид. Например, установка опоры освещения, которая будет получать питание от автономного источника питания должна включать в себя: солнечную панель, контроллер заряда, инвертор, соединительные элементы, аккумулятор и сам светильник с кронштейном.

Таким образом, для установки солнечной панели на опору освещения необходимы дополнительные затраты на дополнительное оборудование и привлечение специалистов для монтажа данной конструкции. Необходимо правильно, в направлении большинства солнечных лучей, расположить батарею путем регулирования ее кронштейна, для того чтобы она потребляла

наибольшее количество солнечной энергии. Так же нужно не забывать, что не все дни в Республике Крым являются солнечными, поэтому необходимо ставить достаточно мощный аккумулятор (желательно гелевые свинцово-кислотные, они способствуют более высокому сроку

службы и позволяют быстрее накапливать заряд от солнечной батареи). В представленной диаграмме видно, что солнечных дней в Крыму 213, пасмурных – 68, а облачных – 83 дня. В связи с этим аккумуляторы и угол поворота панели является решающим фактором.



Рис. 1 Структурная схема опоры освещения с солнечной батареей



Рис. 2 Статистика солнечных и пасмурных дней в году в РК

Рассмотрим монтаж и наладку опоры освещения, питание которой будет осуществляться с помощью солнечной панели:

1. Для начала нужно выбрать место установки данной конструкции. Это должно быть не закрытое деревьями пространство, которое максимально открыто для поступления солнечной энергии.
2. Далее нужно, с учетом веса всех агрегатов, выбрать марку и тип опоры. Опоры, которые используются на автомобильных дорогах или магистралях, а так же дворах – это опоры марки СФГ (металлические) или СВ (железобетонные). Они являются силовыми и применяются для освещения различных типов дорог и участков. Высота опор стандартная - от 6 до 10 м.
3. Выбор дальше будет основан на светильнике. В наше время все стараются уйти от стандартных светильников ЖКУ, которые потребляют большое количество электроэнергии и выдают малое освещение. Сейчас широко применяются светодиодные светильники, которые экономят электроэнергию и с помощью установленных в них светодиодов, распределяют освещение равномерно, по всему заданному участку.
4. Важным пунктом является так же и выбор солнечной батареи. Производство не стоит на месте, с каждым годом выходят все новые и усовершенствованные модели солнечных панелей. В связи с этим, при выборе панели, основными критериями будут являться ее механические характеристики и высокий КПД.
5. Не менее важный этап в сборке конструкции – это выбор аккумулятора для сохранения энергии. Нужно выбрать наиболее выгодный в использовании, так как от него будет зависеть сколько будет светить светильник в ночное и вечернее время. Обычно для накопления солнечной энергии используют гелевые аккумуляторы. Они устойчивы к повреждениям и не подвержены утечкам кислоты и ее паров. Так же способны более эффективно накапливать заряд и отдавать его в систему.
6. На завершающем этапе нам нужен инвертор. Он служит для преобразования постоянного тока, который будет нам выдавать аккумулятор, в переменный, для питания светильников. Инверторы имеют различные исполнения, но принцип работы у всех один.

7. Контроллер заряда – один из основных элементов конструкции, он нужен для контроля заряда аккумулятора, с целью организовать рациональное использование генерируемого тока.

При монтаже необходимого оборудования на опору освещения можно рассмотреть разные варианты местонахождения устройств.

1. В основании опоры, внутри опоры
2. Под опорой или в ее периметре
3. На самой опоре, возле светильника

В первом варианте монтаж контроллера заряда, инвертор и аккумулятор можно установить внутри опоры, необходимо также предусмотреть специальное «окошко» для обслуживания и наблюдения параметров данной конструкции. Во втором пункте все устанавливается под опорой, но вниз пойдут только аккумулятор и инвертор, так как контроллер необходимо расположить на видном месте. Данный вариант не удобен в обслуживании, но если диаметр опоры небольшой, то снять часть визуальной нагрузки с опоры, например, в парке или аллее, возможно именно таким путем. И в последнем пункте стандартное предложение – монтаж всех устройств в щите на опоре. Этот вариант удобен в эксплуатации, но вид опоры с ним портится.

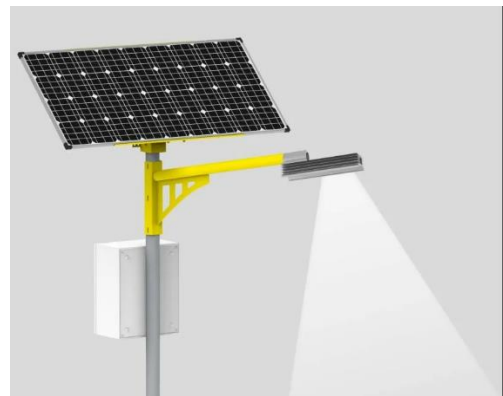


Рис. 3 Установленная опора освещения

В ходе исследования была разработана схема питания светильника с помощью солнечной панели, которая, по сравнению с питанием от сети, имеет автономность и, в случае выхода из строя или массового отключения электроэнергии, не пострадает и будет работать то время, на которое ей хватит заряда.

В заключении хотелось бы еще раз подчеркнуть экологическое преимущество данной установки. В наше время заводы и вредные выбросы заполонили планету, человечеству необходимо

все больше и больше находить и совершенствовать новые способы создания различных установок, которые смогут работать от природных источников энергии.

Выводы

На основании результатов исследования можно утверждать, что для обеспечения питания опор освещения, с помощью альтернативных источников энергии, т. е. солнечных батарей, можно существенно сэкономить в дальнейшем на получении электроэнергии, а так же снизить нагрузку на общие сети снабжения города.

Автономность энергоснабжения уличного освещения играет важную роль при большой нагрузке общих систем потребления, в случае которой возможны отключения электроэнергии. Некоторые важные объекты при этом должны иметь постоянное электроснабжение, а их прилегающая территория также должна быть освещена.

Аварийные системы электроснабжения также должны иметь резервные генерирующие установки, которые могут работать в течение длительного времени без подачи традиционного топлива. Использование солнечных преобразователей является одним из выходов при такой проблеме.

Важно, что солнечная энергетика не оставляет вредных выбросов, нетрадиционные источники энергии совершенно безвредны для окружающей среды, что положительно влияет на экологическую составляющую.

Список литературы

1. В.В. Кувшинов, Н.В. Морозова, И.Ю. Софийский Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии: Учебное пособие/ 2018.
2. Городов Р.В., Губин В.Е., Матвеев А.С. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2009. – 294 с.
3. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении.– М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.
4. Учебное пособие для вузов / Виссарионов В.И. Солнечная энергетика / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова– Москва, 2008 – 317с.
5. М.В. Полканов. Значение электроэнергетики в развитии России. — Омский вестник №3(32), 2006— С38
6. В.Г. Королев. Современные особенности и состояние электроэнергетической отрасли РФ —

«Инновации и Инвестиции» №10, 2020 — С215-219.

References

1. V.V. Kuvshinov, N.V. Morozova, I.Yu, Sofia Power plants based on renewable energy sources: Textbook/ 2018.
2. Gorodov R.V., Gubin V.E., Matveev A.S. Unconventional and renewable energy sources: Textbook. – Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University. un-ta, 2009. – 294 p.
3. Lukutin B.V., Surzhikova O.A., Shandarova E.B. Renewable energy in decentralized power supply. – M.: Energoatomizdat, 2008. – 231 p.
4. Textbook for universities / Vissarionov V.I. Solar energy / V.I. Vissarionov, G.V. Deryugina, V.A. Kuznetsova – Moscow, 2008 – 317s.
5. M.V. Polkanov. The importance of the electric power industry in the development of Russia. — Omsk Bulletin No. 3(32), 2006— C38
6. V.G. Korolev. Modern features and state of the electric power industry of the Russian Federation — "Innovations and Investments" No. 10, 2020 — C215-219.

УДК 621.315.17

Анализ аварийности в энергосистеме и методы устранения

С.А. Ситников^{1,2}, Н.М. Шайтор¹, Н.И. Черкашина¹, А.А. Скидан¹,
И.Д. Артёменко¹

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, n.m.shaitor@mail.sevsu.ru, cherkashina@mail.sevsu.ru, a.a.skidan@mail.sevsu.ru, leftysingle@gmail.com

²Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Юга, ул. Подстанционная, 26, г. Пятигорск, Ставропольский край, 357506, Россия,

Статья поступила 30.08.2024 г.; после доработки 02.09.2024 г.

Аннотация

В работе проведен анализ аварийных ситуаций в электроэнергетике, связанных с авариями на опорах высоковольтных линий электропередач (ЛЭП), а также с перегрузкой оборудования. Предложены методы быстрого реагирования на такие случаи и скорейшего восстановления поврежденных элементов.

Ключевые слова: воздушная линия электропередач, электрическая сеть, промежуточная опора, анкерная опора, электрическая мощность, электрическая энергия, электросетевой комплекс.

Analysis of accidents in the power system and methods of elimination

S.A. Sitnikov^{1,2}, N.M. Shaitor¹, N.I. Cherkashina¹, A.A. Skidan¹, I.D. Artemenko¹

¹Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, n.m.shaitor@mail.sevsu.ru, cherkashina@mail.sevsu.ru, a.a.skidan@mail.sevsu.ru, leftysingle@gmail.com

²Branch of JSC "SO UES" ODE of the South, Substation str., 26, Pyatigorsk, Stavropol Territory, 357506, Russia,

Received 30.08.2024 y.; received in final form 02.09.2024 y.

Abstract

The paper analyzes emergency situations in the electric power industry related to accidents on the supports of high-voltage power lines (power lines), as well as equipment overload. Methods of rapid response to such cases and early recovery of damaged elements are proposed.

Keywords: overhead power line, electric grid, intermediate support, anchor support, electric power, electric energy, electric grid complex.

Введение

За последние десять лет отмечается устойчивый рост бытовой нагрузки на юге России, благодаря росту внутреннего туризма и уровня жизни населения. Развитие электросетевого комплекса в ряде регионов отстает от роста промышленности.

Такая ситуация приводит к тому, что любой отказ может привести как к локальным, так и системным проблемам с возможным обесточиванием бытовых потребителей и остановкой техно-

логического процесса производства промышленных потребителей. В такой ситуации скорость принятия решений и быстрота выявления поврежденного элемента может иметь определяющую роль в ликвидации аварийных ситуаций.

На данный момент энергосистема переживает свои лучшие годы. Это можно проследить по потреблению электрической мощности и электрической энергии (рис. 1 и рис. 2). В 2021 году потребление ЕЭС России превысило уровни показателей СССР, при этом сохранилась тенденция к росту [1].

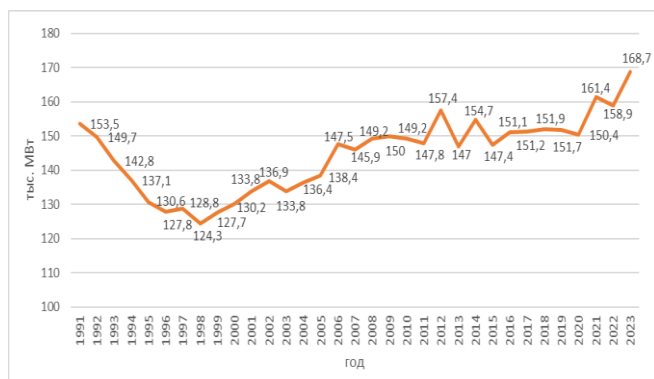


Рис. 1. Максимумы потребления электрической мощности ЕЭС России

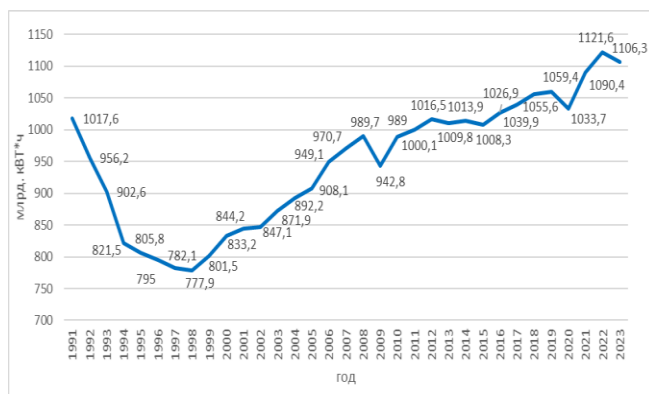


Рис. 2. Максимумы потребления электрической энергии ЕЭС России

Такая ситуация требует опережающего развития электросетевого комплекса, а отказы оборудования могут привести к системным дефицитам мощности. Однако, темп наращивания генерирующих мощностей и электросетевого оборудования оказался недостаточным.

В 2023 году в ОЭС Юга был достигнут исторический максимум потребления электрической мощности на уровне 18 512 МВт, а уже в 2024 году исторический максимум был обновлен и составил 21126 МВт. Оба этих рекорда были поставлены в период экстремально высоких температур наружного воздуха [1]. В таких условиях аварийное отключение любого элемента электрической сети может привести к ограничению потребителей. И скорость принятия решений при управлении энергосистемой, а также в ходе поиска и устранения неисправности может играть решающую роль.

В представленной работе проведен анализ двух типов аварийных ситуаций. Первый тип связан с падением и поломкой опор ЛЭП, а второй тип связан с перегрузкой оборудования. Оба типа тесно взаимодействуют с работой противоаварийной автоматики.

Постановка задачи

За предыдущий год в ОЭС Юга отмечается большое количество трехфазных коротки замыканий связанных с падением опор на линиях сверхвысокого напряжения. От падения промежуточных опор пострадало пять линий 500 кВ и три линии 330 кВ. Причины падений опор могут быть разными: сильные ветровые нагрузки, воздействие на провода гололедной нагрузки, наезд сельскохозяйственной техники или другие внешние воздействия. Отключение линии сверхвысокого напряжения в следствии падение опоры зачастую приводит к серьезному снижению пропускной способности электрической сети и возможному ограничению потребителей, а также длительному ремонту [2]. При этом, без результатов осмотра места короткого замыкания невозможно сделать вывод о том, что линия не включится в работу и предстоит длительный ремонт. Несмотря на наличие современных устройств определения места повреждения (ОМП) и регистраторов аварийных событий (РАС), падение опоры однозначно выявить не представляется возможным. Зачастую показания РАС и ОМП говорят о наличии однофазного или двухфазного КЗ и по концам ЛЭП показания по виду КЗ и расстоянию до точки разнятся, а может и вовсе достоверных данных не быть. Это происходит из-за того, что процесс падения опоры абсолютно хаотичен, в отличие от включенных заземляющих ножей, которые создают устойчивое металлическое трехфазное КЗ.

В южных регионах страны остро встает проблема снижения пропускной способности электрической сети в период экстремально высоких температур (ПЭВТ).

При высокой температуре наружного воздуха явно выражено заметное увеличение потребления электрической мощности, обусловленное ростом холодильной нагрузки [3]. Как следствие этого растёт токовая загрузка линий электропередач. В свою очередь с ростом температуры воздуха снижается допустимая токовая нагрузка провода. Это приводит к необходимости строительства новых ЛЭП и объектов генерации. Альтернативным решением стала установка новых устройств автоматики ограничения перегрузки оборудования (АОПО). Данные устройства позволяют предотвращать недопустимые повышения токовой нагрузки ЛЭП при аварийных возмущениях в электроэнергетической системе. Одной из целей данной работы является повышение эффективности устройства АОПО за счет создания алгоритма для выбора

управляющих воздействий в сложившейся
схемно-режимной ситуации.

Результаты исследований

С учетом длины линий 330-500 кВ на уровне 200-500 км, поиск упавшей опоры может занять длительное время. Пока повреждение не установлено путем осмотра, диспетчерский персонал будет пробовать включить линию, при наличии «проблем» в энергосистеме, тем самым изнашивая линейное оборудование протекающим током КЗ.

Для однозначного выявления поврежденной опоры и, как следствие, выработки оптимального алгоритма ликвидации аварии можно оснастить ЛЭП датчиком, определяющим положение опоры относительно вертикали. Это позволит выявлять наклоненные опоры в процессе текущей эксплуатации ЛЭП без осмотра всей длины. А также определить поврежденную опору при аварийном отключении, избежать длительного осмотра ЛЭП, предотвратить заведомо неуспешные опробования напряжением ЛЭП и сократить время на выработку оптимального плана ликвидации аварии в энергосистеме, тем самым избежать дефицитов мощности в энергосистеме.

АОПО по своему назначению и принципу построения является простым и надежным устройством. Микропроцессорный терминал автоматики получает замер тока по линии, напряжение и температуру наружного воздуха (ТНВ) с датчиков, установленных на открытом распределительном устройстве (ОРУ). С помощью полученных данных АОПО рассчитывает направление перетока мощности по защищаемому элементу сети. При выполнении условий для работы комплекта (заданное направление перетока мощности, превышение уставки по току и достижение заданной выдержки времени) АОПО выдает управляющие воздействия (УВ) [4]. Устройство АОПО для разгрузки защищаемого элемента может реализовывать команды на отключение нагрузки (ОН), загрузку генераторов (ЗГ), разгрузку турбин генераторов (РТ), изменение топологии электрической сети (ИТС), отключение генераторов (ОГ) [5]. Так же данная автоматика первой ступенью по току и времени должна действовать на сигнал (для оперативного принятия мер по разгрузке сетевого элемента), а последняя ступень должна отключать защищаемый объект [5].

Однако простота выполнения такой автоматики не позволяет ей правильно оценивать

схемно-режимную ситуацию в энергосистеме. Возникают случаи, когда реализуемые УВ от комплекта АОПО не оказывают влияния на разгрузку сетевого элемента. Подробно такой эффект пояснен на рис. 3 и рис. 4, где показана схема избыточной по мощности энергосистемы. Цвета линий и подстанций соответствуют разным классам напряжений (зеленый – 330 кВ, жёлтый – 220 кВ, синий – 110 кВ). На первой схеме ЛЭП 330 кВ ТЭС 1 – ТЭС 2 выведена в ремонт. В случае аварийного отключения ЛЭП 330 кВ ТЭС 1– ПС 3 может возникнуть режим, при котором АОПО ЛЭП 110 кВ ПС А – ПС Б будет работать на РТ и ОГ ТЭС 1.

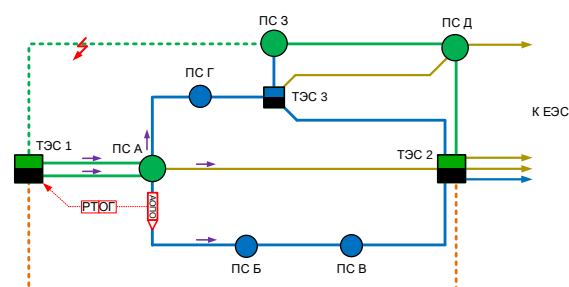


Рис. 3. Схема сети при аварийном отключении линии 330 кВ

На рис. 4 приведен режим аварийного отключения ЛЭП 110 кВ ТЭС 2 – ПС В, при котором наброс мощности на защищаемый элемент сети обусловлен нагрузкой транзита 110 кВ ПС А – ПС Б – ПС В – ТЭС 2. Обратим внимание что направление перетока мощности одинаково в обоих случаях: от шин в линию.

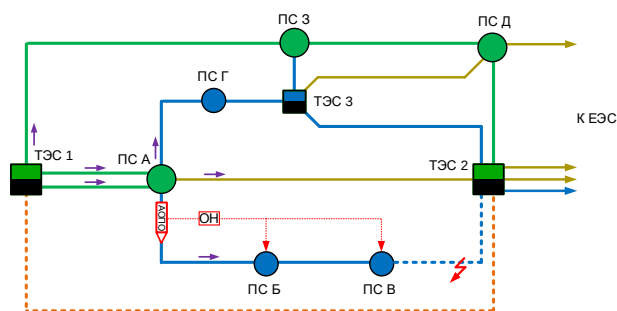


Рис.4. Схема сети при аварийном размыкании трансформатора 110 кВ

В текущем режиме АОПО ЛЭП 110 кВ ПС А – ПС Б должно реализовывать ОН на ПС Б и ПС В.

Таким образом комплект АОПО при одинаковом направлении перетока активной мощности, а также при одинаковых уставках по току и

времени должен реализовывать разные УВ.

Озвученную проблему современные устройства АОПО не решают. Обеспечить правильную работу автоматики при существующей настройке возможно только оперативным изменением набора УВ в зависимости от схемно-режимной ситуации. Что не представляется возможным в ходе ликвидации аварии и влечет за собой неправильную реализацию УВ с последующим утяжелением электроэнергетического режима.

Для правильного выбора управляющих воздействий необходимо чтобы автоматика оценивала режим прилегающей сети и изменение схемы.

Выводы

В представленной работе озвучена проблема несовершенства объектовых устройств автоматики. Определен необходимый состав контролируемых параметров для правильного выбора управляющих воздействий от устройств АОПО. Путем контроля изменения указанных параметров можно точно определить причины работы автоматики и в соответствии с этим выдать необходимые УВ разной направленности. Такая работа устройства предотвратит каскадное развитие аварии. В эпоху развития устройств автоматизации данная проблема и ее техническое решение являются как никогда актуальными. Проведенные исследования способствуют улучшению надежности работы электрических сетей юга России и помогают увеличить эффективность работы эксплуатационного оборудования энергетического комплекса.

Список литературы

1. Ситников С. А. Анализ проблем энергосистемы с высокой долей солнечной генерации / Ситников С. А., Шайтор Н. М., Горпинченко А. В., Дубков Е. А. // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2021. - Т.24 - №1 - С.87 – 95. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-87-95.
2. Шайтор Н.М. Анализ моделей и методов обоснования решений при разработке объектов электроэнергетики и электромеханики / Шайтор Н.М., Ситников С.А.// В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2023. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Севастополь, 2023. - С. 401-405.
3. Ясько Д.В. Повышение эффективности работы автоматики ограничения перегрузки оборудования воздушных линий электропередач/ Ясько

Д.В., Кизин В.А.// Материалы VIII Международной научно-технической конференции. - 2017. - С. 133-136.

4. Стандарт АО «СО ЕЭС» СТО 59012820.29.020.002-2018. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Устройства автоматики ограничения перегрузки оборудования. Нормы и требования. Утв. приказом ОАО «СО ЕЭС» от 02 апреля 2018 г. № 79.
5. Стандарт АО «СО ЕЭС» СТО 59012820.29.020.004-2018. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика. Нормы и требования. Утв. приказом ОАО «СО ЕЭС» от 30 марта 2018 г. № 75.

References

1. Sitnikov S. A., Shaitor N. M., Gorpichenko A.V., Dubkov E. A. Analysis of problems of an energy system with a high proportion of solar generation *Bulletin of Izhtuimeni M. T. Kalashnikov*, 2021, Vol. 24, No. 1, pp. 87-95. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-1-87-95.
2. Shaytor N.M., Sitnikov S.A. Analysis of models and methods for substantiating decisions in the development of electrical power and electromechanical objects. In the collection: Environmental, industrial and energy safety, 2023. *Collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference*, Sevastopol, 2023, pp. 401-405.
3. Yasko D.V., Kizin V.A. Increasing the efficiency of automatic equipment for limiting overload of equipment on overhead power lines // *Proceedings of the VIII International Scientific and Technical Conference*, 2017, pp. 133-136.
4. Standard of SO UES JSC STO 59012820.29.020.002-2018. Relay protection and automation. Automatic emergency control of power system modes. Automatic devices for limiting equipment overload. Norms and requirements. Approved by order of SO UES JSC dated April 2, 2018 No. 79.
5. Standard of SO UES JSC STO 59012820.29.020.004-2018. Relay protection and automation. Automatic emergency control of power system modes. Emergency automation. Norms and requirements. Approved by order of SO UES JSC dated March 30, 2018 No. 75.

ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 004.02:323.28

Защита от распространения экстремизма и терроризма на предприятиях энергетики

И.Н. Карцан^{1,2}, С.А. Нуриев²

¹ФГБНУ «Аналитический центр», г. Москва, 109316, Россия, kartsan2003@mail.ru

²Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, 299011, Россия, surinuriev@gmail.com

Статья поступила 04.09.2024 г.; после доработки 06.09.2024 г.

Аннотация

В статье освещаются проблемы, связанные с распространением экстремистских и террористических идеологий затрагивающие предприятия энергетики. Рассматриваются основные стратегии борьбы с этими проблемами, такие как информационные кампании, взаимодействие с молодежью, усиление надзора со стороны правоохранительных органов и поощрение активного участия всех людей в борьбе с экстремизмом и терроризмом. Экстремистские и террористические идеологии представляют собой значительную угрозу миру и безопасности общества, и в последние годы многие страны столкнулись с террористическими атаками, вызванными экстремистскими убеждениями.

Ключевые слова: информационная безопасность, противодействие экстремизму, противодействие терроризму, социальные сети, экстремистские группировки, защита молодежи.

Protecting against the spread of extremism and terrorism at energy enterprises

I.N. Kartsan^{1,2}, S.A. Nuriev²,

¹Analytical Center, Moscow, 109316, Russia, kartsan2003@mail.ru

²Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences, Sevastopol, 299011, Russia, surinuriev@gmail.com

Received 04.09.2024 y.; received in final form 06.09.2024 y.

Abstract

The article highlights the problems associated with the spread of extremist and terrorist ideologies affecting energy companies. Key strategies to combat these problems, such as information campaigns, engaging with youth, increasing law enforcement oversight and encouraging the active participation of all people in the fight against extremism and terrorism, are discussed. Extremist and terrorist ideologies pose a significant threat to the peace and security of society, and in recent years many countries have experienced terrorist attacks driven by extremist beliefs.

Keywords: information security, countering extremism, countering terrorism, social networks, extremist groups, youth protection

Введение

Чтобы в полной мере осознать масштабы проблемы, необходимо рассмотреть ее разнообразные проявления и ряд факторов, способствующих ее распространению.

Экстремистские и террористические идеологии подрывают основы демократии и свободы, нарушают права человека и унижают достоинство личности [1]. Они пропагандируют ненависть, насилие и разделение по религиозному,

этническому или национальному признаку. Эти идеологии могут процветать в условиях социальной нестабильности, политической неопределенности, экономических проблем и культурных конфликтов [2].

Постановка задачи

Для борьбы с экстремизмом и терроризмом требуется целостный подход, направленный на устранение условий, способствующих его распространению. Должно включать в себя проведение демократических реформ, развитие межкультурного и межконфессионального диалога, создание новых рабочих мест, повышение уровня жизни, а также укрепление правоохранительных органов для выявления и пресечения экстремистской деятельности. Такие факторы, как экономическое неравенство, политические разногласия и отсутствие социальной безопасности, могут способствовать распространению экстремистских идеологий.

Описание исследования

Борьба с представленной угрозой требует широкого подхода, охватывающего различные слои общества, включая правительственные и неправительственные организации, образовательные учреждения, религиозные группы и средства массовой информации [3,4]. Необходимо комплексная стратегия по предотвращению экстремизма и терроризма и смягчению их последствий [5,6].

Превентивные меры должны включать в себя информационно-просветительские кампании, направленные на сдерживание распространения экстремистских идеологий, особенно среди молодежи. Важнейшее значение имеет просвещение населения о природе экстремистских убеждений и способах противодействия им. В школах должны проводиться уроки, посвященные причинам и последствиям экстремизма, а также стратегиям борьбы с ним [7,8].

Эти усилия помогут сформировать в обществе неприятие всех форм экстремизма и терроризма. Сегодня все чаще происходят теракты, вдохновленные экстремистскими идеологиями. Эти идеологии часто распространяются через такие платформы, как социальные сети, телевидение, радио и печатные СМИ. Чтобы противостоять этому, необходимо проводить информационные кампании, чтобы общественность не стала жертвой такой опасной пропаганды.

Существует множество способов борьбы с экстремистскими и террористическими идеологиями, но важно понимать, что проблему нельзя решить только путем конфронтации. Не менее важно поощрять терпимость и уважение к различиям между людьми. Этой цели могут способствовать образовательные и культурные инициативы, мероприятия по укреплению мира, а также вовлечение граждан в диалог и решение проблем.

Одним из наиболее эффективных инструментов предотвращения распространения экстремистских и террористических идеологий является образование [9]. Способствуя развитию критического мышления, толерантности и сопереживания, учебные заведения могут оградить людей, особенно молодежь, от опасной идеологии. В школах и университетах должны проводиться уроки, посвященные причинам экстремизма и терроризма, опасностям, которые они представляют, а также стратегиям выявления таких идеологий и противостояния им.

Программы раннего вмешательства в школах могут сыграть важную роль в формировании устойчивости у молодых людей. Педагоги должны вовлекать учащихся в дискуссии на такие темы, как культурное разнообразие, мирное разрешение конфликтов и важность прав человека. Создавая атмосферу инклюзивности и открытого диалога, молодые люди могут развить сильное чувство принадлежности и стать менее восприимчивыми к экстремистским идеям [10].

Молодые люди особенно уязвимы для экстремистской пропаганды из-за таких факторов, как социальная отчужденность, безработица и отсутствие ориентиров.

Профилактика экстремизма требует активного взаимодействия с молодежью через общественные программы, наставничество и внеклассные мероприятия. Общественные центры, спортивные клубы и молодежные организации могут стать площадками для позитивного взаимодействия, уменьшая притягательность радикализации.

Специализированные программы для молодежи из группы риска должны быть направлены на обучение лидерству, консультирование и предоставление возможностей для трудоустройства [11]. Решая проблемы, лежащие в основе недовольства, которые часто используют экстремистские группировки, общество может направить молодых людей в сторону от пагубного пути.

В эпоху цифровых технологий экстремистская идеология часто распространяется через онлайн-платформы, включая социальные сети, форумы и приложения для обмена сообщениями. Эти каналы позволяют экстремистским группам вести целенаправленную пропаганду, используя страхи и недовольство людей. Поэтому цифровая грамотность имеет решающее значение для борьбы с этой угрозой. Обучая население тому, как экстремистский контент распространяется в сети и как распознать манипулятивную пропаганду, люди могут стать менее уязвимыми для радикализации.

Правительства, неправительственные организации (НПО) и технологические компании должны сотрудничать, чтобы ограничить распространение экстремистского контента в Интернете. Это включает в себя выявление и удаление вредоносного контента, а также продвижение контрпропаганды, которая подчеркивает единство, мир и толерантность.

Повышение осведомленности общественности об опасностях экстремистских идеологий - важнейший аспект профилактики. Правительства и организации гражданского общества должны проводить широкомасштабные информационные кампании, информируя людей о тактике экстремистских групп, последствиях радикализации и способах сообщить о подозрительной деятельности.

Эти кампании могут проводиться по телевидению, радио, в социальных сетях и на публичных мероприятиях. Цель состоит в том, чтобы вооружить граждан знаниями, необходимыми для противостояния экстремистским сообщениям, и побудить сообщества взять на себя активную роль в предотвращении распространения этих идеологий.

В то время как вовлечение сообществ и образование имеют решающее значение, правоохранительные органы также играют жизненно важную роль в предотвращении распространения экстремизма и терроризма. Они отвечают за мониторинг экстремистской деятельности, пресечение деятельности вербовочных сетей и предотвращение терактов. Однако одних правоохранительных мер недостаточно. Правоохранительные органы должны работать в тандеме с социальными службами, педагогами и общественными лидерами, чтобы применять не столько реактивный, сколько превентивный подход.

Не менее важно международное сотрудничество в решении этой глобальной проблемы. Экстремистские идеологии выходят за рамки границ, поэтому и усилия по предотвращению

их распространения должны быть согласованными. Сотрудничество между странами в области обмена разведанными, обучения сотрудников правоохранительных органов и проведения совместных операций может усилить глобальную борьбу с экстремизмом и терроризмом.

Профилактика экстремизма также включает в себя реабилитацию тех, кто уже радикализировался. Программы реинтеграции, предназначенные для бывших экстремистов, имеют решающее значение для разрыва порочного круга насилия и предотвращения дальнейшей вербовки. Эти программы должны обеспечивать психологическую поддержку, профессиональное обучение и возможности для социальной реинтеграции. Предлагая альтернативный путь, общество может предотвратить возвращение бывших экстремистов к насильственной деятельности и отговорить других от вступления в экстремистские группы.

Чтобы противостоять разъединяющему характеру экстремистских идеологий, необходимо развивать диалог между различными культурными, религиозными и этническими группами. Инициативы, поощряющие межкультурный и межконфессиональный диалог, могут способствовать снижению напряженности и взаимопониманию. Создавая атмосферу взаимного уважения и сотрудничества, общество может укрепить свою устойчивость к экстремистским идеологиям, стремящимся внести раскол.

Кроме того, поощрение толерантности и уважения к разнообразию должно быть приоритетом общества. Культурные и религиозные различия должны восприниматься как достоинства, а не как источник конфликтов. Правительства, образовательные учреждения и средства массовой информации несут ответственность за поощрение инклюзивности и борьбу с дискриминационными практиками, которые могут способствовать радикализации.

Поощрение диалога между различными группами имеет решающее значение для снижения напряженности и конфликтов. Профилактические усилия также должны быть направлены на молодежь из группы риска путем организации специальных программ и мероприятий, включая развитие лидерских качеств, психологическую поддержку, культурные или спортивные мероприятия.

В борьбе с экстремизмом и терроризмом жизненно важно международное сотрудничество, а также усиление надзора за Интернетом и социальными сетями, чтобы блокировать распространение экстремистского контента. Это

требует сотрудничества с поставщиками интернет-услуг и платформами социальных сетей для выявления и удаления вредоносных материалов.

В конечном счете, борьба с экстремистскими и террористическими идеологиями — это ответственность, которую разделяет все общество. Только коллективными усилиями мы сможем защитить себя и своих близких от этой угрозы.

Также необходимо провести исследования, чтобы понять, как экстремистская и террористическая идеология влияет на различные группы, такие как молодежь, женщины и дети. Это поможет разработать более эффективные меры по противодействию распространению этой идеологии. Исследования также помогут выявить глубинные причины распространения экстремистской и террористической идеологии, что, в свою очередь, поможет разработать более эффективные стратегии борьбы с ней.

Заключение

Предотвращение распространения идеологии экстремизма и терроризма — сложная задача, требующая активного участия всех слоев общества. Благодаря образованию, вовлечению сообществ, цифровой грамотности, информированию общественности и решительным правоохранительным мерам можно эффективно противостоять распространению этих опасных идеологий. Участие международных партнеров и поощрение толерантности и диалога также необходимы для построения общества, устойчивого к экстремистским идеям. Только благодаря комплексному и совместному подходу мы сможем обезопасить будущее от угроз, исходящих от экстремизма и терроризма.

Благодарности (Acknowledgements).

Эта работа была выполнена в рамках государственного задания по теме № FNNN-2024-0016.

Список литературы

1. Мартыненко А.В. Профилактика экстремизма в молодежной среде: учебное пособие для вузов / А.В. Мартыненко и др. — М.: Юрайт, 2024. — 297 с.
2. Затолокин А.А. О региональных программах профилактики экстремизма в Российской Федерации / А.А. Затолокин, М.Н. Насиров // Общество и право, 2024. — № 2(88). — С. 101-106.
3. Бааль Н.Б. Роль образования в противодействии экстремизму и профилактике терроризма / Н.Б.

Бааль, О.М. Боева // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Философия, 2024. — № 2(68). — С. 126-138. — DOI: 10.26456/vtphilos/2024.2.126

4. Малюченко Г.Н. Проблемы профилактики стихийного подросткового экстремизма и пути их решения в рамках общеобразовательных учреждений / Г.Н. Малюченко, О.В. Коповая, С.В. Шанин // Инновационные проекты и программы в образовании, 2024. — № 3(93). — С. 52-58.
5. Каширгов А.Х. Экстремизм как социальное явление в современном мире / Каширгов А.Х. // Право и управление, 2024. — № 4. — С. 46-48. — DOI: 10.24412/2224-9133-2024-4-46-48
6. Каширгов А.Х. По вопросу характеристики экстремизма в молодежной среде / А.Х. Каширгов, Е.А. Семенов // Евразийский юридический журнал, 2022. — № 7(170). — С. 405-406.
7. Аверьянов В.С. Цифровая трансформация государственных учреждений / В.С. Аверьянов, И.Н. Карцан // Современные инновации, системы и технологии. — 2024. — Т. 4. № 2. — С. 221-229. — DOI: 10.47813/2782-2818-2024-4-2-0221-0229
8. Роганов С.А. Противодействие экстремизму в Вооруженных Силах Российской Федерации / Роганов С.А. // Право в Вооруженных Силах - Военно-правовое обозрение, 2023. — № 1(306). — С. 57-61.
9. Григорьева А.Е. Проблемы противодействия молодежной экстремистской деятельности в период цифровизации / А.Е. Григорьева, А.И. Винокуров // Аграрное и земельное право, 2023. — № 12(228). — С. 237-239. — DOI: 10.47643/1815-1329_2023_12_237
10. Григорьев А.Н. Современный экстремизм: понятие, социокультурные основания и тенденции развития / А.Н. Григорьев, Е.А. Кот // Союз криминалистов и криминологов, 2023. — № 1. — С. 78-85. — DOI: 10.31085/2310-8681-2023-1-204-78-85
11. Аверьянов В.С. О первичных технических устройствах и требованиях к ключам безопасности квантовых систем / В.С. Аверьянов, И.Н. Карцан // Вопросы кибербезопасности, 2023. — № 2(54). — С. 65-72. — DOI: 10.21681/2311-3456-2023-2-65-72

References

1. Martynenko A.V. et al. Prevention of extremism in youth environment: textbook for universities [Profilaktika jekstremizma v molodezhnoj srede: uchebnoe posobie dlja vuzov]. Moscow, Yurait, 2024. 297 p.
2. Zatolokin A.A., Nasirov M.N. On regional programs for the prevention of extremism in the Russian Federation. Society and Law, 2024, № 2(88), pp. 101-106.
3. Baal N.B., Boeva O.M. The role of education in countering extremism and preventing terrorism.

- Vestnik of Tver State University. Series: Philosophy, 2024, № 2(68), pp. 126-138. DOI: 10.26456/vtphilos/2024.2.126
4. Malyuchenko G.N., Kopovaya O.V., Shanin S.V. Problems of prevention of spontaneous teenage extremism and ways to solve them within the framework of general educational institutions. Innovative projects and programs in education, 2024, № 3(93), pp. 52-58.
 5. Kashirgov A.H. Extremism as a social phenomenon in the modern world. Law and Management, 2024, № 4, pp. 46-48. - DOI: 10.24412/2224-9133-2024-4-46-48
 6. Kashirgov A.H., Semenov E.A. On the issue of characterization of extremism in the youth environment. Eurasian Law Journal, 2022, № 7(170), pp. 405-406.
 7. Averyanov V.S., Kartsan I.N. Digital transformation of public institutions. Modern Innovations, Systems and Technologies, 2024, № 2(4), pp. 221-229. DOI: 10.47813/2782-2818-2024-4-2-2-0221-0229
 8. Roganov S.A. Counteraction to extremism in the Armed Forces of the Russian Federation. Law in the Armed Forces - Military Legal Review, 2023, № 1(306), pp. 57-61.
 9. Grigorieva A.E., Vinokurov A.I. Problems of countering youth extremist activity in the period of digitalization. Agrarian and Land Law, 2023, № 12(228), pp. 237-239. - DOI: 10.47643/1815-1329_2023_12_237
 10. Grigoriev A.N., Kot E.A. Modern extremism: concept, socio-cultural foundations and development trends. Union of criminologists and criminologists, 2023, № 1, pp. 78-85. - DOI: 10.31085/2310-8681-2023-1-204-78-85
 11. Averyanov V.S., Kartsan I.N. About primary technical devices and requirements to security keys of quantum systems. Voprosy cybersecurity, 2023, № 2(54), pp. 65-72. DOI: 10.21681/2311-3456-2023-2-65-72

УДК 620.92

Синергия компетенций в укреплении сотрудничества

Малахов А.И.¹, Деметьев Г.С.¹, Ван Хайчао², Березняк В.А.³, Абдали Л.М.³¹ Российская инженерная академия² Яньтайский научно-исследовательский институт³ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Статья поступила 04.09.2024 г.; после доработки 06.09.2024 г.

Аннотация

Одной из инженерных областей, в которых наиболее отчётливо проявляются положительные результаты синергии компетенций различных инженерных школ, является область радиационных технологий, и особенно, ее составная часть: радиационная медицина.

Ключевые слова: радиационная медицина, инженерная школа, ядерная энергетика, медицинские изотопы.

Synergy of competencies in strengthening cooperation

Malakhov A.I.¹, Dementyev G.S.¹, Wang Haichao², Berezhnyak V.A.³, Abdali L.M.³¹ Russian Engineering Academy² Yantai Research Institute³ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Sevastopol State University"

Received 04.09.2024 y.; received in final form 06.09.2024 y.

Abstract

One of the engineering areas in which the positive results of the synergy of competencies of various engineering schools are most clearly manifested is the field of radiation technology, and especially its component: radiation medicine.

Keywords: radiation medicine, engineering school, nuclear energy, medical isotopes.

Введение

Российская инженерная академия в лице секции «Ядерная энергетика» ведет большую работу в части развития возможностей радиационной медицины. В секции ведется проекта создания в России сети центров ионно-протонной терапии. В апреле 2023 года проект был доложен на конференции в г. Яньтай (рисунок 1)

После выступления от китайских коллег последовало предложение совместной работы Российской инженерной академии и ряда китайских институтов и предприятий, расположенных в г. Яньтай. Это предложение было реализовано в соглашении, предусматривающем создание сов-

местного Шаньдунского научно-исследовательского института промышленных технологий Российской инженерной академии.

Пилотным проектом работы института стороны соглашения утвердили проект создания в г. Яньтай производства ряда медицинских изотопов, имеющих важное значение в диагностике и лечении онкологических заболеваний.

Выбор такого проекта в качестве пилотного объясняется статистикой онкозаболеваемости в Китайской Народной Республике.

В таблице 1 приводится статистика выявления онкозаболеваний и смертности в периоде 2022-2023 годы.

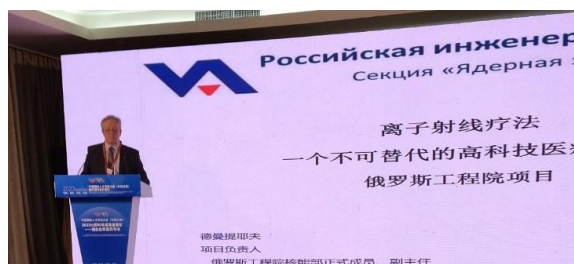


Рис. 1 Выступление Дементьева Г.С. 16.04.2023 в г. Яньтай на конференции «Продвижение научно-технических достижений в области судостроения, морской инженерии, изучения и мониторинга водной среды и медицинские технологии»

Таблица 1. Статистика выявляемости онкозаболеваний и смертности в 2022 году

Страна	Число новых случаев заболевания за год, на 100 тысяч населения	Число умерших от рака за год, на 100 тысяч населения	Доля умерших от числа новых случаев
КНР	333,0	221,7	66,6%
Россия	396,3	194,7	49,1%
США	573,2	183,6	32,0%
Япония	890,0	334,9	37,6%

Из таблицы видно, что в КНР самая низкая выявляемость онкозаболеваний, но в то же время самый большой процент смертности по отношению к числу выявленных больных. Из этого можно сделать 2 вывода. Во-первых, недостаточен процент выявляемости онкобольных, а, во-вторых, для снижения смертности нужно развивать современные методы лечения, к которым относится и радионуклидная (радиоизотопная) терапия. Данный вид терапии предполагает доставку различными способами радиоизотопов в область опухоли, в результате чего клетки опухоли под действием ионизирующего облучения погибают (более подробно с данной проблематикой можно ознакомиться на сайте Российской инженерной академии).

В России имеется ряд научных школ и организаций, успешно работающих в области разработки технологий производства радиоизотопов медицинского назначения и создания на их основе соответствующих радиофармпрепаратов, которые и обеспечивают доставку радиоизотопов в пораженную область организма.

Для того, чтобы установить рабочие контакты между китайскими институтами и предприятиями, участвующими в проекте, с одной стороны, и российскими организациями, компетентными в области производства и применения радиоизотопов медицинского назначения, с 4-го по 7-е июня с.г. по приглашению Президента Российской инженерной академии Гусева Б.В.

состоялся визит делегации китайских специалистов под руководством директора Яньтайского научно-исследовательского института промышленных технологий г-на Ван Хайчао (рисунок 2).



Рис. 2. Встреча в Российской инженерной академии

В ходе визита делегация посетила ряд ведущих российских организаций — лидеров в части производства и применения радиоизотопов медицинского назначения. Также была проведена встреча с руководителями организации, являющейся лидером в поставке радиоизотопов и стабильных изотопов на российский и внешний рынки.

В ходе встреч были подписаны ряд протоколов, предполагающих выработку направлений и форм совместной работы российских и китайских организаций.

Работа предполагается комплексная. Во-первых, это имплементация в промышленное производство уже имеющихся в российских организациях технологий производства ряда радиоизотопов. Во-вторых — проведение совместных исследований с целью создания новых технологий производства радиоизотопов и радиофармпрепаратов на их основе, а также улучшение существующих технологий.

Основным содержанием научных исследований должны стать следующие направления.

Прежде всего это разработка методов и способов изготовления мишеней из стабильных изотопов, с акцентом на отработку общих методов

изготовления, включая гальваническое покрытие, прессование, высокотемпературное спекание и т.д.

И как результат, вытекающее из предыдущего: создание технологий непосредственно изготовления радиоизотопных мишеней.

Заметим, что для различных мишеней придется разрабатывать соответствующие только им мишенные системы, обеспечивающие установку данных мишеней под пучок, а также их перемещение после облучения на участок выделения радиоизотопов.

Необходимо подчеркнуть, что важным атрибутом мишеней как систем является их системы охлаждения, от которых требуется поддержание необходимых температурных параметров. Последнее предполагает точное измерение температуры в зоне ионизации, а значит требуется применение соответствующих температурных датчиков, обеспечивающих долговременную работу в зоне высокого ионизирующего излучения.

Одновременно, потребуются работы с ускорительными системами, которые должны обеспечить равномерный поток ионизирующего излучения на всей поверхности мишени, а это не только формирование пучка, но и качество пучка на выходе ускорителя частиц. И здесь потребуются знание и опыт российских специалистов в области создания и производства ускорителей, в частности циклотронов и линейных ускорителей электронов.

Важнейшим разделом работ станет радиохимия в части разделения и очистки полученных изотопов. Сложность будет заключаться в том, что проект предполагает создание крупномасштабного производства. Последнее накладывает свои особенности в части достижения требуемой стабильности технологических процессов, а также в части радиационной безопасности.

И наконец, крупномасштабное производство должно учитывать вопросы экономической эффективности. Поэтому одним из разделов реализуемого проекта является восстановление материнских изотопов и соединений для их повторного использования.

Возвращаясь к визиту делегации, необходимо отметить, что все встречи были весьма результативными и уже начата работа по подготовке и согласованию планов совместных работ. Важным аспектом, при этом, является принцип непрерывности процесса. Последнее выражается в том, что имплементация технологий на производственной площадке в г.Яньтай требует вре-

мени. Однако для того, чтобы медицинская инфраструктура к запуску производства была готова к практическому применению производимой продукции, предполагается уже начать закупки в России предполагаемых к производству радиоизотопов. Это позволит отладить получение соответствующих радиофармпрепаратов, провести (при необходимости) их клинические испытания и получить соответствующие разрешения на их клиническое применение.

В ходе встреч китайской делегации с российскими учеными и специалистами внимание членов делегаций было обращено на такой вид продукции, как генераторы радиоизотопов медицинского назначения. Это специфический вид продукции, который, например, позволяет заменить применение ультракоротко живущих радиоизотопов (например, F-18, C-11) при проведении позитронно-эмиссионной (ПЭТ) томографии на генераторные короткоживущие радиоизотопы. Известно, что ПЭТ томография, использующая ультракоротко живущие радиоизотопы предполагает наличие циклотронного комплекса, а это более двух третей стоимости всего ПЭТ-центра. Применение же упомянутых генераторов почти полностью перекрывает потребность ПЭТ томографии в ультракоротко живущих радиоизотопах и позволяет не применять циклотроны.

Нельзя не отметить, что описанное выше выстраиваемое Российской инженерной академией направление работы уже сегодня не ограничивается только радиационной тематикой. Уже начаты переговоры между российскими и китайскими организациями по реализации совместных проектов в морской тематике, а также в области материаловедения (например, технологии производства и применения графена или технологии физического осаждения углерод-углеродных композитов из паровой фазы на металлическую подложку).

Заключение

В заключение, необходимо обратиться к высказываниям лидеров КНР и Китая, вынесенным в качестве эпиграфа в начале статьи. Процесс налаживания совместной работы между российскими и китайскими специалистами не односторонен и выгоден не только китайским специалистам, но также важен и для российских специалистов.

Ни для кого не являются секретом, сложности, которые сегодня испытывает как Россия в

целом, так и многие российские научные и промышленные коллективы. В тоже время в последнее время начинает испытывать аналогичные сложности и КНР. Поэтому установление прочных научно-производственных связей между китайскими и российскими научными и промышленными коллективами приведет к синергии компетенций тех и других и позволит производить более качественную продукцию в короткие сроки, что позволит излечить десятки тысяч онкобольных и вернуть их к нормальной жизни.

Список литературы

1. Cancer statistics in China and United States, 2022: profiles, trends, and determinants, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35143424>.
2. ФГБУ МНИОИ им.П.А.Герцена, «Состояние онкологической помощи населению в 2022 году».
3. American Cancer Society, Cancer Facts & Figures 2022.
4. Japan Source: Globocan, <https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/populations/392-japan-factsheets.pdf>.
5. <http://www.info-rae.ru/wp-content/uploads/2022/04/Ионная-лучевая-терапия-PDF.pdf>.

References

1. Cancer statistics in China and United States, 2022: profiles, trends, and determinants, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35143424>.
2. Federal State Budgetary Institution Moscow Research Institute named after P.A. Herzen, “State of oncological care to the population in 2022.”
3. American Cancer Society, Cancer Facts & Figures 2022.
4. Japan Source: Globocan, <https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/populations/392-japan-factsheets.pdf>.
5. <http://www.info-rae.ru/wp-content/uploads/2022/04/Ion-radiation-therapy-PDF.pdf>.

УДК 621.22-225

Определение минимальной толщины стенки трубопровода рециркуляции и конденсатопровода на АЭС

Ретунский Д.М.¹, Сакерин А.О.¹, Сероев И.А.¹, Губин А.В.¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, 299053, Россия,

e-mail: retunsky.denis@yandex.ru, sakerin_andrey@mail.ru, avgubin@mail.sevsu.ru

Статья поступила 10.09.2024 г.; после доработки 12.09.2024 г.

Аннотация

В современном обществе электрическая энергия играет ключевую роль в повседневной жизни людей. Атомные станции стали надёжным и эффективным источником электроэнергии, конкурируя успешно с тепловыми электростанциями, работающими на органическом топливе. В связи с интенсивным ростом количества атомных станций и их разновидностей в России и мире становится ключевым определение некоторых аспектов надёжности и безопасности работы агрегатов и трубопроводов АЭС, поэтому в данной работе, исходя из экспериментальных данных, полученных в результате измерений на энергоблоке АЭС, рассчитывается минимально допустимая толщина трубопроводов и коэффициенты запаса прочности.

Ключевые слова: электростанция, безопасность АЭС, трубопроводы, конденсатопроводы, толщина стенки, коэффициент прочности.

Determination of the minimum wall thickness for the recirculation and condensate pipelines at a nuclear power plant

Retunskiy D.M.¹, Sakerin A.O.¹, Seroev I.A.¹, Gubin A.V.¹¹Sevastopol State University, Sevastopol, 299053, Russia, e-mail: retunsky.denis@yandex.ru, sakerin_andrey@mail.ru,

avgubin@mail.sevsu.ru,

Received 10.09.2024 y.; received in final form 12.09.2024 y.

Abstract

In modern society, electrical energy plays a key role in people's daily lives. Nuclear power plants began to produce electricity reliably and efficiently, successfully competing with thermal power plants running on fossil fuels. In connection with the intensive growth in the number of nuclear methods and their effectiveness in Russia and the world, the determination of certain aspects of the reliability and safety of operation of nuclear power plant units and pipelines is becoming decisive, based on experimental data obtained as a result of measurements at a nuclear power plant power unit, calculations of the minimum permissible pipeline thicknesses and safety factors were carried out.

Keywords: power plants, NPP safety, pipelines, condensate lines, protective walls, safety factor.

Введение

Расчёт минимальной толщины металла трубопроводов на атомной электростанции остаётся актуальным в настоящее время, как и в любой другой период, по нескольким причинам:

1. Безопасность: трубопроводы на атомных станциях служат для перекачки различных

сред (например, пара или охлаждающие среды) под высоким давлением и температурой. Расчёт минимальной толщины металла необходим для обеспечения безопасности и предотвращения возможности разрыва или протечки, что может привести к

аварии или выбросу радиоактивных веществ или излучений в окружающую среду.

2. Целостность системы: минимальная толщина металла трубопроводов является важным параметром, который обеспечивает целостность всей системы. Расчёт проводится с учётом факторов, таких как давление, температура, свойства материала и другие факторы, чтобы гарантировать, что трубопроводы могут выдерживать рабочие условия и нестабильности, такие как вибрации или термические нагрузки.
3. Продолжительность службы: атомные станции проектируются и строятся с долгосрочной перспективой. Они должны обеспечивать стабильную работу на протяжении десятилетий. Расчёт минимальной толщины металла трубопроводов помогает определить долговечность системы, учитывая коррозию и износ, чтобы минимизировать вероятность отказов или неожиданных поломок в будущем.
4. Соответствие нормам и стандартам: в атомной отрасли существуют строгие нормы и стандарты, которым должны соответствовать трубопроводы и оборудование. Расчёт минимальной толщины металла основан на этих нормах и стандартах, чтобы обеспечить соблюдение требований безопасности и надёжности работы атомной станции.

В целом, расчёт минимальной толщины металла трубопроводов на атомной станции остаётся актуальным, так как это важный аспект, обеспечивающий безопасную и надёжную работу станции в течение долгого времени. Это особенно важно в атомной энергетике, где требуются высокие стандарты безопасности из-за особенностей процесса ядерного деления и обработки радиоактивных материалов.

Целью выполнения данной работы является расчёт минимально допустимой толщины металла трубопровода. Для примера расчёта взяты: трубопровод рециркуляции турбопитательных насосов и конденсатопровод от подогревателя высокого давления (№6) и сепаратора пароперегревателя (№1) турбинного отделения энергоблока АЭС.

Методика расчета

1. Расчёт минимальной толщины металла напорного трубопровода рециркуляции турбопитательных насосов приведён ниже.

Допустим, что участок трубопровода, в котором были обнаружены превышающие норму

утонения, расположен в районе сварного шва №22.

Параметры: рабочая среда – питательная вода, рабочее давление – $10,0 \text{ кгс/см}^2$, температура – 170°C . Труба имеет размеры $\varnothing 133 \times 8$, материал – Ст. 20 [1].

Исходные данные:

1) Наружный диаметр и толщина стенки трубы.

$$D = 133 \text{ мм}, t = 8 \text{ мм.}$$

2) Определение единицы измерения:

$$^\circ\text{C} = 0,1$$

3) Все расчёты будут проводиться для следующих рабочих параметров трубопровода:

$$P = 10 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}, T = 170^\circ\text{C}$$

4) Значения предела текучести и предела прочности стали 20 при рабочих параметрах [2]:

$$RTm = 384,4 \text{ МПа}, RTP = 202 \text{ МПа}$$

Определение максимально допустимых эксплуатационных напряжений в соответствии с ПНАЭ Г-7-002-86:

$$A_1 = \frac{RTm}{2,6} = \frac{384,4}{2,6} = 147,85 \text{ МПа};$$

$$A_2 = \frac{RTP}{1,5} = \frac{202}{1,5} = 134,67 \text{ МПа};$$

$$\sigma_3 = \min(A).$$

Максимально допустимые эксплуатационные напряжения для Ст. 20:

$$\sigma_3 = 134,67 \text{ МПа.}$$

Напряжения в радиальном направлении:

$$\sigma_r = \frac{P \cdot D}{2 \cdot t} = \frac{10 \cdot 0,1}{2 \cdot 6,6} = 10,076 \text{ МПа.}$$

Напряжения в осевом направлении:

$$\sigma_r = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t} = \frac{10 \cdot 0,1}{4 \cdot 6,6} = 5,038 \text{ МПа.}$$

Радиальные и осевые напряжения определяются для двух случаев: номинальная толщина стенки и утонение 6,6 мм. Для дальнейших расчётов выбираются максимальные значения.

Номинальные эксплуатационные напряжения:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{ном}} &= \sqrt{(\sigma_r)^2 + (\sigma_t)^2} - \sigma_r \cdot \sigma_t = \\ &= \sqrt{(10,076)^2 + (5,038)^2} - 10,076 \cdot 5,038 \\ &= 8,726 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Коэффициент запаса прочности:

$$\sigma_r = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t} = \frac{10 \cdot 0,1}{4 \cdot 6,6} = 5,038 \text{ МПа.}$$

Коэффициент запаса прочности:

$$K = \frac{\sigma_3}{\sigma_{\text{ном}}} = \frac{134,67}{8,726} = 15,433.$$

Коэффициент снижения прочности (для

данной конструкции $\varphi = 1$:

$$\varphi = 1.$$

Поправка, учитывающая коррозионное влияние рабочей среды [3]:

$$C = 1,2 \text{ мм.}$$

Расчётная толщина стенки:

$$S_R = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_3 + P} = \frac{1 \cdot 133}{2 \cdot 1 \cdot 134,67 + 1} = 0,492 \text{ мм.}$$

Минимально допустимая толщина стенки:

$$S = S_R + C = 0,492 + 1,2 = 1,692 \text{ мм}$$

Определение минимально допустимого утонения под стыковую сварку

$$S_j = S_R - S_R \cdot 0,1 = 0,492 \cdot 0,9 = 0,443 \text{ мм.}$$

Определение длины расточенного участка:

$$L_j = 5 \cdot (S - C) = 5 \cdot (1,692 - 1,2) = 2,46 \text{ мм.}$$

Минимально допустимая толщина стенки трубопровода для данных параметров эксплуатации равна $S = 1,692$ мм, коэффициент запаса прочности по напряжениям составляет $K = 15,433$. Допускается утонение под стыковую сварку до $S_j = 0,443$ мм, при этом длина расточенного участка не должна превышать значение $L_j = 2,46$ мм [4].

2. Расчёт минимальной толщины металла на конденсаторопроводе от ПВД-6 и СПП-1 в Д-7.

Допустим, что участок трубопровода, в котором были обнаружены превышающие норму утонения, расположен в районе сварных швов №32-2, №33-2.

Параметры: рабочая среда – конденсат, рабочее давление – $9,0 \text{ кгс/см}^2$, температура – 186°C . Труба имеет размеры $\text{Ø}426 \times 14$ и представлена на рисунке 1, материал – Ст. 20.

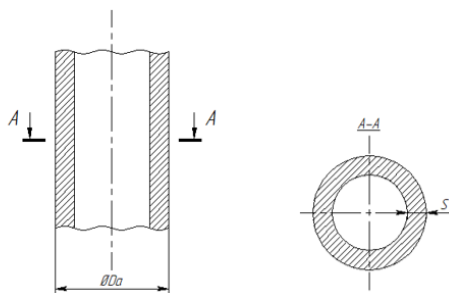


Рис. 1. Схема трубы, работающей под внутренним давлением

Исходные данные:

1) Наружный диаметр и толщина стенки

трубы.

$$D = 426 \text{ мм, } t = 14 \text{ мм.}$$

2) Определение единицы измерения:

$$^\circ\text{C} = 0,1.$$

3) Все расчёты будут проводиться для следующих рабочих параметров трубопровода:

$$\left. \begin{aligned} T &= \begin{bmatrix} 50 \\ 100 \\ 150 \\ 200 \\ 250 \\ 300 \\ 350 \end{bmatrix} ^\circ\text{C} \\ RTm &= \begin{bmatrix} 392 \\ 392 \\ 392 \\ 373 \\ 373 \\ 363 \\ 353 \end{bmatrix} \cdot 10^6 \text{ Па} \\ RTP &= \begin{bmatrix} 206 \\ 206 \\ 206 \\ 196 \\ 196 \\ 177 \\ 157 \end{bmatrix} \cdot 10^6 \text{ Па} \end{aligned} \right\}$$

Предел прочности и предел текучести для Ст. 20 при рабочей температуре:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_B &= \text{interp}(T, RTm, t); \\ \sigma_B &= 3,783 \cdot 10^8 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}; \\ \sigma_T &= \text{interp}(T, RTP, t); \\ \sigma_T &= 1,988 \cdot 10^8 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2} \end{aligned} \right\}$$

Номинальное допускаемое напряжение для элементов оборудования и трубопроводов, нагруженных внутренним давлением, принимают минимальным из следующих значений:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{RTm}{2,6} = \frac{378,3}{2,6} = 145,5 \text{ МПа;} \\ A_2 &= \frac{RTP}{1,5} = \frac{198,8}{1,5} = 132,53 \text{ МПа;} \\ \sigma_3 &= \min(A) = 132,53 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Коэффициент снижения прочности кольцевых сварных соединений цилиндрических труб, нагруженных давлением, принимают равным единице:

$$\varphi = 1.$$

Определение расчётной толщины стенки

трубы:

$$s_R = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_3 + p} = \frac{9,0 \cdot 0,426}{2 \cdot 1 \cdot 1325,3 + 9,0} = 0,00144 \text{ м.}$$

Прибавка c_2 учитывает коррозионное влияние рабочей среды на материал элементов конструкции в эксплуатационных условиях. Для данного случая прибавка c_2 за время эксплуатации 30 лет равна 1,2 мм:

$$c_2 = 1,2 \text{ мм}$$

Определение минимально допустимой толщины стенки трубы:

$$s_m = s_R + c_2 = 0,00144 + 0,0012 = 0,00264 \text{ м.}$$

Коэффициент запаса прочности определяется как отношение максимально допустимых эксплуатационных напряжений к реальным напряжениям. Оценим величину коэффициента запаса прочности. Рассмотрим случай нагрузки только внутренним давлением p . Предположим, что толщина стенки трубы равна 7,7 мм (обнаруженное максимальное утонение).

$$s_h = 7,7 \text{ мм.}$$

Внутренний и наружный радиусы трубы:

$$r_1 = D - s_h = 426 - 7,7 = 418,3 \text{ мм;}$$

$$r_2 = D = 426 \text{ мм.}$$

Наибольшие значения радиальных σ_r и кольцевых σ_θ напряжений наблюдаются на внутренней поверхности трубы.

$$\sigma_r = -p = -8,826 \cdot 10^5 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2};$$

$$\sigma_\theta = \frac{1 + \frac{r_1}{r_2}}{1 - \frac{r_1}{r_2}} \cdot p = \frac{1 + \frac{418,3}{426}}{1 - \frac{418,3}{426}} \cdot 9,0$$

$$= 9,678 \cdot 10^7 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}.$$

Коэффициент запаса прочности в случае нагружения только внутренним давлением равен:

$$K = \frac{\sigma_3}{|\sigma_\theta|} \text{ if } |\sigma_\theta| > |\sigma_r|;$$

$$K = \frac{132,53}{96,78} = 1,369.$$

Заключение

В рамках проведенного исследования получены следующие результаты:

- при зафиксированном утонении 6,6 мм (сварной стык №22) и коэффициенте запаса прочности 15,433 допускается дальнейшая эксплуатация трубопровода рециркуляции насосов ТПН турбинного отделения энергоблока АЭС;
- при зафиксированном утонении 8,1 мм, 8,3 мм (сварной стык №34-2) и 7,7 мм, 8,0 мм

(сварной стык №32-2) и коэффициенте запаса прочности ~1.37 допускается дальнейшая эксплуатация конденсатопровода от ПВД-6 и СПП-1 в Д-7 турбинного отделения блока №1.

Для определения скорости утонения рекомендуется провести контроль толщины металла трубопровода при выводе энергоблока в следующий планово-предупредительный ремонт.

Список литературы

1. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. ПНАЭ Г-7-002-86.
2. Соппротивление материалов, Н. М. Беляев, Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1976 г., стр. 608.
3. Эрозионно-коррозионный износ оборудования атомных электростанций / В.И. Бараненко, Б.И. Нигматулин, Т.Е. Шедеркина и др. // Атомная техника за рубежом. 1995. № 8. С. 9—13.
4. РД ЭО 0571 2006. Нормы допустимых толщин элементов трубопроводов из углеродистых сталей атомных станций». – 44 с.

References

1. Standards for calculating the strength of equipment and pipelines of nuclear power plants. PNAE G-7-002-86.
2. Strength of materials, N. M. Belyaev, Main editorial office of physical and mathematical literature of the Nauka publishing house, 1976, p. 608.
3. Erosion-corrosion wear of nuclear power plant equipment / V.I. Baranenko, B.I. Nigmatulin, T.E. Shederkina and others // Atomic technology abroad. 1995. No. 8. P. 9-13.
4. RD EO 0571 2006. Standards for permissible thicknesses of pipeline elements made of carbon steel nuclear power plants” – 44 p.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.396+621.316.993

Применение аппаратных особенностей AVR-микроконтроллеров при мониторинге состояния заземляющих устройств

Р.Т. Абдуллозода¹, Б.Т. Абдуллоев², Х.Д. Бобоев³

¹ТТУ имени академика М.С. Осими, г. Душанбе

²Таджикский государственный университет коммерции, г. Душанбе

³Институт энергетики Таджикистана, г. Бокhtar

1art.tj@bk.ru, 1,3khhoboev-93@mail.ru

Статья поступила 09.09.2024 г.; после доработки 13.09.2024 г.

Аннотация

В данной работе приведены понятия систем мониторинга заземляющего устройства. Рассмотрены основные области применения AVR-микроконтроллеров, их спецификации и основные характеристики, приводятся основные параметры микроконтроллера типа ATmega8515-16AU.

Ключевые слова: AVR-микроконтроллер; ATmega8515-16AU; мониторинг; заземляющее устройство, аналого-цифровой преобразователь, заземлитель.

Application of hardware features AVR microcontrollers when monitoring the condition of grounding devices

R.T. Abdullozoda¹, B.T. Abdulloev², Kh.D. Boboev³

¹TTU named after academician M.S. Osimi, Dushanbe

²Tajik State University of Commerce, Dushanbe

³Institute of Energy of Tajikistan, Bokhtar 1art.tj@bk.ru, 1,3khhoboev-93@mail.ru

Received 09.09.2024 y.; received in final form 13.09.2024 y.

Abstract

This article discusses the concepts of grounding device monitoring systems. The main areas of application of AVR microcontrollers in such systems, their specifications and main characteristics are touched upon, and the main parameters of the ATmega8515-16AU microcontroller are given.

Key words: AVR microcontroller; ATmega8515-16AU; monitoring; grounding device, analog-to-digital converter, grounding conductor

Введение

Как известно, заземляющие устройства применяются во всех объектах электроэнергетического назначения с целью обеспечения нормального режима работы электрооборудования, электробезопасности обслуживающего персонала, а также в ряде случаев используются для отвода

заряда молнии в землю.

Неисправность заземлителя существенно влияет на работу измерительных аппаратов, системы релейной защиты и автоматики, установок различного вида и назначения и других систем. Сопротивление является одним из основных параметров заземления и ее возрастание наглядно показывает ухудшение технического

В настоящее время для оценки технического состояния элементов заземляющих устройств используют стандарты и руководящие нормативно-технические документы [6 – 9]. Также, существуют различные методы и программно-аппаратные средства для мониторинга основных параметров заземляющих устройств, характеризующих их состояние. Измерение физических величин производят соответствующими приборами, однако при помощи AVR-микроконтроллеров и соответствующих датчиков можно осуществить измерение почти любых электрических параметров.

Постановка задачі

Согласно [10] состояние заземляющего устройства, при определенной погрешности, можно оценивать в зависимости от среднегодового значения влажности грунта и значения тока протекающих по заземляющим электродам.

Применение AVR-микроконтроллеров идеально подходит в устройствах мониторинга состояния заземляющего устройства, которые при измерении двух вышеуказанных параметров характеризуют фактическое состояние заземлителя.

устройств. Микроконтроллер типа ATmega8515-16AU имеет энергонезависимую память RAM, EEPROM в них используют гарвардскую архитектуру памяти [11].

Результаты исследований

Количество встроенных периферийных электронных устройств микроконтроллера ATmega8515-16AU очень велико: к ним относятся таймеры, аналого-цифровой преобразователь (РА1 – РА7) универсальные цифровые порты ввода/вывода (PB5 – PB7, RESET, PD0, PD1) и т.д.

В отличие от микропроцессора, микроконтроллеры выполняют более простые функции и имеют широкую сферу применения в электронных устройствах, технике бытового и промышленного назначения.

Программирование микроконтроллера ATmega8515-16AU может производиться как на C++, так и на языке Ассемблере. Большое количество универсальных портов ввода/вывода и широкие возможности программирования создают гибкую систему, которая может использоваться в различных областях.

Микроконтроллеры ATmega8515-16AU могут применяться не только при мониторинге состояния заземляющих устройств, а также в микропроцессорных устройствах релейной защиты и автоматики, системе сигнализации, энергетических установках и др.

Существует возможность подключения к вышеуказанным микроконтроллерам GSM-модуль, что может использоваться для дистанционного мониторинга состояния заземляющих устройств.

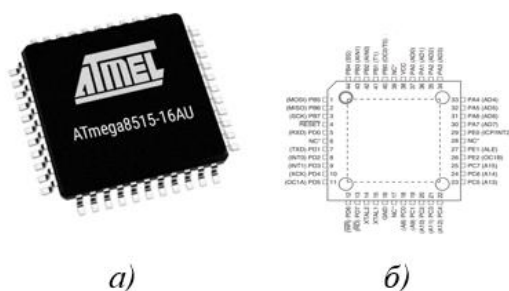


Рис 1. Микроконтроллер типа АТmega8515-16AU: а) внешний вид; б) назначение портов

Микроконтроллер – считается «мозгом» электронных устройств и его отличие от микропроцессора состоит в: выполнении функции микропроцессора и ряда периферийных

Заключение

По представленным результатам можно сделать следующие основные выводы:

- приведенные системы мониторинга заземляющего устройства позволяют значительно увеличить быстродействие электроэнергетической системы;
- применение AVR-микроконтроллеров позволяют эффективнее решать основные задачи управления автоматикой;
- микроконтроллеры типа А Tmega 8515-16AU позволяют улучшить системы релейной защиты и увеличить надёжность работы системы;
- увеличение надёжности работы системы автоматического управления позволяет сни-

зитель потери электрической энергии и увеличить срок службы оборудования.

Список литературы

1. Абдуллоев, Р.Т. Особенности конструктивного выполнения заземляющих устройств тяговых подстанций / Р.Т. Абдуллоев, А.Б. Тряпицын, А.И. Сидоров // Наука ЮУрГУ: материалы 66-й научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – С. 551 – 554.
2. Сидоров, А.И. Разработка плана отсеивающего эксперимента по исследованию влияния различных факторов на процесс коррозии заземляющих устройств / А.И. Сидоров, Р.Т. Абдуллоев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 52 – 58.
3. Сидоров, А.И. Двухфакторный эксперимент по исследованию процесса коррозии заземляющего устройства / А.И. Сидоров, М.Д. Додхудоёв, Б.Т. Абдуллоев, Р.Т. Абдуллоев // материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов «Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе» Т.2 / Тюмень: ТИУ. 2016. – С. 396 – 398.
4. Сидоров, А.И. К вопросу о влиянии различных параметров грунта на коррозию заземляющих устройств / А.И. Сидоров, А.И. Солдатов, Б.Т. Абдуллоев, Р.Т. Абдуллоев, Н.Х. Табаров, А.Ш. Маджидов // Энергобезопасность и энергосбережение. Серия «Энергобезопасность и охрана труда». – 2017. – № 6 (78). – С. 5 – 8.
5. Анализ погрешностей косвенного метода контроля параметров изоляции сети относительно земли в программной среде MATLAB/Simulink / Х. Д. Бобоев, Ю. И. Аверьянов, А. В. Богданов, И. Л. Кравчук // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2022. – Т. 22, № 1. – С. 106-116. – DOI 10.14529/power220112. – EDN UVOTCH.
6. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. – М: НГТУ, МЭИ ТУ, НПФ ЭЛНАП и АО «Фирма ОРГРЭС», 2000.–54 с.
7. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок / СТО 56947007 - 29.130.15.105-2011. – М.: ОАО «ФСК ЕЭС» 2011.–75 с.
Пат. 2649630 Российская Федерация: МПК G01R 19/145 (2006.01). Установка для исследования влияния факторов окружающей среды и блуждающих токов на процесс коррозии заземляющих устройств / Абдуллоев Р.Т., Сидоров А.И., Тряпицын А.Б. – № 2015145568; заявл. 10.05.2016; опубл. 22.10.2015, Бюл. № 10-2018.
8. Бобоев, Х. Д. Устройство контроля изоляции в сетях 6 КВ / Х. Д. Бобоев // Известия Тульского

государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 2. – С. 168-171. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-2-168-172. – EDN JNFPUM.

9. Сидоров, А.И. Технические средства для определения состояния заземляющих устройств / А.И. Сидоров, А.Б. Тряпицын, Р.Т. Абдуллоев // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сборник материалов VI-й научно-практической конференции: в 2 т. / под. ред. А.И. Сидорова – Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2015. – Т.1. С. 245 – 249.
10. Пат. 2649630 Российская Федерация: МПК G01RB 17/00 (2006.01). Способ определения коррозионного состояния заземляющих устройств/ Р.Т. Абдуллоев, А.И. Сидоров, Н.И. Горбунов, И.А. Шеремета. – № 2017103850; заявл. 06.02.2017; опубл. 04. 04. 2018, Бюл. № 10-2018.
11. Яценков В. С. Микроконтроллеры Microchip® rPIC со встроенным маломощным радиопередатчиком. – М: Горячая линия–Телеком, 2006. – 344 с.

References

1. Abdulloev, R.T. Features of the design of grounding devices of traction substations / R.T. Abdulloev, A.B. Tryapitsyn, A.I. Sidorov // Science of SUSU: materials of the 66th scientific conference. Sections of technical sciences. - Chelyabinsk: Publishing center of SUSU, 2014. - P. 551 - 554.
2. Sidorov, A.I. Development of a plan for a screening experiment to study the influence of various factors on the corrosion process of grounding devices / A.I. Sidorov, R.T. Abdulloev // Bulletin of SUSU. Series "Power Engineering". - 2016. - Vol. 16, No. 2. - P. 52 - 58.
3. Sidorov, A.I. Two-factor experiment to study the corrosion process of a grounding device / A.I. Sidorov, M.D. Dodkhudoev, B.T. Abdulloev, R.T. Abdulloev // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates, Young Scientists and Specialists "Energy Saving and Innovative Technologies in the Fuel and Energy Complex" V.2 / Tyumen: TIU. 2016. - P. 396 - 398.
4. Sidorov, A.I. On the Impact of Various Soil Parameters on the Corrosion of Grounding Devices / A.I. Sidorov, A.I. Soldatov, B.T. Abdulloev, R.T. Abdulloev, N.Kh. Tabarov, A.Sh. Majidov // Energy Safety and Energy Saving. Series "Energy Safety and Labor Protection". - 2017. - No. 6 (78). – P. 5 – 8.
5. Analysis of errors of the indirect method of monitoring the parameters of network insulation relative to the ground in the MATLAB/Simulink software environment / Kh. D. Boboev, Yu. I. Averyanov, A. V. Bogdanov, I. L. Kravchuk // Bulletin of the South Ural State University. Series: Power Engineering. –

2022. – Vol. 22, No. 1. – P. 106-116. – DOI 10.14529/power220112. – EDN UVOTCH.
6. Methodological guidelines for monitoring the condition of grounding devices of electrical installations. – M: NSTU, MEI TU, NPF ELNAP and AO Firma ORGRES, 2000. – 54 p.
 7. Guidelines for monitoring the condition of grounding devices of electrical installations / STO 56947007 - 29.130.15.105-2011. - M.: JSC "FGC UES" 2011. - 75 p.
 8. Patent. 2649630 Russian Federation: IPC G01R 19/145 (2006.01). Installation for studying the influence of environmental factors and stray currents on the corrosion process of grounding devices / Abdulloev R.T., Sidorov A.I., Tryapitsyn A.B. - No. 2015145568; declared. 10.05.2016; published. 22.10.2015, Bulletin No. 10-2018.
 9. Boboev, Kh. D. Insulation monitoring device in 6 kV networks / Kh. D. Boboev // Bulletin of Tula State University. Technical sciences. - 2023. - No. 2. - P. 168-171. - DOI 10.24412/2071-6168-2023-2-168-172. - EDN JNFPUM.
 10. Sidorov, A.I. Technical means for determining the state of grounding devices / A.I. Sidorov, A.B. Tryapitsyn, R.T. Abdulloev // Life safety in the third millennium: collection of materials of the VI-th scientific and practical conference: in 2 volumes / ed. A.I. Sidorov - Chelyabinsk: SUSU IC, 2015. - Vol. 1. P. 245 - 249.
 11. Pat. 2649630 Russian Federation: IPC G01RB 17/00 (2006.01). Method for Determining the Corrosion State of Grounding Devices / R.T. Abdulloev, A.I. Sidorov, N.I. Gorbunov, I.A. Sheremeta. – No. 2017103850; declared 06.02.2017; published 04.04.2018, Bulletin No. 10-2018.
 12. Yatsenkov V.S. Microchip® rPIC Microcontrollers with Built-in Low-Power Radio Transmitter. – M: Goryachaya Liniya–Telecom, 2006. – 344 p.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал

Выпуск № 3, Том 10 2024 г.

16+

Рубрики в соответствии с номенклатурой научных специальностей:

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами;
Энергетические системы и комплексы; Электротехнические 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);
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 № ФС 77 – 64120 от 25.12.2015 г.

Главный редактор: Якимович Борис Анатольевич

Подписано к печати 10.10.2024. Заказ 23/24. Дата выхода в свет: 31.10.2024. Тираж 30 экз. Цена: Бесплатно. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Объем усл. печ. л. 11,76.

Севастополь, 2024